

Artículo Científico

Efecto de nematocidas sobre poblaciones de nematodos asociados al cultivo de banano (*Musa spp.*)

*The effect of nematocides on nematode populations associated with banana cultivation (*Musa spp.*)*



Troncozo-Correa, Juan Bautista ¹



<https://orcid.org/0009-0000-3217-007X>



troncozojuan95@gmail.com



Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, Milagro.



Rodríguez-Intriago, Carlos Kevin ²



<https://orcid.org/0009-0008-6266-3535>



carlos.rodriguez2016@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Vera-Herrera, Winter Abel ³



<https://orcid.org/0009-0000-4180-9744>



winterabel@hotmail.es



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Pillasagua-León, Ivonne Rocio ⁴



<https://orcid.org/0009-0002-0173-8966>



ivonnepillasagua@gmail.com



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Arteaga-Terán, Aramy Geoconda ⁵



<https://orcid.org/0009-0005-0695-3747>



aramyarteagat@gmail.com



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/273>

Resumen: El cultivo de banano constituye una actividad agrícola de importancia económica, cuya productividad puede verse afectada por nematodos fitoparásitos que deterioran el sistema radical y reducen la capacidad de absorción de agua y nutrientes. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres nematocidas sobre las poblaciones de nematodos asociados al cultivo de banano. La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, evaluados durante ciento veinte días. Se determinaron el porcentaje de raíces funcionales, el porcentaje de daño radicular y las poblaciones de *Radopholus*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* y *Meloidogyne*. El tratamiento con fluensulfone presentó el mejor comportamiento, alcanzando un porcentaje de raíces funcionales de 92,8 por ciento a los noventa días y manteniendo 76,4 por ciento a los ciento veinte días, mientras que el tratamiento sin aplicación registró 32,0 por ciento. A los ciento veinte días, fluensulfone presentó poblaciones de 3740 *Radopholus*, 5060 *Helicotylenchus*, 1100 *Pratylenchus* y 660 *Meloidogyne*, frente a 21200, 23000, 6400 y 3400 individuos, respectivamente, en el tratamiento sin aplicación. En conclusión, fluensulfone presentó la mayor eficacia y persistencia en la reducción de nematodos y en la conservación de raíces funcionales durante el período experimental.

Palabras clave: nematodos fitoparásitos; nematocidas; fluensulfone; fluopyram; oxamyl; fosthiazate.

Received: 22/Ago/2026

Accepted: 20/Sep/2026

Published: 12/Oct/2026

Cita: Troncozo-Correa, J. B., Rodríguez-Intriago, C. K., Vera-Herrera, W. A., Pillasagua-León, I. R., & Arteaga-Terán, A. G. (2026). Efecto de nematocidas sobre poblaciones de nematodos asociados al cultivo de banano (*Musa spp.*). *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(4), 88-104. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/273>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Banana cultivation is an economically important agricultural activity whose productivity can be affected by plant-parasitic nematodes that damage the root system and reduce the capacity to absorb water and nutrients. The objective of this study was to evaluate the effect of three nematicides on nematode populations associated with banana cultivation. The research was conducted under a randomized complete block design with four treatments and five replications, evaluated over one hundred and twenty days. The percentage of functional roots, percentage of root damage, and populations of *Radopholus*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, and *Meloidogyne* were determined. The treatment with fluensulfone showed the best performance, reaching 92.8 percent functional roots at ninety days and maintaining 76.4 percent at one hundred and twenty days, whereas the untreated treatment recorded 32.0 percent. At one hundred and twenty days, fluensulfone presented populations of 3740 *Radopholus*, 5060 *Helicotylenchus*, 1100 *Pratylenchus*, and 660 *Meloidogyne*, compared with 21200, 23000, 6400, and 3400 individuals, respectively, in the untreated treatment. In conclusion, fluensulfone showed the highest efficacy and persistence in reducing nematode populations and maintaining functional roots throughout the experimental period.

Keywords: phytoparasitic nematodes; nematicides; fluensulfone; fluopyram; oxamyl; fosthiazate.

1. Introducción

El banano (*Musa* spp.) constituye uno de los cultivos frutales más importantes a nivel mundial debido a su relevancia económica, social y alimentaria (Inta et al., 2023). Su producción supera los 130 millones de toneladas anuales, siendo una de las frutas más consumidas y comercializadas en los mercados internacionales (Nath et al., 2021). Además de representar una fuente importante de ingresos para millones de productores, el cultivo genera empleo en actividades relacionadas con la producción, empaque, transporte y exportación (Choudhury et al., 2023). La creciente demanda mundial ha impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a mejorar la productividad y sostenibilidad de este cultivo (Morelia-Jiménez et al., 2023).

La producción bananera se encuentra distribuida principalmente en regiones tropicales y subtropicales, donde las condiciones climáticas favorecen su crecimiento y desarrollo (Martínez-Solórzano et al., 2022). Países de América Latina, Asia y África destacan como importantes productores y exportadores de banano, contribuyendo significativamente al abastecimiento de los mercados internacionales (Viveros et al., 2022). Entre estos países, Ecuador se ha consolidado como uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, gracias a la calidad de su fruta y a las condiciones agroecológicas favorables para su producción (Rendon-Guerra et al.,

2025). Esta actividad representa una fuente fundamental de divisas para la economía nacional (Yu et al., 2024).

