

Evaluación de productos biológicos, botánicos y químicos viñeta verde para el control de nematodos en cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)

Evaluation of biological, botanical and chemical products green vignette for the control of nematodes in tomato crops (*Solanum lycopersicum*)

Javier Alejandro Trujillo-Rugamas¹ / Luis Alonso Murgas-Peñate² / Hugo Mauricio Reyes-Orellana³ / Ovidio Amílcar Sandoval -Sandoval^{4*}

DOI: <https://doi.org/10.5377/payds.v11i1.15221>

Recepción: 14-01-2022 Aceptación: 19-07-2022

Resumen

En este ensayo experimental se evaluó la efectividad de productos comerciales para el control de fitoparásitos del suelo (Nematodos) en el periodo comprendido de febrero hasta abril del 2022. Esto se realizó en la Estación Experimental San Andrés #1 de Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova.

Los productos evaluados fueron: Tratamiento 0 (testigo absoluto), como tratamiento control; Tratamiento 1 (Nimitz), como tratamiento químico de banda verde; Tratamiento 2 (Faisenonema), como tratamiento biológico; Tratamiento 3 (Neem-X), como tratamiento botánico y el Tratamiento 4 (Verango), como tratamiento sintético de banda verde. Este último abarcó la identificación y cuantificación de las poblaciones de nematodos fitoparásitos en tres momentos: a los 70, 90 y 110 días después de la siembra.

La identificación y cuantificación de nematodos se llevó a cabo en el Laboratorio de Parasitología Vegetal del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". La extracción de las poblaciones se llevó a cabo por medio del método de centrifugación y flotación en solución azucarada. Los resultados del ensayo demostraron que los tratamientos evaluados para el control de nematodos fitoparásitos en el cultivo de tomate fueron efectivos sobre las poblaciones; principalmente Verango y Faisenonema, con un porcentaje de efectividad de 86.63% y 75.73% respectivamente. Sin embargo, el factor económico es un punto muy importante a tomar en cuenta en el uso de estos tratamientos.

Palabras clave: Fitoparásitos del suelo, nematodos, cultivo de tomate, Verango, Faisenonema

Abstract

In this experimental trial, the effectiveness of commercial products for the control of soil phytparasites (Nematodes) was evaluated in the period from February to April 2022. This was carried out at the San Andrés Experimental Station #1 of the National Center for Agricultural Technology and Forestry "Enrique Álvarez Córdova.

The products evaluated were: Treatment 0 (absolute control), as control treatment; Treatment 1 (Nimitz), as green band chemical treatment; Treatment 2 (Faisenonema), as a biological treatment; Treatment 3 (Neem-X), as a botanical treatment and Treatment 4 (Verango), as a synthetic green band treatment. The latter covered the identification and quantification of plant parasitic nematode populations at three times: 70, 90 and 110 days after sowing.

The identification and quantification of nematodes was carried out in the Plant Parasitology Laboratory of the National Center for Agricultural and Forestry Technology "Enrique Álvarez Córdova". The extraction of the populations was carried out by means of the method of centrifugation and flotation in sugar solution. The results of the trial showed that the treatments evaluated for the control of phytparasitic nematodes in tomato crops were effective on the populations; mainly Verango and Faisenonema, with an effectiveness percentage of 86.63% and 75.73% respectively. However, the economic factor is a very important point to take into account in the use of these treatments.

Key words: Soil phytparasites, nematodes, tomato cultivation, Verango, Faisenonema

1. Maestro en Gerencia y Gestión Ambiental, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA); email: javier.trujillo@catolica.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2138-9767>

2. Maestro en Gerencia y Gestión Ambiental, Investigador Independiente; email: luis.murgas@catolica.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5149-5002>

3. Maestro en Gerencia y Gestión Ambiental, hugo.reyes@catolica.edu.sv, TEFEX, S.A. de C.V. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-8554>

4. *Maestro en Gerencia de Medio Ambiente, ovidio.sandoval@catolica.edu.sv; Docente, Universidad Católica de El Salvador. Autor para correspondencia: ovidio.sandoval@catolica.edu.sv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8560-7087>

1. Introducción

La nematología es una de las áreas de protección vegetal que es poca conocida; no obstante, esta ciencia se encarga del estudio de organismos microscópicos denominados nematodos. Algunos autores los denominan enemigos silenciosos de los cultivos por su forma de ataque. La necesidad de encontrar alternativas ecológicas o amigables con el medio ambiente es uno de los aspectos más importantes para la agricultura de precisión; además de los estándares de calidad que se deben de cumplir para poder colocar las producciones en el mercado, debido a que en los últimos años los altos niveles de residualidad de trazas químicas en los alimentos han ocasionado grandes repercusiones en la salud de la población humana.

Con base en lo anterior, surgió la necesidad de encontrar una alternativa ecológica que controle de manera eficaz las poblaciones de nematodos fitoparásitos en los cultivares de tomate. Para ello se evaluaron tratamientos potenciales como: Faisenonema (*Paecilomyces lilacinus*), Neem-x (Azaridactina), Nimintz (fluensulfone), Verango (fluopyram) y un testigo absoluto; clasificando estos tratamientos en biológicos, botánicos y sintéticos.

El ensayo se realizó en los meses de febrero - abril del año 2022, en una sola localidad de cultivo de hortalizas dentro de la estación experimental San Andrés #1 del Cen-

tro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova (CENTA)"⁵. Se realizaron tres muestreos de suelo durante la etapa del cultivo por cada tratamiento, para poder establecer o determinar el comportamiento de curvas poblacionales por el efecto de las aplicaciones de los diferentes tratamientos.

La extracción de nemátodos del suelo fue por el método de centrifugación y flotación en solución azucarada. Para este ensayo se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos establecidos en una sola localidad. Con esto se esperaba contar con una alternativa biológica o un producto de banda verde que controlará significativamente las poblaciones, y daños de nematodos fitopatógenos en el cultivo de tomate.

Uno de los principales factores limitantes en la producción de hortalizas, según Starr *et al.* (1993), citado por Salazar-Antón y Guzmán-Hernández (2013), lo constituyen los nematodos fitoparásitos. Los principales nematodos asociados al cultivo del tomate son los géneros *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., *Tylenchorhynchus* sp. y *Helicotylenchus* sp. Estudios recientes indican que la capacidad de estos nematodos para causar daño se ve favorecida por factores edafo climáticos y agronómicos; como, los monocultivos, las altas precipitaciones y los suelos arenosos.

5. A partir de esta sección los autores harán referencia a Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" a través de su acrónimo CENTA.

Los estudios nematológicos en la región centroamericana, y específicamente en El Salvador, son muy pocos; y los que se han realizado se enfocan, principalmente, a nematodos fitoparásitos asociados al café. Los estudios dirigidos a cultivos hortícolas son muy escasos y no están disponibles para la mayoría de agricultores y profesionales agrícolas (Salazar-Antón y Guzmán-Hernández, 2013).

El uso de agroquímicos ha permitido obtener incrementos sustanciales en la producción; no obstante, sus efectos adversos están impactando de manera significativa la sostenibilidad de la agricultura. La práctica del monocultivo y la contaminación por el uso indiscriminado de agroquímicos han reducido la biodiversidad de los agroecosistemas, causando la inestabilidad de los mismos; la cual se manifiesta, entre otros efectos nocivos, en una mayor incidencia de plagas, enfermedades en los cultivos y en la salud de las personas (Zavaleta, 1999). En este sentido, se establece que los problemas de seguridad y salud pública inherentes a la fabricación y uso de agroquímicos han conducido a la búsqueda y establecimiento de alternativas de manejo de plagas y enfermedades. Así, surgió el interés por realizar el control ecológico en el que se ve inmersa la búsqueda de agentes controladores de carácter biológico, que puede definirse como: “cualquier forma de control que reduce la incidencia o severidad de la enfermedad o incrementa la producción del cultivo.” (Vinchira-Villarraga y Moreno-Sarmiento, 2019, p.3).