En Ecuador, el cultivo de banano ocupa una posición estratégica dentro del sector agrícola, siendo uno de los productos de exportación más importantes (Jiménez et al., 2021). La superficie cultivada supera las 180.000 hectáreas y se concentra principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos y El Oro (Torres et al., 2023). El sector bananero genera miles de empleos directos e indirectos, contribuyendo al desarrollo económico y social de numerosas comunidades rurales (Chevez et al., 2024; Zambrano et al., 2026). Sin embargo, la productividad del cultivo enfrenta diversas limitaciones ocasionadas por factores bióticos y abióticos que afectan el rendimiento y la calidad de la producción (Murillo et al., 2021).

Entre los problemas fitosanitarios más importantes que afectan al banano se encuentran los nematodos fitoparásitos, organismos microscópicos que habitan en el suelo y atacan el sistema radical de las plantas (Mostafa et al., 2021). Estos patógenos reducen la capacidad de absorción de agua y nutrientes, provocando debilitamiento, disminución del crecimiento vegetativo y reducción de los rendimientos (Monteiro et al., 2020). Las infestaciones severas ocasionan daños considerables en las raíces, favoreciendo además el ingreso de otros microorganismos patógenos (Mandou et al., 2023). Como consecuencia, las plantas presentan menor vigor y una mayor susceptibilidad al volcamiento (Abd-Elrahman et al., 2024).

Los principales nematodos asociados al cultivo de banano incluyen especies como *Radopholus similis*, *Meloidogyne* spp., *Helicotylenchus multicinctus* y *Pratylenchus* spp., considerados de gran importancia económica (Ciancio et al., 2022). *Radopholus similis*, conocido como nematodo barrenador, es uno de los más destructivos debido a su capacidad para provocar extensas necrosis en las raíces (Ganeshan et al., 2021; Zaid, 2024). Por su parte, *Meloidogyne* spp. induce la formación de agallas que alteran el funcionamiento normal del sistema radical (Avhad, 2023). La presencia de estas especies puede generar pérdidas significativas en la producción cuando no se implementan estrategias adecuadas de manejo (Santos et al., 2023).

Para el control de estos organismos se emplean diversas prácticas de manejo integrado, entre las que destaca la aplicación de nematicidas (Al-Ghamdi, 2021). Los nematicidas son productos diseñados para reducir las poblaciones de nematodos presentes en el suelo o en las raíces de las plantas, contribuyendo a disminuir los daños ocasionados por estos patógenos (Yogaswara et al., 2021). Actualmente existen nematicidas químicos y biológicos que actúan mediante diferentes mecanismos de acción (Chen et al., 2020; Desaeger et al., 2020). Entre los productos químicos más utilizados en banano se encuentran formulaciones a base de fluopyram, oxamyl, fosthiazate y fluensulfone (Jaramillo et al., 2023), mientras que los nematicidas biológicos incorporan microorganismos benéficos capaces de antagonizar o reducir las poblaciones de nematodos (Grabau & Liu, 2021; Oka, 2020; Wram & Zasada, 2020).

La evaluación de la eficacia de los nematicidas constituye una herramienta fundamental para optimizar el manejo fitosanitario del cultivo de banano y garantizar una producción sostenible (Tiwari, 2025). El conocimiento de su efecto sobre las poblaciones de nematodos permite seleccionar alternativas de control más eficientes y reducir las pérdidas económicas asociadas a estos organismos. Asimismo, la generación de información técnica contribuye al desarrollo de programas de manejo integrado que favorezcan la productividad y competitividad del sector bananero (Herrera-Sánchez & Gavilánez-Buñay, 2023). En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de nematicidas sobre poblaciones de nematodos asociados al cultivo de banano (*Musa* spp.).

2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Hacienda San Vicente, ubicada en el kilómetro 37 de la vía Quevedo–Santo Domingo, parroquia Fumisa, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos, Ecuador. El sitio experimental se localizó en las coordenadas geográficas 79°27'58,8" de longitud oeste y 0°41'21,6" de latitud sur, a una altitud de 134 m s.n.m. La zona presentó una temperatura promedio anual de 28,9 °C, humedad relativa del 80 %, precipitación anual de 220 mm y una heliofanía de 638,8 horas luz por año. De acuerdo con la clasificación ecológica, el área correspondió a un Bosque Húmedo Tropical (BH-T), con topografía ondulada, condiciones favorables para el desarrollo del cultivo de banano y de organismos fitoparásitos asociados al sistema radical.

La investigación fue de tipo experimental debido a que se manipuló deliberadamente la aplicación de diferentes nematicidas para evaluar su efecto sobre las poblaciones de nematodos presentes en el cultivo de banano (*Musa* spp.).

El ensayo se estableció bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por cuatro tratamientos y cinco repeticiones, obteniéndose un total de veinte unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por cinco plantas de banano variedad Cavendish (*Musa* AAA) con aproximadamente ocho meses de edad, seleccionadas por presentar características homogéneas de desarrollo y condiciones fitosanitarias similares. Las plantas utilizadas se encontraban distribuidas dentro de una plantación comercial y fueron seleccionadas considerando que la planta madre estuviera próxima a cosecha o recién en fructificación, que el hijo de sucesión presentara una altura mínima de 1,50 m y que las unidades experimentales no se encontraran próximas a linderos, canales de drenaje o vías de acceso que pudieran influir sobre los resultados.

Se evaluaron tres nematicidas de uso comercial y un tratamiento testigo sin aplicación. El tratamiento T1 correspondió a Oxamyl 10 GR, cuyo ingrediente activo fue oxamilo al 10 %, aplicado a una dosis equivalente a 30 kg ha⁻¹. El tratamiento T2 consistió en Fluensulfone 480 EC, formulado con 480 g L⁻¹ de ingrediente activo, aplicado a una dosis de 4 L ha⁻¹. El tratamiento T3 correspondió a Fluopyram 400 SC, formulado con

400 g L⁻¹ de ingrediente activo, aplicado a una dosis de 0,625 L ha⁻¹. El tratamiento T4 fue el control absoluto, donde no se realizó aplicación de ningún nematicida. Las aplicaciones se realizaron siguiendo las recomendaciones técnicas de cada producto para el manejo de nematodos fitoparásitos en banano, procurando una distribución uniforme sobre la zona de actividad radicular de las plantas evaluadas.

Previo a la aplicación de los tratamientos se efectuó un muestreo inicial para determinar la densidad poblacional de nematodos presentes en el sistema radical. Para ello se seleccionaron cinco plantas por tratamiento y se recolectaron aproximadamente 100 g de raíces funcionales y raíces afectadas provenientes de la zona rizosférica activa. La extracción de las muestras se realizó mediante la apertura de un hoyo de 26 cm de largo, 13 cm de ancho y 30 cm de profundidad, equivalente a 10 dm³ de suelo. Las muestras obtenidas fueron colocadas en fundas plásticas identificadas y transportadas al laboratorio especializado ANEMAGRO para su respectivo procesamiento y análisis.

Posteriormente, los tratamientos fueron aplicados utilizando una bomba de mochila de presión constante, dirigiendo el producto hacia la zona radicular del retorno. Las aplicaciones se efectuaron durante horas de menor radiación solar para favorecer la incorporación de los productos al suelo y minimizar pérdidas por evaporación. Se realizaron evaluaciones periódicas cada 30 días durante un período total de 120 días después de la aplicación. En cada fecha de evaluación se repitió el procedimiento de muestreo de raíces para determinar la dinámica poblacional de los nematodos y el estado sanitario del sistema radical.

Las variables evaluadas fueron, el porcentaje de raíces funcionales, se determinó mediante la evaluación de muestras de 100 g de raíces recolectadas en cada unidad experimental. Las raíces fueron clasificadas como funcionales cuando presentaron tejidos firmes, coloración clara y ausencia de necrosis o deformaciones. Posteriormente se calculó el porcentaje de raíces funcionales respecto al total de raíces examinadas. El porcentaje de daño radicular se obtuvo a partir de la evaluación visual de las raíces procesadas en laboratorio. Se consideraron síntomas como necrosis cortical, oxidación de tejidos, cavidades internas, pérdida de turgencia y coloraciones oscuras asociadas al ataque de nematodos fitoparásitos. Los resultados fueron expresados en porcentaje de daño respecto al total de raíces evaluadas.

La población de nematodos se cuantificó a partir de muestras de 100 g de raíces procesadas mediante el método de lavado y tamizado. Las raíces fueron lavadas, cortadas y sometidas a licuado suave en agua para liberar los nematodos presentes en los tejidos. Posteriormente, la suspensión obtenida se pasó por una serie de tamices de diferente apertura para recuperar los organismos presentes. Los nematodos recuperados fueron concentrados mediante sedimentación y observados bajo microscopio para su identificación y conteo. Los resultados fueron expresados como número de nematodos por 100 g de raíz fresca. Se identificaron principalmente

individuos pertenecientes a los géneros *Meloidogyne* spp., *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp. y *Radopholus* spp..

Los datos obtenidos fueron sometidos inicialmente a pruebas de normalidad mediante Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Cuando fue necesario, los datos fueron transformados mediante raíz cuadrada para cumplir con los supuestos estadísticos requeridos por el análisis de varianza. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos. En aquellas variables donde se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5 % de probabilidad. Todos los análisis fueron ejecutados utilizando el software InfoStat versión estudiantil 2021.