Se ha encontrado que existe un hongo llamado *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson, reclasificado como *Purpureocillium lilacinum* (Thom), que controla fitonematodos; principalmente especies del nematodo formador de nódulos *Meloidogyne* spp. Este hongo parasita huevos, adultos y quistes de nematodos, y puede afectar a los nematodos móviles que están fuera de las raíces. De modo que puede infectar cualquiera de estos estadios del nematodo, causando la muerte o evitando que el nematodo complete su ciclo de vida; disminuyendo de esa manera las poblaciones en campo. En ausencia de nematodos, el hongo puede sobrevivir como saprófito en el suelo, como se menciona en FUNICA (2009); citado por Valencia *et al.* (2014). Por otra parte, Bernal *et al.* (2002), citado por Romero-Villagra (2004), explica que el *Paecilomyces lilacinus* parasita huevos y hembras de nematodos, causando destrucción de ovarios y reducción de la eclosión. Se han conseguido resultados muy satisfactorios en el control biológico de este nematodo en cultivos agrícolas como el tomate.

La mayoría de los nematodos fitoparásitos se alimentan de la raíz; y completan su ciclo de vida en la misma zona que se encuentra en asociación con la mayoría de las plantas. Algunos son endoparásitos, viviendo y alimentándose dentro de los tejidos de las raíces, tubérculos, brotes, semillas, etc. Otros son ectoparásitos, alimentándose externamente a través de las paredes de la planta. Un solo nematodo endoparásito puede matar una planta

o reducir su productividad; mientras que varios cientos de nematodos ectoparásitos podrían alimentarse en una planta, sin afectar drásticamente la producción. Pocas especies son altamente hospedantes específicas, como *Heterodera glycines* en soya y *Globodera rostochiensis* en papa. Pero, en general, los nematodos tienen un rango de hospedantes amplio Villapudua (2014).

Umbral económico y límite de tolerancia

Otro aspecto importante de explicar es que, tanto el límite de tolerancia como el umbral económico dependen de las condiciones agronómicas y ambientales locales; por lo que, el éxito de un sistema predictivo estará supeditado a la existencia de datos locales sobre las pérdidas causadas por nemátodos. No obstante, y simplemente a modo orientativo, la siguiente tabla muestra límites de tolerancia y umbrales económicos de daño, expresados en nemátodos o huevos por 100cc de suelo para diversos cultivos, y nemátodos en áreas de clima mediterráneo. Los valores están basados en diversas publicaciones con datos sobre umbrales de daño en zonas de clima mediterráneo (Tavera, 2003). (Ver tabla 1)

Ciclo biológico de los nematodos

El ciclo vital de la mayoría de los nematodos patógenos de plantas transcurre en el suelo. *Meloidogyne spp.* tarda aproximadamente tres a cuatro semanas en el verano; y

en invierno este período se puede extender hasta siete semanas. La duración del ciclo de vida es dependiente de la temperatura y aumenta a medida que la temperatura del suelo disminuye.

Además, la susceptibilidad del hospedante y la especie de nematodo involucrada en la interacción son factores importantes. Muchos nematodos viven libremente en el suelo, alimentándose de las raíces y tallos subterráneos; pero incluso en los parásitos especializados sedentarios, los huevos, las edades juveniles pre parasíticas y los machos se encuentran en el suelo durante toda o parte de su vida. *Meloidogyne spp.*, “nematodo de las agallas”, pasa por cuatro estadios juveniles antes de convertirse en adulto.

La primera muda o cambio de cutícula se produce en el interior del huevo; en la segunda etapa juvenil se produce la eclosión del huevo y se va al suelo o penetra directamente en una raíz. En esta etapa miden aproximadamente 0.3 a 0.5mm y pueden variar con la especie de *Meloidogyne*. La segunda etapa es la forma infectiva del nematodo de las agallas, que se mueve a través de las partículas del suelo y va a las raíces de las plantas huésped. Por lo general, penetra la punta de la raíz y migra entre las células para establecer un sitio de alimentación.

En este momento se convierte en un endoparásito sedentario. Las secreciones producidas

Tabla 1

Valores orientativos de los límites de tolerancia y umbrales económicos para diversos cultivos y nemátodos. Niveles de nemátodos por 100cc de suelo en el momento de la siembra

Cultivo	Nematodo	Límite de tolerancia	Umbral económico
Avena	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	1	25
Cítrico	<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	10	100
Coles	<i>Meloidogyne spp.</i>	1	5
Coles	<i>Pratylenchus spp.</i>	20	100
Cucurbitáceas	<i>Meloidogyne spp.</i>	2	50
Fresa	<i>Meloidogyne spp.</i>	1	2
Fresa	<i>Pratylenchus spp.</i>	2	5
Frutales hueso	<i>Meloidogyne spp.</i>	10	200
Frutales hueso	<i>Pratylenchus spp.</i>	10	300
Maíz	<i>Meloidogyne spp.</i>	10	100
Maíz	<i>Pratylenchus spp.</i>	40	100
Patata	<i>Meloidogyne spp.</i>	10	100
Patata	<i>Globodera rostochiensis</i>	50	1500
Patata	<i>Globodera pallida</i>	10	300
Pimiento	<i>Meloidogyne spp.</i>	3	30
Tabaco	<i>Meloidogyne spp.</i>	1	40
Tabaco	<i>Pratylenchus spp.</i>	2	50
Tabaco	<i>Globodera tabacum</i>	1	5
Tomate	<i>Meloidogyne spp.</i>	2	20
Tomate	<i>Pratylenchus spp.</i>	10	100
Trigo	<i>Heterodera avenae</i>	250	1.000
Trigo	<i>Pratylenchus thornei</i>	1.000	3.000
Trigo	<i>Pratylenchus neglectus</i>	500	2.000
Viña	<i>Meloidogyne spp.</i>	20	200
Viña	<i>Pratylenchus spp.</i>	20	300
Viña	<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	50	400
Viña	<i>Xiphinema spp.</i>	1	4
Zanahoria	<i>Meloidogyne spp.</i>	1	10

Nota. Adaptado de Manual de nematología agrícola (2003)

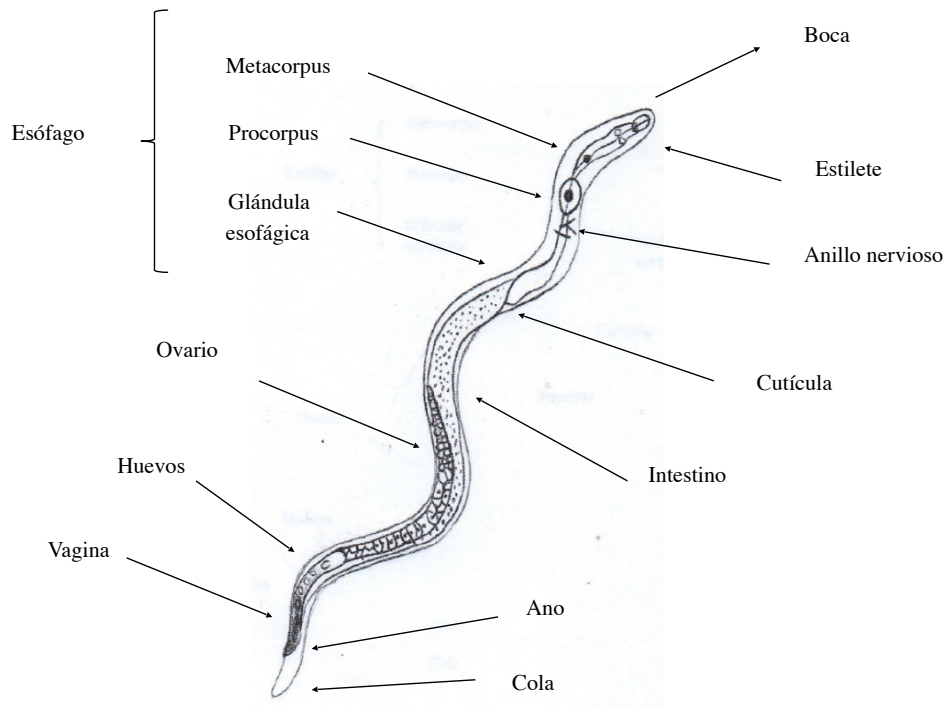
por nematodos en la glándula esofágica estimulan la formación de células gigantes en la raíz, que proporcionan nutrientes para los nematodos. Los nematodos se incrementan rápidamente en tamaño y pasan por la muda, convirtiéndose en adultos. Lezaun (2016) presentó un estudio donde explica que

Una hembra produce durante el ciclo de vida cientos de huevos que pueden alcanzar más de 2,000. Estos son depositados

en masa fuera de las raíces, en la superficie de las agallas; que están atrapados y protegidos por un mucílago contra la desecación y otras condiciones adversas, y los machos migran fuera de la raíz y no se alimentan. La supervivencia de nematodos de las agallas y finalización de su ciclo de vida depende del exitoso crecimiento de la planta huésped y las condiciones ambientales (párr. 22).