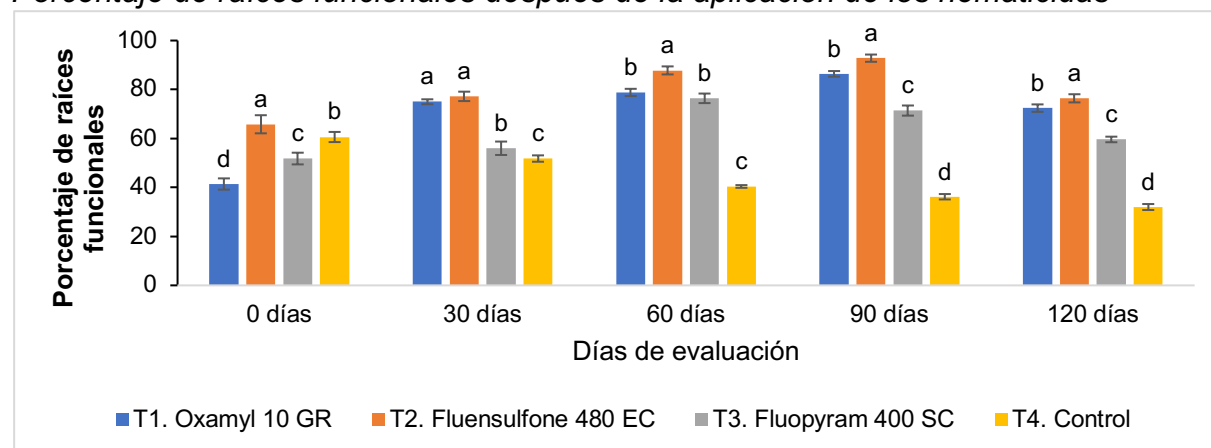
3. Resultados

3.1. Porcentaje de raíces funcionales

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos en todas las fechas de muestreo. En el día 0, T2 (Fluensulfone) presentó el mayor porcentaje de raíces funcionales, con 65,8 %, el control T4 obtuvo 60,6 %, T3 (Fluopyram) con 51,8 % y T1 (Oxamyl) registró 41,4 %. Para el día 30, T2 fue mayor con 77,2 %, sin diferencia estadística respecto a T1 (75,0 %), pero superando de forma significativa a T3 (56,0 %) y a T4 (51,8 %). Hacia el día 60, T2 alcanzó 87,8 % de raíces funcionales, siendo mayor a los demás tratamientos; T1 y T3 mostraron el 78,8 % y 76,4 %, respectivamente, mientras que el control reportó 40,4 %. En el día 90, T2 fue mayor con 92,8 %, seguido por T1 (86,4 %) y T3 (71,4 %); el control fue inferior con 36,2 %. En el día 120, T2 alcanzó el mayor porcentaje de raíces funcionales (76,4 %), seguido de T1 (72,4 %) y T3 (59,6 %), mientras el control registró el porcentaje con 32,0 % (Figura 1).

Figura 1

Porcentaje de raíces funcionales después de la aplicación de los nematicidas



Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

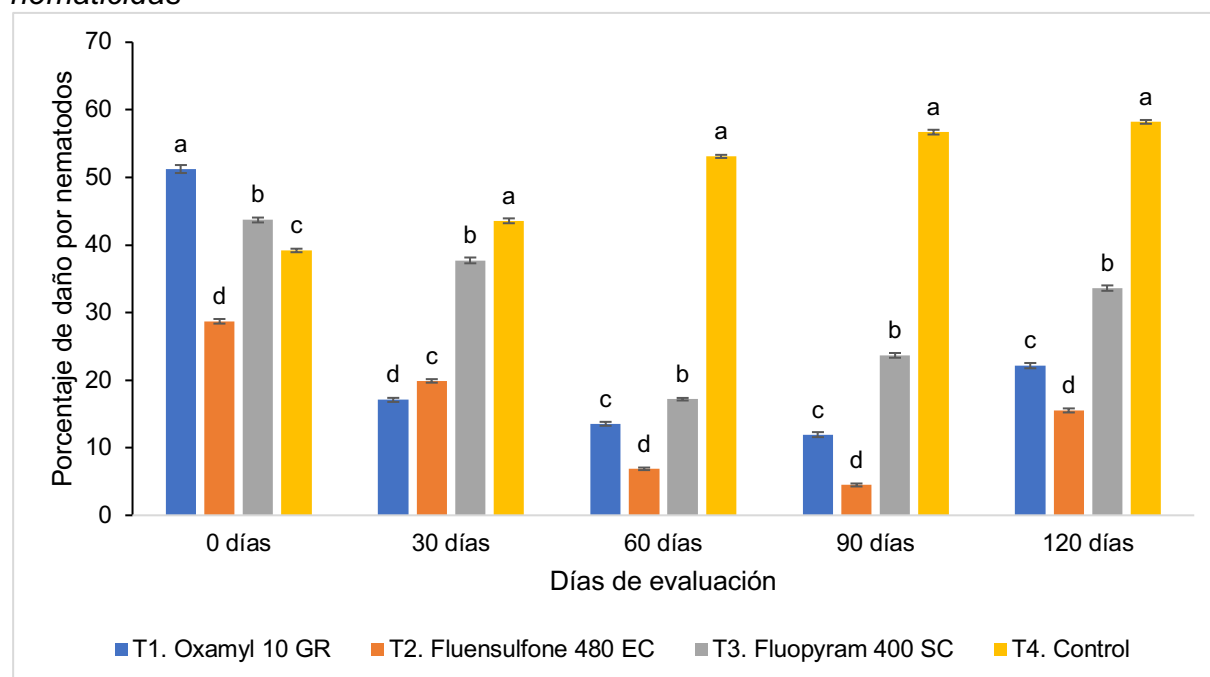
3.2. Porcentaje de daño producido por nematodos

En cuanto al porcentaje de daño producido por los nematodos se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Desde el inicio, T2 mostró el menor daño (28,71 %), frente a T1 (51,24 %) y T3 (43,7 %), mientras que el control T4 fue menor con 39,19 %. A los 30 días, el control (T4) alcanzó el mayor daño (43,58 %), seguido por T3 (37,72 %); en contraste, T2 y T1 redujeron significativamente el daño, con 19,89 % y 17,08 %, respectivamente.