Figura 1

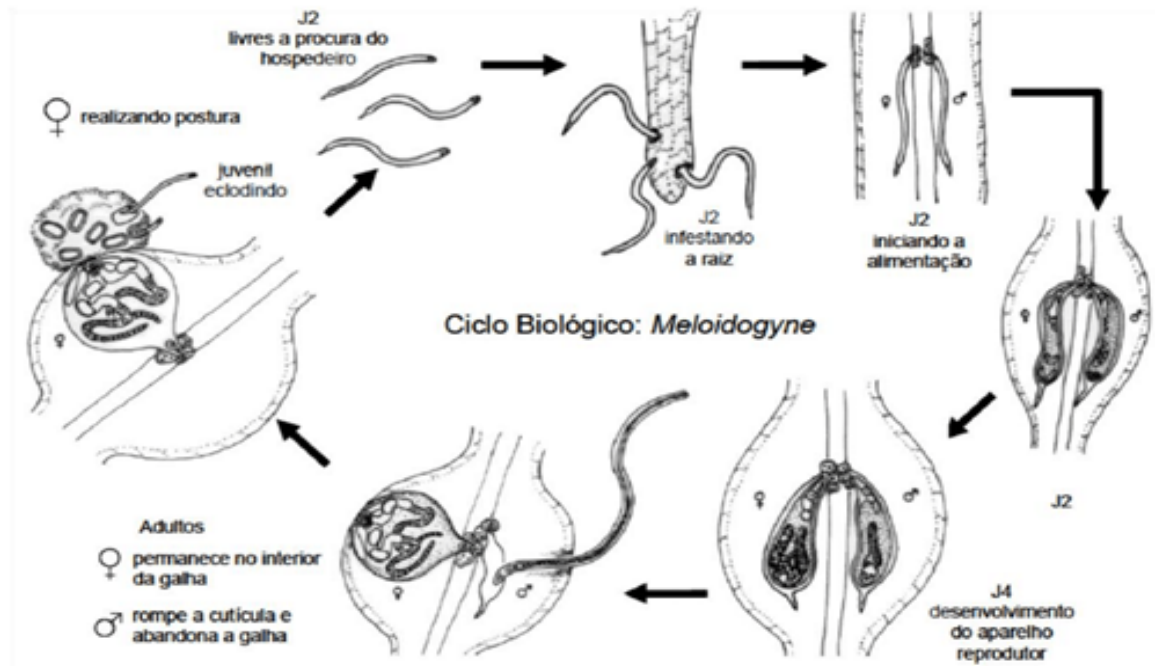
Forma corporal típica de un nematodo (femenino) mostrando los principales órganos y detalles externos



Nota. Adaptado de Manual de nematodos fitopatógenos (2004).

Figura 2

Ciclo biológico del nematodo Meloidogyne sp.



Nota. Adaptado de Torres *et al.* (2008).

Principales alternativas para el control de poblaciones de nematodos fitoparásitos

- a. **Control Físico.** Consiste en la utilización de algún agente físico como la temperatura, humedad, radiación solar, que resulten letales para los nematodos. El fundamento es que los nematodos solo pueden desarrollarse y sobrevivir dentro de ciertos límites de intensidad de los factores físicos ambientales; más allá de los límites, las condiciones resultan letales.
- b. **Control Cultural.** Entre las principales prácticas culturales para el manejo de nematodos fitoparásitos se encuentran:

- rotación de cultivos, barbecho, cultivos trampa, cultivos de cobertura, cultivos repelentes, enmiendas orgánicas, biofumigación, cultivares resistentes e injertos.
- c. **Control Químico.** Se utilizan nematicidas, fumigantes y no fumigantes. Los nematicidas fumigantes son, en su mayoría, compuestos que actúan en la fase gaseosa del suelo, eliminando gran parte de los organismos vivos. Son fitotóxicos de efectos irreversibles, por lo que deben aplicarse en pre-plantación, bien como gas inyectado o como productos precursores, que al descomponerse producen gas. Son tóxicos e impactantes al ambiente.

Los no fumigantes son, en su mayoría, organofosforados y carbamatos que afectan al sistema nervioso del nematodo, impidiendo su alimentación. No son fitotóxicos, por lo que pueden aplicarse una vez implantado el cultivo; su efecto es reversible, son menos agresivos con el ambiente, de fácil manipulación y algunos son sistémicos. No eliminan totalmente las poblaciones de nematodos, sino que las mantienen a niveles tolerables.

- d. Control biológico.** Abarca el fortalecimiento del control natural, la introducción de especies no nativas y el uso de plaguicidas derivados de animales, plantas, hongos, bacterias y virus para prevenir, repeler, eliminar o bien reducir el daño causado por las plagas. (Lezaun, 2010)

En otro orden de ideas, el *Pasteuria penetrans* (Thorne) Sayre y Starr, *Tsukamurella paurometabola* (Steinhaus), el hongo *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson controlan un amplio rango de nematodos parásitos en una gran gama de cultivos. En este caso, los nematodos son afectados en los estados juveniles y huevos. Utilizando *P. chlamydosporia* (Goddard) Zare y W. Gams (ex *Verticillium chlamydosporium* Goddard), con la cepa IMI SD 187 de *P. chlamydosporia* var. *catenulata* se ha logrado una tecnología de reproducción masiva, transferible para el desarrollo de otros hongos como ACB, el hongo *Myrothecium verrucaria* Ditm.

y todos los productos (solubles y sólidos) resultados de su fermentación. También se han mencionado el uso de Nematostáticos y sustancias que repelen a base de extractos naturales y fitofortificantes, que hacen que la planta aumente su tamaño radicular; y así supere el estrés producido por el ataque de nematodos presentes. (Lezaun, 2010)

2. Materiales y Métodos

El experimento se estableció en San Andrés, Ciudad Arce, departamento de La Libertad en la zona experimental de San Andrés #1 del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA).

El establecimiento del área experimental se realizó la última semana del mes de enero, con un estado fenológico de cincuenta días después de la siembra (DDT)⁶; previamente al momento de establecer el ensayo, se efectuó un muestreo base para garantizar el inicio de experimento. Los resultados del pre muestreo fueron de 1,336 nematodos en 100 centímetros cúbicos de suelo; lo que permitió empezar con el ensayo experimental. Se usaron las variedades de los cultivares y el manejo agronómico, según el utilizado por el productor, puesto que el punto principal de estudio eran los nematodos existentes en el suelo; específicamente, fue representada por 100cc (centímetros cúbicos) de suelo extraídos de las parcelas experimentales por cada tratamiento bajo evaluación.

6. Dentro del documento, los autores harán referencia a este término a través de su acrónimo.

Con respecto a la metodología de muestreo de suelo, se tomó como base el boletín informativo de Laboratorio de Parasitología Vegetal del CENTA, "como tomar muestras de suelo para análisis de nematodos". Se procedió a seleccionar doce puntos fijos por tratamiento, siendo estas doce plantas el área útil experimental. La muestra se tomó a una profundidad de 15-20cm; muestra representativa de cada planta, al momento de la extracción de nematodos fue representada en 100 cc de suelo como lo establece la literatura.

La toma de muestras se realizó en tres momentos a partir del establecimiento y aplicación de los tratamientos a los 50 DDT, con un intervalo de veinte días de diferencia; tomando los tiempos de muestreo a los 70 DDT, 90 DDT y 110 DDT. Estos momentos se identificaron como 0 DDA⁷, 20 DDA y 40 DDA. Tomando doce muestras de suelo por tratamiento, comprendiendo 60 muestras por período de muestreo; totalizando 180 muestras por ensayo experimental.

Posteriormente, cada muestra se trasladó y se procesada en las instalaciones del Laboratorio de Parasitología Vegetal del CENTA; el análisis de cada muestra comprendió la identificación y cuantificación de nematodos hasta género con base en características morfológicas presentadas por cada uno de ellos. Para la extracción de nematodos se utilizó el método de centrifugación y flotación en solución azucarada.

7. Dentro del documento, los autores harán referencia a este término a través de su acrónimo.

Extracción de nematodos en muestras de suelo para cuantificación e identificación

Para la extracción de nematodos se utilizó el protocolo de extracción de muestras de suelo en 100cc. Este protocolo de extracción se denomina método de centrifugación y flotación en solución azucarada, el cual por diferencia de densidades en las soluciones hace posible la extracción de las poblaciones de nematodos, siendo este método el más práctico para este estudio.

Además, se tuvo especial cuidado al utilizar equipo eléctrico con las manos mojadas. Por lo cual, fue necesario secarse las manos antes de utilizar la licuadora, la centrífuga o conectar el hot-plate. También, fue importante utilizar de forma cuidadosa el hot-plate, ya que podía ocasionar quemaduras.

Diseño experimental

- Diseño experimental: parcelas apareadas, al azar.
- Número de repeticiones: 12
- Tipo de aplicación: Inyección de líquido al suelo (Drench)
- Equipo de aplicación: equipo diseñado para tal fin.

Los tratamientos a evaluar fueron los siguientes: Tratamiento 1: Nimitz (Químico), Tratamiento 2: Faisenonema (Biológico); Tratamiento 3: Neem-X (Botánico); Tratamiento 4: Verango Prime 50 SC (Químico) y Tratamiento 0: Testigo absoluto. (Ver Tabla 2)

En relación a los intervalos de aplicación y dosis de tratamientos, se calcularon de acuerdo a lo establecido en la ficha técnica de cada producto, lo cual se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2

Nombre comercial e ingrediente activo de los productos a utilizar en cada tratamiento

Tratamiento	Nombre comercial	Ingrediente activo
T1	Nimitz	Fluensulfone: 40.08%
T2	Faisenonema	<i>Paecilomyces lilacinus</i>
T3	Neem-X	Azadiractina
T4	Verango prime 50 SC	Fluopyram
T0	Testigo absoluto	N/A

Tabla 3

Dosificaciones por tratamiento y fechas de aplicación

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosificación	Intervalos de aplicación	Primera aplicación	Segunda aplicación	Tercera aplicación
T1	Fluensulfone: 40.08%	1cc/L	Una aplicación	03/02/2022	N/A	N/A
T2	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0.25g/L	Cada siete días	01/02/2022	08/02/2022	15/02/2022
T3	Azadiractina	17cc/L	Cada siete días	03/02/2022	09/02/2022	16/02/2022
T4	Fluopyram	1.25cc/L	Una aplicación	03/02/2022	N/A	N/A
T0	Testigo absoluto	Nada	0 aplicaciones	N/A	N/A	N/A

Nota. Entiéndase N/A: no aplica.

Para el área experimental se utilizó un área de 200 metros cuadrados, compuesto por quince surcos de diez metros lineales. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones; el manejo del cultivo fue de acuerdo al productor, con un área experimental de seis metros cuadrados con veinticinco plantas, comprendido por tres surcos; teniendo el surco central como área útil y seleccionando tres puntos fi-

jos en cada unidad experimental. La densidad de siembra estuvo basada en la guía técnica del tomate CENTA Cuscatlán (1.20m entre surco y 0.30 m entre planta).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa ANOVA, y la separación de medias Tukey. Con base en los datos de los conteos de individuos vivos, la eficacia se calculó con la fórmu-

la de Abbott (porcentaje) o con la fórmula de Henderson-Tilton (porcentaje), que se refiere a si la población inicial no es homogénea.

Fórmula de Abbott

De acuerdo a Delgado-Puchi (s.f.),

Una mortalidad en el control mayor del 5 % es indicativo que la mortalidad observada en los tratamientos se debe, tanto al insecticida aplicado como a algún otro factor intrínseco o introducido al sistema, por efecto de la manipulación de los individuos que se están evaluando. Si la mortalidad en el control oscila entre el 5 y 20%, se debe sustraer este factor de mortalidad adicional de las unidades experimentales tratadas con insecticida, a fin de asegurar que los valores de mortalidad obtenidos se deban exclusivamente al efecto letal del producto que se desea evaluar.

Esta corrección se logra a través de la fórmula de Abbott (1925), en la cual:

$$\%M_c = (X - Y / X) \times 100$$

Donde:

$\%M_c$ = Porcentaje de Mortalidad corregida

X = Porcentaje de nematodos vivos en el control

Y = Porcentaje de nematodos vivos en el tratamiento

Si el porcentaje de mortalidad en el control excede el 20%, se debe descartar el bioensayo para ser repetido nuevamente.

Porcentaje de mortalidad

El porcentaje de las poblaciones de nematodos se determinó mediante la fórmula de Henderson y Tilton:

$$\% \text{ Mortalidad} = 100 \times [1 - (T_a / C_b) / (T_b / C_a)]$$

Donde:

T_b = nematodos en el recuento previo al tratamiento en la parcela tratada

T_a = nematodos después del tratamiento en la parcela tratada

C_b = nematodos en el recuento previo en el testigo sin tratar

C_a = nematodos después de los tratamientos en el testigo sin tratar

Para este ensayo experimental, debido a que se partió de una población inicial heterogénea la eficiencia fue calculada para el porcentaje de mortalidad dada por la fórmula de Henderson y Tilton, como lo establece el manual para la elaboración de protocolos para ensayos de eficiencia PQUA y el análisis económico de los tratamientos en estudio. Se realizó un análisis de costo efectividad (CE), el cual comprendió una relación entre el costo por manzana de cada tratamiento, y el porcentaje de efectividad obtenida por la fórmula de Henderson y Tilton.

Variables a estudiar: Géneros y población de nematodos.

3. Resultados y Discusión

Para el ensayo experimental se identifican y cuantifican las poblaciones de nematodos en tres momentos de muestreo: 0 DDA, 20 DDA y 40 DDA. Estos datos se tabularon para evaluar la significancia de los tratamientos bajo estudio.

En la tabla 4 se puede observar la existencia de diferencias significativas en los efectos de los tratamientos sobre las dinámicas poblacionales de nematodos en estudio; por lo tanto, no todos los tratamientos se comportan de igual manera. (Ver tabla 4)

Se visualizan las medidas para los grupos en los subconjuntos homogéneos, a utilizar el de la muestra de la media armónica = 36.000

En la tabla 5 se refleja la agrupación que efectúa el análisis de media de Tukey como subconjuntos homogéneos sobre las poblaciones en estudio de cada tratamiento, en el cual se observan tres grupos: el Tratamiento

dos (Faisenonema) en el primer grupo, con una media de 962.28 nematodos fitoparásitos; Tratamiento tres (Neem-X) con media de 1235.28 nematodos fitoparásitos; y el Tratamiento uno (Nimitz) 1249.67 nematodo fitoparásitos. Para el segundo grupo, el tratamiento cuatro (Verango) con 1345.71 nematodos fitoparásitos; y por último, el Tratamiento cero (Testigo absoluto) con una media de 1903.81. (Ver tabla 5)

Estos grupos son indicativos de la forma de actuar sobre las poblaciones en estudio, determinando así que, el grupo uno establece diferencias del grupo dos y también del grupo tres. La media más representativa durante el periodo de estudio es del Tratamiento dos con 962.2 nematodos fitoparásitos como grupo uno; y bien, el comportamiento similar de los Tratamientos uno, tres y cuatro dentro de las medias de 1,200 a 1,400 nematodos fitoparásitos. Por último, la media más alta del tratamiento cero de 1903.81.