En el día 60, T2 reportó el 6,88 % de daño, mostrando mayor eficacia que T1 (13,54 %) y T3 (17,18 %), mientras el control obtuvo el mayor daño con 53,11 %. A los 90 días, T2 presentó el menor porcentaje de daño (4,49 %), seguido por T1 (11,94 %) y T3 (23,67 %); el control fue el más afectado, con 56,7 %. Para el día 120, T2 fue el tratamiento más eficaz, con 15,52 % de daño, significativamente inferior a T1 (22,15 %) y T3 (33,62 %), mientras que el control (T4) presentó el mayor daño producido por los nematodos con 58,22 % (Figura 2).

Figura 2

Porcentaje de daño producido por nematodos después de la aplicación de los nematicidas



Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

3.3. Población de nematodos presentes en la raíz

3.3.1. Población de *Radopholus* spp.

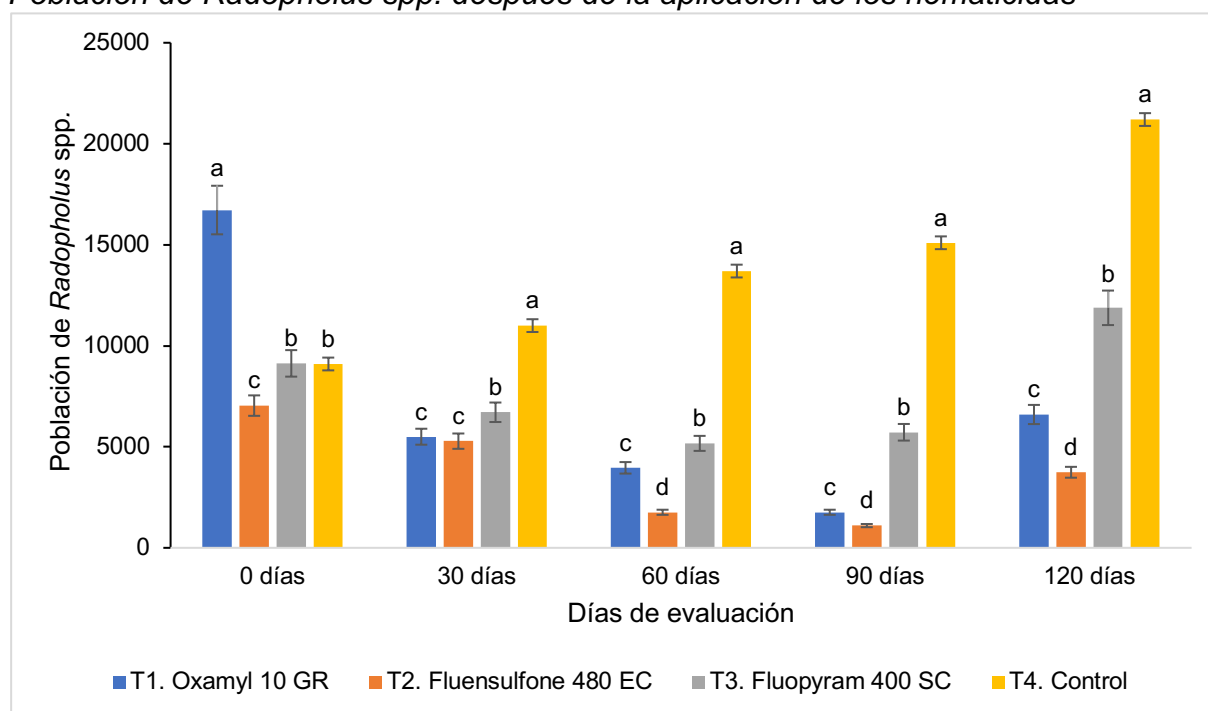
Todos los tratamientos con producto nematicida redujeron significativamente la población de *Radopholus* spp. respecto al control durante todo el periodo evaluado. Al inicio, T2 tuvo la menor población (7040 individuos), mientras que T1 presentó el mayor número de individuos (16 720). A los 30 días, las poblaciones bajaron en los

tratamientos tratados: T2 (5280), T1 (5500) y T3 (6710), mientras el control subió a 11 000.

En el día 60, T2 mostró el menor conteo (1760), seguido de T1 (3960) y T3 (5170); el control se elevó a 13 700. A los 90 días, T2 reflejó ser el más efectivo (1100), T1 se alcanzó en 1760 y T3 en 5720, mientras el control aumentó a 15 100. Para el día 120, T2 registró la menor cantidad de individuos (3740), frente a T1 (6600), T3 (11 880) y el control, que llegó a su punto máximo con 21 200 individuos (Figura 3).