Tabla 4

Análisis de varianza unidireccional para poblaciones de nematodos en suelo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17313508.48	4.0	4328377.119	5.135	.001
Dentro de grupos	147505220.500	175.00	842886.974		
Total	164818728.98	179.00			

Tabla 5
Subconjuntos homogéneos

Subconjunto para alfa=0.95				
TRAT	N	1	2	3
2	36	962.28		
3	36		1235.25	
1	36		1249.67	
4	36		1377.56	
0	36			1903.81
Sig		1000	965	1

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos a utilizar el tamaño de la muestra de la media armónica = 36.000. (Ver figura 3).

Las medias más bajas de nematodos fitoparásitos se obtuvieron por parte del Tratamiento

dos, seguido del cuatro, tres, uno y cero; sucesivamente. No obstante, los márgenes de error fueron más reducidos en los Tratamientos dos y unos; por otro lado, los Tratamientos uno, tres y cuatro presentaron márgenes de error altos.

Figura 3

Población media de nematodos fitoparásitos por tratamiento en 100 cc de suelo

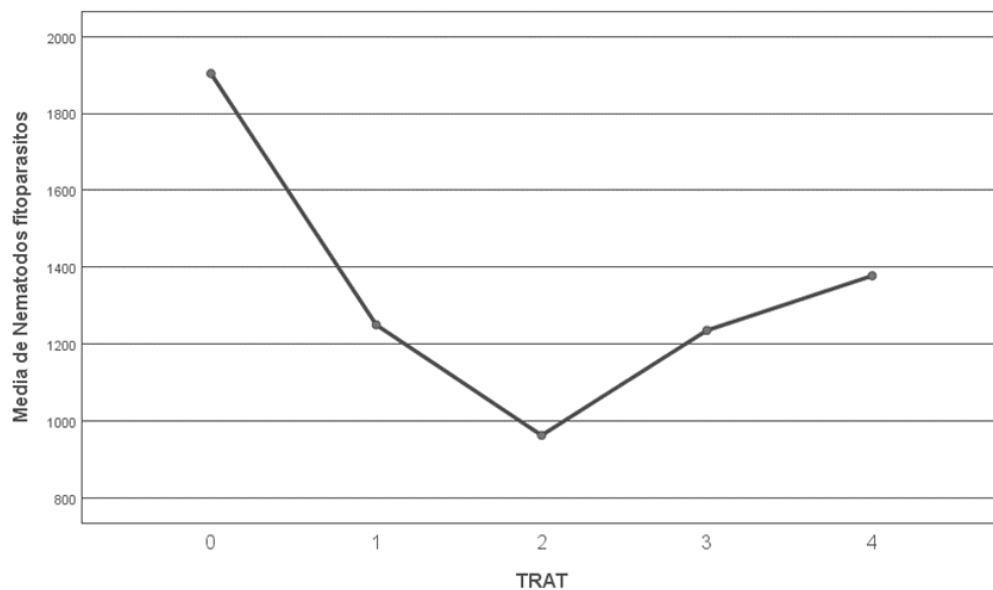


Tabla 6

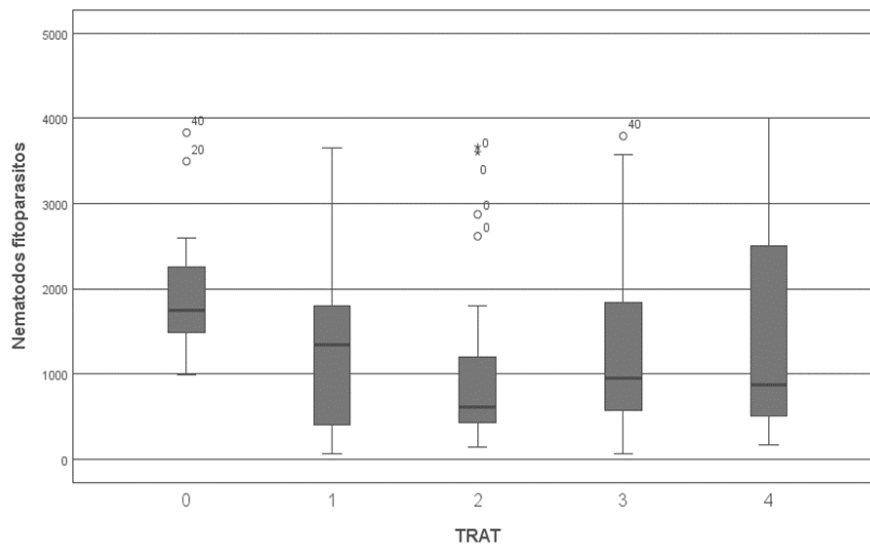
Pruebas post hoc- Comparaciones múltiples

(I) TRAT	(J) TRAT	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 5%	
					Límite inferior	Límite superior
0	1	654.139.	216.396	24	496.83	811.45
	2	941.528.	216.396	0	784.21	1098.84
	3	668.556.	216.396	0.02	511.24	825.87
	4	526.250.	216.396	0.112	368.94	683.56
1	0	-654.139.	216.396	0.024	-811.45	-496.83
	2	287.389.	216.396	0.674	130.08	444.7
	3	14.417	216.396	1	-142.9	171.73
	4	-127.889	216.396	0.976	-285.2	29.42
2	0	-941.528.	216.396	0	-1098.84	-784.21
	1	-287.389.	216.396	0.674	-444.7	-130.08
	3	-272.972.	216.396	0.715	-430.29	-115.66
	4	-415.278.	216.396	0.311	-572.59	-257.96
3	0	-668.556*	216.396	0.02	-825.87	-511.24
	1	-14.417	-216.396	-1	-171.73	142.90
	2	272.972.	216.396	0.715	115.66	430.29
	4	-142.306	216.396	0.985	-299.62	15.01
4	0	-526.250.	216.396	0.112	-683.56	-368.94
	1	127.889	216.396	0.976	-29.42	285.2
	2	415.278.2	216.3962	0.311	257.96	572.59
	3	142.306	216.396	0.965	-15.01	299.62

Nota. *La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.95.

Figura 4

Diagrama de caja de la representación de las comparaciones múltiples



Las medias estimadas bajo efectos significativos en nematodos fitoparásitos reflejan que existe una tendencia decreciente bajo los efectos de los días después de aplicación (DDA). El efecto decreciente de las poblaciones de nematodos antes mencionado está determinado por la media de las poblaciones de nematodos fitoparásitos bajo el análisis de

media, siendo el Tratamiento dos, uno, tres y cuatro los que están directamente relacionados con la tendencia decreciente de las poblaciones de nematodos fitoparásitos.

A continuación, se muestran los gráficos de las medias estimadas para los efectos significativos de los tratamientos.

Figura 5

Cantidad de nematodos fitoparásitos en muestras de 100cc de suelo versus días después de las aplicaciones

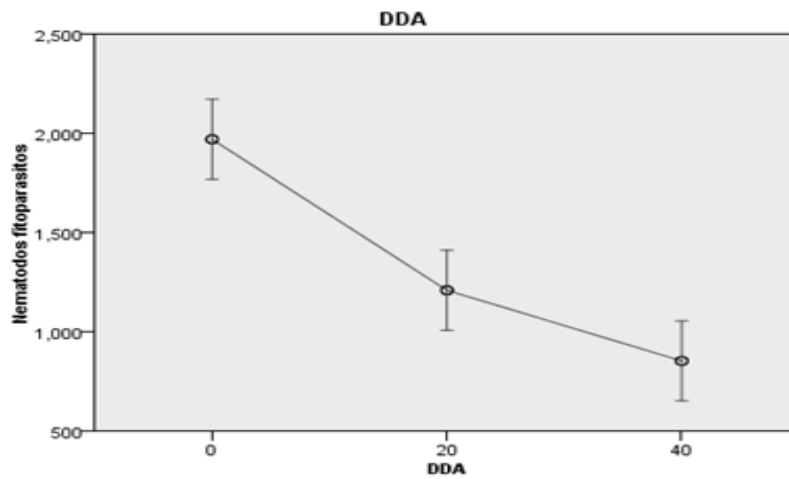
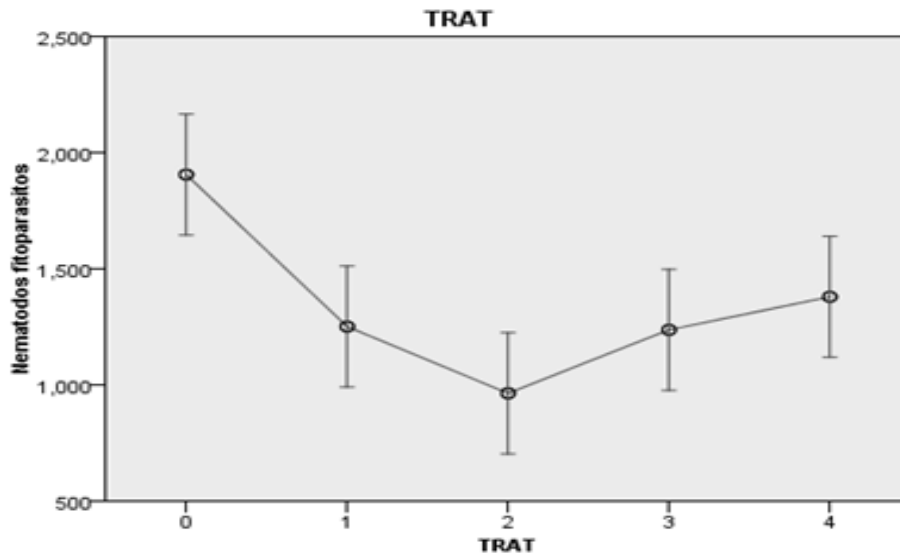


Figura 6

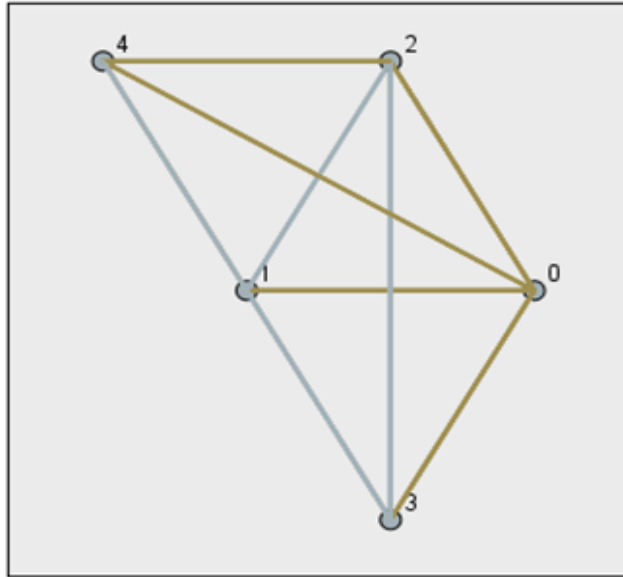
Cantidad de nematodos fitoparásitos en 100 cc de suelo versus tratamientos aplicado



El análisis de contraste de parejas refleja la existencia de contrastes significativos del experimento, el cual establece que, con respecto al Tratamiento cero existen contrastes significativos con los Tratamientos dos, cuatro, uno y tres. Por otra parte, refleja un contraste significativo entre el Tratamiento dos y cuatro.

Figura 7

Contrastes entre los diferentes tratamientos

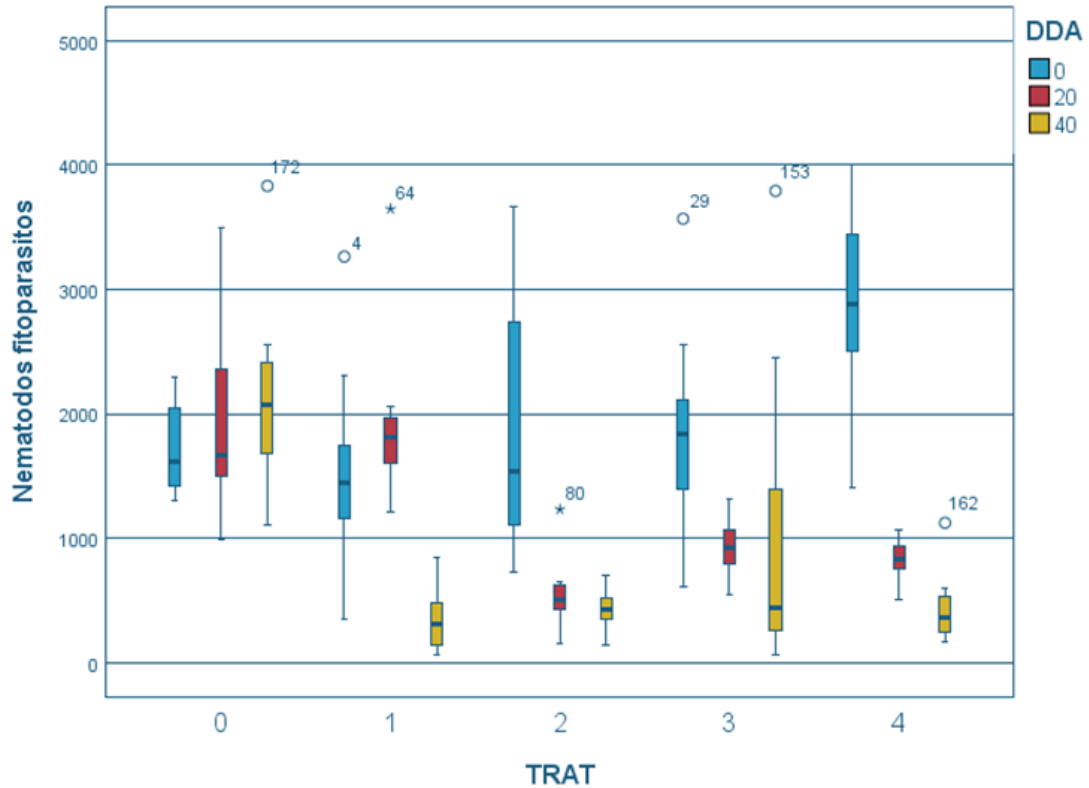


El comportamiento de las poblaciones de nematodos fitoparásito, bajo el periodo de estudio del Tratamiento cero (Testigo absoluto) a los cero DDA presentó una media de 1720.6; el cual aumentó hasta una media de 2097.41 a los cuarenta DDA. El Tratamiento uno (Nimitz) a los cero DDA partió con una media de 1518 nematodos fitoparásito, el cual a los veinte DDA aumentó a una media de nematodos fitoparásitos de 1877.33; para los cuarenta DDA se obtuvo una disminución de media de nematodos fitoparásitos de 353.66. El Tratamiento dos a los cero DDA partió con una media de 1901.33 nematodos fitoparásitos en 100 cc de suelo; a los veinte DDA se

obtuvo una media de 548.66 nematodos fitoparásitos hasta llegar a una media de 436.83 nematodos fitoparásitos a los cuarenta DDA; para el Tratamiento tres (Neem-X) a 0 DDA presentó una media de 1820 nematodos fitoparásito, a veinte DDA hubo un detrimento de 918.66 nematodos fitoparásitos y una media de 967.08 a cuarenta DDA. Por último, el Tratamiento cuatro (Verango) a cero DDA se obtuvo una media de 2896.6 nematodos fitoparásitos, para los veinte DDA decrece a una media de 816 nematodos fitoparásitos y concluye con 420 nematodos fitoparásitos a los cuarenta DDA.

Figura 8

Media de poblaciones de nematodos fitoparásitos muestras de 100 cc de suelo por tratamiento en tres momentos 0, 20 y 40 DDA



Al hacer la corrección de las mortalidades con base en la fórmula de Henderson y Tilton para obtener la eficiencia de los tratamientos, se observan diferencias significativas con nivel de significancia $\alpha=0.05$; el cual indica que al menos un Tratamiento se comporta de manera diferente.