Figura 3

Población de Radopholus spp. después de la aplicación de los nematicidas

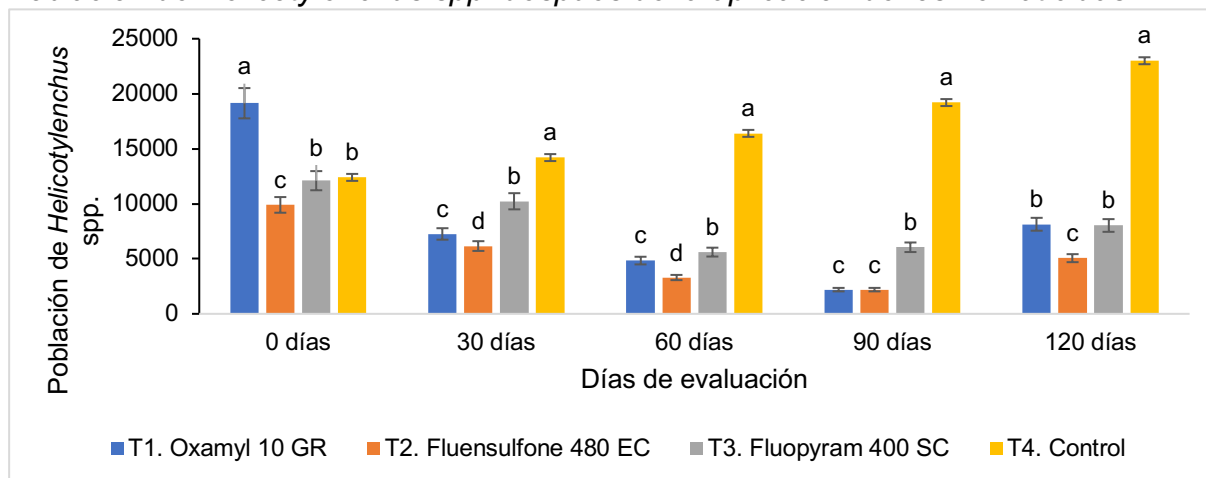


Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

3.3.2. Población de *Helicotylenchus* spp.

En cuanto a la población de *Helicotylenchus* spp. el T2 fue el tratamiento más eficaz en reducir esta población a lo largo del tiempo. En el día 0, T1 presentó el mayor número de individuos (19 140), mientras T2 fue inferior (9900). A los 30 días, las poblaciones bajo tratamiento nematicida disminuyeron, con T2 en 6160, mientras el control subió a 14 200.

En el día 60, T2 mantuvo la menor población (3300), seguido por T1 (4840) y T3 (5610); el control aumentó a 16 400. A los 90 días, T1 y T2 lograron reducir la población a 2200 individuos cada uno, en contraste con T3 (6050) y el control (19 200). Para el día 120, T2 presentó la menor cantidad de nematodos (5060), seguido de T3 (8030) y T1 (8140), mientras el control alcanzó 23 000 individuos (Figura 4).

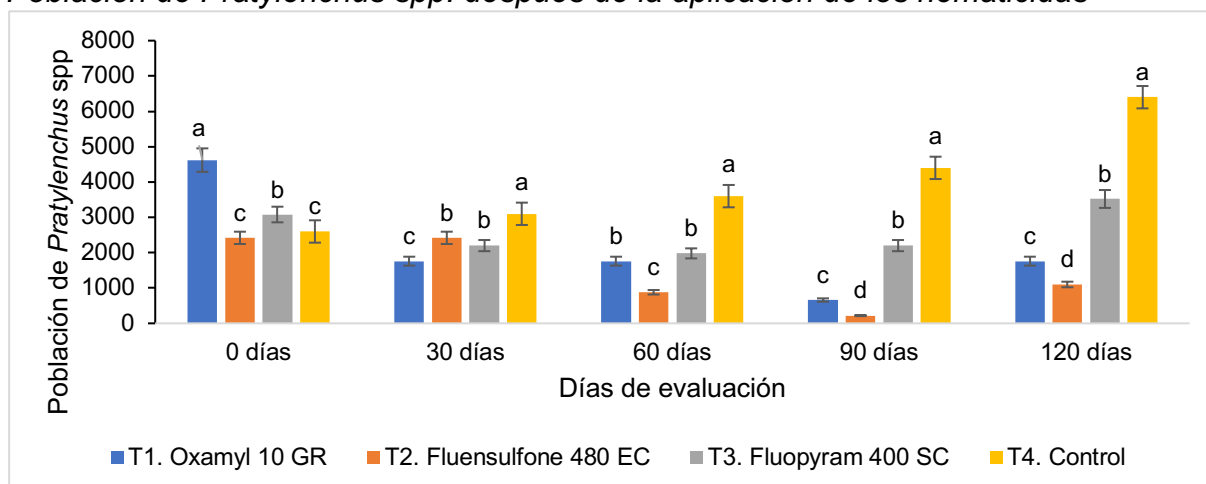
Figura 4*Población de Helicotylenchus spp. después de la aplicación de los nematicidas*

Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

3.3.3. Población de *Pratylenchus* spp.

Se observaron variaciones según el tratamiento. Desde el inicio, T2 tuvo la menor población (2420), mientras que T1 registró el mayor número de nematodos (4620). A los 30 días, los tratamientos con producto nematicida redujeron sus poblaciones, destacando T1 (1760) y T2 (2420), mientras el control subió a 3100.

En el día 60, T2 redujo la población de nematodos a 880 individuos, seguido de T1 (1760); T3 y el control reportaron 1980 y 3600 individuos, respectivamente. A los 90 días, T2 alcanzó la menor población de todo el ensayo (220), T1 se mantuvo en un nivel inferior (660), mientras T3 (2200) y el control (4400) aumentaron. Para el día 120, T2 obtuvo menor número de individuos (1100), seguido de T1 (1760); T3 subió a 3520 y el control fue mayor, con 6400 nematodos (Figura 5).