Tabla 7

Análisis de Varianza ANOVA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	54302	13576	13.53	0.001
Error	55	55170	1003		
Total	59	109472			

Según el análisis de media bajo un índice de confianza de 95%, se establece que el Tratamiento cuatro (Verango), Tratamiento dos (Faisenonema), Tratamiento uno (Nimitz), Tratamiento tres (Neem-X) se comporta significativamente iguales. Sin embargo, el Tratamiento cero (Testigo absoluto) establece diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Tabla 8

Comparación de medias de porcentaje de efectividad bajo el método de Tukey

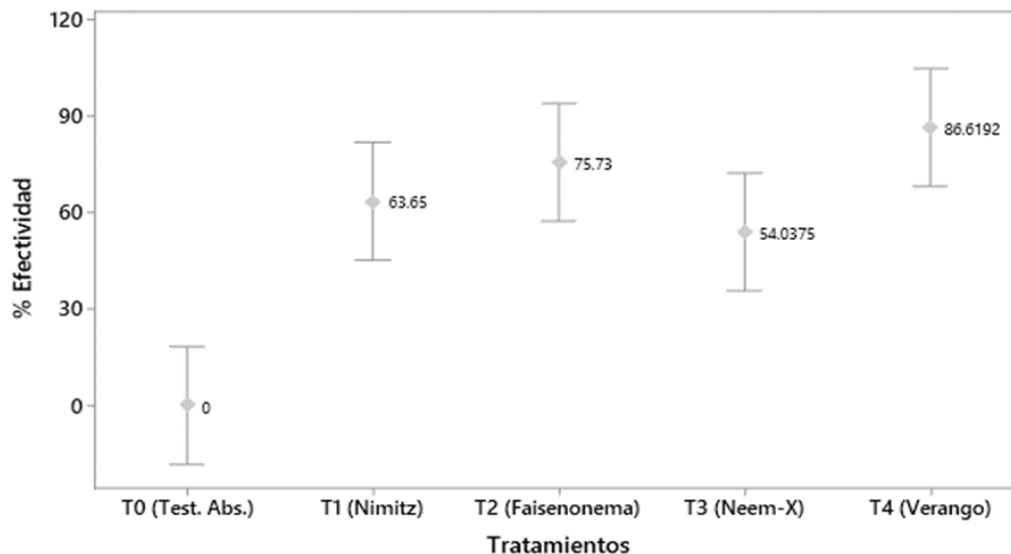
Tratamientos	N	Media	Agrupación
T4 (Verango)	12	86.62	A
T2 (Faisenonema)	12	75.73	A
T1 (Nimitz)	12	63.7	A
T3 (Neem-X)	12	54	A
T0 (Test. Abs.)	12	0	B

Nota. Las medidas que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Como resultados de los intervalos de efectividad vs. Tratamientos se obtuvo que el mayor porcentaje de efectividad fue el Tratamiento cuatro (Verango), seguido del Tratamiento dos (*Faisenonema*), Tratamiento uno (Nimitz), Tratamiento, Tratamiento tres (Neem-X); y por último, el Tratamiento cero (Testigo absoluto), obteniendo 0% de control.

Figura 9

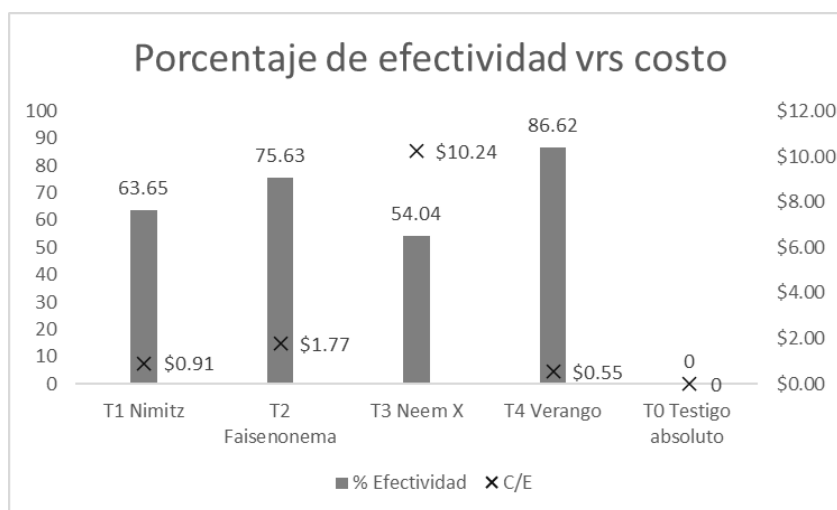
Intervalos de porcentaje de efectividad de control de nematodos fitoparásitos versus tratamientos



Como resultado del análisis de costo efectividad se obtuvo que, el Tratamiento uno (Nimitz) obtuvo un valor de \$0.91 dólares con 63.65% de efectividad; el Tratamiento dos (Faisenonema) valorado en \$1.77 con 75.63% de efectividad; Tratamiento tres (Neem X) de \$10.24 con 54.04% de efectividad y Tratamiento cuatro (Verango) de \$0.55 con 86.62% de efectividad.

Figura 10

Porcentajes de efectividad por tratamientos vs costo por tratamiento



4. Conclusiones

El tiempo de evaluación de este ensayo experimental fue de cuarenta días, donde se sometió a un análisis de dinámicas poblacionales de nematodos bajo los efectos controladores de los tratamientos antes mencionados.

Si bien, como se puede observar en la tabla 4, se establece que el análisis de varianza efectuado, especifica que, bajo los efectos controladores de los tratamientos existen diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados. Como en la tabla 5 se indican las agrupaciones correspondientes al análisis de media de Tukey, se puede establecer que el Tratamiento

dos (Faisenonema) es el tratamiento en donde la media de nematodos fitoparásitos en suelo, encontrados al final del periodo de estudio, fue más baja. No obstante, el Tratamiento uno (Nimitz), el Tratamiento tres (Neem-x) y el Tratamiento cuatro (Verango prime 50 SC) presentan comportamientos similares en el análisis de medias; siendo los cuatro tratamientos anteriores significativamente diferentes al comportamiento del Tratamiento 0 (Testigo absoluto).

Al analizar las medias, al final del periodo de estudio, podemos establecer que el Tratamiento dos (Faisenonema) es la media más baja

dentro del periodo, presentando un descenso considerable en las poblaciones de nematodos fitoparásitos en el periodo de estudio. Si bien la disminución es significativa en todos los tratamientos, se puede observar en la figura 1 que el diagrama de caja establece que el Tratamiento uno (Nimitz), tres (NeemX) y cuatro (Verango) presentaron niveles de error considerablemente altos; a lo cual podemos establecer que, el comportamiento del efecto controlador en las poblaciones de nematodos fitoparásitos en los suelos fueron de una manera dispareja; es decir, que fue relativamente diferente en los puntos de evaluación. Si bien su efecto fue diferente en los puntos tomados, siguen siendo considerados controladores de poblaciones; sin embargo, podemos ver que el Tratamiento dos (Faisenonema), su margen de error es más cercano a la media establecida; lo cual es un indicativo que el efecto controlador en los puntos evaluados fue similar, estableciendo que el comportamiento del Tratamiento dos (Faisenonema) es estable en su comportamiento.

La tendencia de disminución poblacional presentada en la figura 7 establece que, la disminución es significativa durante el periodo de evaluación. Sin embargo, al relacionar la figura 7 con la figura 8 se presenta las medias de nematodos fitoparásitos en el tiempo de estudio, se puede establecer que el Tratamiento dos (Faisenonema) es el tratamiento que ejerce mayor influencia en la tendencia de la figura 7. No obstante, los Tratamientos

uno, tres y cuatro ejercen una influencia significativa esta tendencia.