Figura 5*Población de Pratylenchus spp. después de la aplicación de los nematicidas*

Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

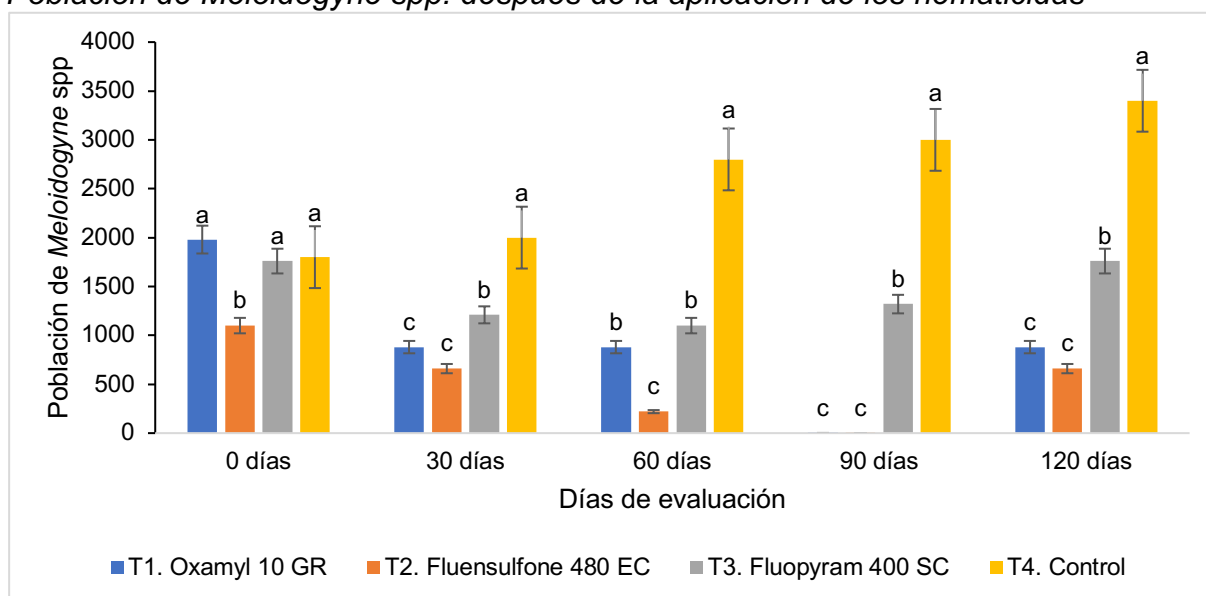
3.3.4. Población de *Meloidogyne* spp.

En cuanto a la población de *Meloidogyne* spp el T2 destacó como el tratamiento con mayor efecto de control sobre la población de este nematodo. Al inicio, T2 tuvo la menor población (1100), mientras que T1, T3 y el control presentaron un mayor número de individuos (1980, 1760 y 1800, respectivamente). A los 30 días, T2 y T1 redujeron sus poblaciones a 660 y 880 individuos, en contraste con el control, que aumentó a 2000, y T3, que llegó a 1210.

En el día 60, T2 presentó 220 individuos, seguido de T1 (880); T3 y el control mostraron 1100 y 2800 nematodos, respectivamente. A los 90 días, T2 reportó la menor cantidad de *Meloidogyne* spp. (0,6 individuos), T1 obtuvo 1,2, mientras T3 subió a 1320 y el control a 3000. En el día 120, T2 registró la menor población (660), seguido de T1 (880); T3 llegó a 1760 y el control fue mayor, con 3400 individuos (Figura 6).

Figura 6

Población de Meloidogyne spp. después de la aplicación de los nematicidas



Nota: Las barras representan la media aritmética de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas entre según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian diferencias en la eficacia de los nematicidas evaluados para el manejo de nematodos fitoparásitos, reflejadas tanto en la conservación de la funcionalidad del sistema radicular como en la reducción de las poblaciones de *Radopholus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp. La evaluación realizada durante el período experimental permitió identificar el comportamiento de cada ingrediente activo y la persistencia de su efecto sobre las variables analizadas.

La evaluación del porcentaje de raíces funcionales mostró diferencias entre los tratamientos, siendo T2 (Fluensulfone 480 EC, 4 L ha⁻¹) el que presentó el mejor comportamiento durante gran parte del período de evaluación, alcanzando los mayores porcentajes de raíces funcionales a los 90 días después de la aplicación. Estos resultados coinciden con Abd-Elgawad (2025), quien señala que un manejo eficiente de los nematodos favorece la recuperación del sistema radicular y mejora la absorción de agua y nutrientes. El desempeño observado en los demás tratamientos demuestra que la respuesta depende no solo del ingrediente activo, sino también de su modo de acción, persistencia y movilidad en el suelo.

El comportamiento temporal de las raíces funcionales evidenció una fase de recuperación progresiva entre los 30 y 90 días posteriores a la aplicación, seguida de una ligera disminución a los 120 días. Esta tendencia puede atribuirse a la reducción gradual de la actividad residual de los nematicidas y a la recolonización natural de las poblaciones de nematodos, fenómeno descrito por Sikora y Fernández (2005). En contraste, el tratamiento testigo (T4) presentó un deterioro continuo de la funcionalidad radicular, confirmando el efecto negativo que ejercen los nematodos cuando no se implementan medidas de control.

El análisis del daño radicular ocasionado por nematodos confirmó la efectividad de los tratamientos químicos, observándose la mayor protección en T2 (Fluensulfone 480 EC), con una marcada reducción del daño respecto al tratamiento testigo. Estos resultados concuerdan con Abd-Elgawad (2024), quien reporta que el control oportuno de nematodos disminuye significativamente las lesiones radiculares y favorece el desarrollo de nuevas raíces funcionales. Asimismo, la permanencia del efecto protector hasta los 120 días sugiere una adecuada persistencia del producto bajo las condiciones del estudio.