Bajo lo establecido anteriormente, el comportamiento del Tratamiento uno, dos, tres y cuatro son diferentes al Tratamiento cero (Testigo absoluto), presentando reducciones significativas en las poblaciones de nematodos fitoparásitos; por lo tanto, podemos decir que existe un efecto controlador. Sin embargo, se encuentran diferencias significativas en los efectos controladores en el Tratamiento dos y cuatro (véase en la figura 6).

En cuanto al efecto controlador de los tratamientos en evaluaciones, se puede establecer que el Tratamiento uno (Nimitz), siendo este un tratamiento químico, presenta un efecto controlador después de los veinte días de aplicación; sin embargo, se obtiene una disminución poblacional después del tiempo de espera para su efecto, llegando a obtener 353.66 nematodos fitoparásitos; el cual tuvo como punto máximo una población de 1877.33 nematodos fitoparásitos (véase en la figura 7). Por otra parte, el Tratamiento dos (Faisenonema), siendo un tratamiento biológico, se especula que el organismo - el cual es un hongo - tomaría tiempo en adaptarse a las condiciones del suelo; y luego de eso empezar su efecto controlador.

Se puede decir que, para este ensayo, Faisenonema actuó drásticamente desde el segundo muestreo, a tal punto que de 1909.1 se redujo hasta 436.83. Sin embargo, si se observa

que en el Tratamiento 3 (Nee X) su control fue fluctuante en los puntos de muestreo, el cual puede haberse dado debido a que es un biocontrolador; es decir, su efecto es repelente. No obstante, el Tratamiento ejerce un efecto controlador. Por último, el efecto del tratamiento cuatro (Verango prime), siendo un tratamiento químico se puede decir que dentro del comportamiento poblacional ha efectuado un control bastante significativo. Este tratamiento empezó con una media poblacional de 2896.6 nematodos fitoparásitos hasta 420 nematodos en el muestreo final; el cual, hasta este punto, se puede establecer que los dos mejores tratamientos según los comportamientos poblacionales durante el experimento fueron: el Tratamiento cuatro (Verango prime); el cual es una composición sintética, y el Tratamiento dos (Faisenonema), que es un controlador biológico *Paecilomyces lilacinus*.

Sin embargo, al hacer las correcciones de mortalidad con la fórmula de Henderson y Tilton se pueden apreciar los porcentajes de efectividad, siendo más efectivo el Tratamiento cuatro (Verango prime), controlando un 86.61% de su población base. Así se puede mencionar, también, que el Tratamiento dos (Faisenonema) controló 75.73% de su población total; colocándolo como segundo mejor controlador. Cabe mencionar que existe un control en los demás tratamientos como, el Tratamiento uno (Nimitz) con un 63.65% de

efectividad. Si bien, la efectividad de los productos fue aceptable, el Tratamiento cuatro y dos fueron los que más controlan las poblaciones; por lo que se puede establecer que existe un tratamiento biológico que puede llegar a comportarse de manera similar a un tratamiento químico.

Económicamente se puede determinar que dentro de todos los tratamientos existen algunos que no son factibles. No obstante, el tratamiento más económico y con un mejor porcentaje de efectividad en este estudio es el Tratamiento cuatro, el cual presentó un costo de efectividad de \$0.55 ctvs. (Eso se debe invertir para eliminar el 1% de la población total de nematodos presentes). Esto, por ser una aplicación única y de dosificación baja, hace del Tratamiento cuatro el más económico; la efectividad del Tratamiento uno puede presentar un potencial interesante, si se hubiese aplicado en dos momentos; el cual puede llegar a superar su propio porcentaje de control. Por otra parte, si bien el costo beneficio del Tratamiento dos es de \$1.77, que se puede llegar a controlar el 75.73% de la población total. Este tiene la ventaja de ser un organismo vivo, el cual estará colonizando el suelo; y su acción será prolongada durante un largo tiempo, si se proveen las condiciones necesarias para su subsistencia. Esto quiere decir que su acción controladora continuará siempre y cuando *Paecilomyces lilacinus* esté activo dentro del terreno de cultivo.

El desempeño del Tratamiento uno (Nimitz) presentó datos potenciales para la efectividad de control de nematodos fitoparásitos. Para este estudio presentó un 63.7% de efectividad, controlando las poblaciones de nematodos fitoparásitos bajo una sola aplicación con un costo de efectividad de \$0.91. Debido a los resultados obtenidos en este estudio, nace la duda sobre cuál hubiese sido su proyección, si se planifican dos aplicaciones; debido a que su ficha técnica lo permite.

Neem-X, Tratamiento tres, obtuvo un porcentaje de efectividad 54.04%. Si bien ejerce un control en las poblaciones de nematodos fitoparásitos, sus costos fueron los más altos de los cuatro tratamientos en evaluación. Debido a sus dosificaciones y a la cantidad de aplicaciones efectuadas, es necesario certificar que el efecto del Neem-x sea un producto que erradique las poblaciones de nematodos

fitoparásitos. Conforme los resultados obtenidos, se puede estar frente a un producto repelente, por la naturaleza de su composición, tal como lo establece Villanueva (2010).

Es importante recalcar el aspecto ambiental, ya que el Tratamiento dos ejerce como biocontrolador, dada su naturaleza. Este tratamiento provee beneficios al agricultor, debido a que cuenta con certificaciones de manejo orgánico, avalado por las comunidades internacionales, haciendo de *Paecilomyces lilacinus* un producto no residual. Esto permite su cosecha a cero días de aplicación; por lo tanto, es un producto que, a pesar de los costos de inversión, bajo un manejo integral dentro de las parcelas, se convierte en un tratamiento innovador. Y, a la vez, ecológicamente efectivo ante las problemáticas de la existencia de productos químicos residuales.

5. Referencias

- Andrés, M.F. (2002). Estrategias en el control y manejo de nematodos fitoparásitos. *Ciencia y Medioambientales*, pp. 221-227. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/128310/1/Estrategias%20en%20el%20control392\(M%C2%AAAF%20Andr%C3%A9s\).pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/128310/1/Estrategias%20en%20el%20control392(M%C2%AAAF%20Andr%C3%A9s).pdf)
- Castillo-Algarate, O.; Collantes-Arana, C.; Cox-Trigoso G. & Wilson-Krugg, J. (2014). Efecto de dos especies nativas de *Trichoderma* sobre huevos y juveniles de *Meloidogyne* Sp. en condiciones de laboratorio. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/641>
- Esparza-Díaz, G.; López-Collado, J. & Villanueva-Jimenez, J.; Osorio-Acosta, F. & Otero-Colina, G. & Camacho-Díaz, E. (2010). Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. JUSS. *Agrociencia*, 44(7), 821-833. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000700008

- Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua. (2009). Uso y manejo de *Paecilomyces lilacinus* para el control de nematodos. *Desarrollo tecnológico agrícola*. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209155121001.pdf>
- Lezaun, J. (2016). Nematodos Fitoparásitos. *CropLife Latin America*. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/nematodos-fitoparasitos>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). Anuario de estadísticas agropecuarias 2016-2017. <https://www.mag.gob.sv/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>
- Romero-Villagra, D. (2003). *Efectos de la aplicación de Paecilomyces Lilacinus En el control de Meloidogyne Spp. en pepino* [Tesis de grado, Universidad Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/f472b6b9-5b58-4649-bcf0-67335ce72b33>
- Salazar-Antón, W. y Guzmán-Hernández, T. (2013). Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), pp. 27-36. <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sciS1659-13212013000100003&lng=en&tlng=es>
- Tavera, M. (2003). *Manual de nematología*. <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CNTSP722ZI4569&id=4569>
- Valencia, R.; Guzmán, O.; Villegas, B. y Castaño, J. (2014). *Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano dominico hartón*. Luna Azul (39:165-185). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321732142011>
- Vicente, N. (2010). *Nematodos*. <https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/TOMATE-Nematodos-v2007.pdf>
- Vinchira-Villarraga, D.M. y Moreno-Sarmiento, N. (2019). Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana Biotecnol*, 1, pp. 2-5. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v21n1/0123-3475-biote-21-01-2.pdf>
- Zavaleta-Mejía, E. (1999). Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas. *Revista Terra*, 17(3) :201-207. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317304.pdf>