Respecto a las poblaciones de *Radopholus* spp., los tratamientos nematicidas redujeron significativamente la densidad del patógeno en comparación con el control, destacándose nuevamente T2 por mantener los menores niveles poblacionales durante la mayor parte del ensayo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Chabrier et al. (2009), quienes documentaron una elevada eficacia de los nematicidas modernos para reducir poblaciones de *Radopholus similis* en cultivos tropicales. La ligera recuperación poblacional observada a los 120 días coincide con el proceso de recolonización descrito por Tankam-Chedjou et al. (2020).

El comportamiento de *Helicotylenchus* spp. mostró una tendencia similar, registrándose menores poblaciones en los tratamientos con nematicidas respecto al testigo. Sin embargo, la magnitud de la reducción fue inferior a la observada para *Radopholus* spp., lo que sugiere diferencias en la susceptibilidad entre géneros. Esta respuesta diferencial también ha sido señalada por Wang et al. (2023), quienes indican que la eficacia de los nematicidas puede variar según la biología y los mecanismos de adaptación de cada especie.

En el caso de *Pratylenchus* spp., los tratamientos químicos disminuyeron considerablemente la población durante el período de evaluación, siendo Fluensulfone (T2) el tratamiento que presentó la mayor reducción. Estos resultados superan los porcentajes de control reportados por Afzal y Mukhtar (2024), lo que podría atribuirse a las condiciones edafoclimáticas favorables y a la adecuada oportunidad de aplicación. La posterior recuperación parcial de la población a los 120 días confirma el comportamiento esperado para nematicidas no fumigantes descrito por Abd-Elgawad (2021).

Para *Meloidogyne* spp. también se observó una reducción significativa en todos los tratamientos con nematicidas, destacándose nuevamente T2, el cual alcanzó los menores niveles poblacionales durante la evaluación. Esta respuesta demuestra la capacidad del producto para limitar el establecimiento y desarrollo del nematodo durante las etapas iniciales de infestación, coincidiendo con lo señalado por Sikandar et al. (2020), quienes destacan la importancia del momento de aplicación para maximizar el control de este género.

La comparación general entre los cuatro géneros de nematodos evidenció diferencias en la respuesta a los tratamientos evaluados, observándose mayor sensibilidad en *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp., seguida por *Radopholus* spp. y *Helicotylenchus* spp. Este comportamiento confirma que la eficacia de los nematicidas depende tanto del ingrediente activo como de las características biológicas de cada género y de las condiciones del suelo, tal como señalan Ney et al. (2019) y Abd-Elgawad (2024).

En conjunto, los resultados permiten identificar un patrón de respuesta caracterizado por una reducción gradual de las poblaciones durante los primeros 90 días posteriores a la aplicación, seguida de una ligera recuperación hacia los 120 días. Este comportamiento coincide con el modelo de persistencia y degradación de nematicidas descrito por Sikora et al. (2023), indicando que el período comprendido entre los 60 y 90 días corresponde a la fase de mayor eficacia biológica, información útil para establecer estrategias de manejo integrado y definir intervalos de reaplicación.

En síntesis, los resultados obtenidos demuestran que los tres nematicidas evaluados contribuyeron al manejo de los nematodos fitoparásitos; sin embargo, el tratamiento T2 (Fluensulfone 480 EC, 4 L ha⁻¹) presentó el mejor desempeño al mantener una mayor funcionalidad radicular y lograr la mayor reducción de las poblaciones de nematodos durante el período de evaluación. Estos hallazgos aportan información relevante para la selección de nematicidas dentro de programas de manejo integrado en sistemas agrícolas tropicales.

5. Conclusiones

El tratamiento T2 (Fluensulfone 480 EC, 4 L ha⁻¹) mantuvo un control efectivo y sostenido de las poblaciones de nematodos durante los 120 días de evaluación, evidenciando una mayor persistencia de su efecto en comparación con los demás

tratamientos. Su desempeño fue particularmente destacado en el control de *Radopholus* spp. y *Meloidogyne* spp., lo que permitió conservar una mejor condición del sistema radicular del cultivo de banano (*Musa* AAA).

La aplicación de los nematicidas evaluados redujo las poblaciones de nematodos fitoparásitos presentes en las raíces del banano; sin embargo, el tratamiento T2 (Fluensulfone 480 EC, 4 L ha⁻¹) presentó la mayor eficacia al disminuir las poblaciones de *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp., *Radopholus* spp. y *Meloidogyne* spp. en comparación con el tratamiento testigo, demostrando un mayor potencial para el manejo de estos patógenos en el sistema radicular del cultivo.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

Referencias Bibliográficas

- Abd-Elgawad, M. (2021). Optimizing Safe Approaches to Manage Plant-Parasitic Nematodes. *Plants*, 10(9), 1911. <https://doi.org/10.3390/plants10091911>
- Abd-Elgawad, M. (2025). Integrated Nematode Management Strategies: Optimization of Combined Nematicidal and Multi-Functional Inputs. *Plants*, 14(7), 1004. <https://doi.org/10.3390/plants14071004>
- Abd-Elgawad, M. M. M. (2024). Upgrading Strategies for Managing Nematode Pests on Profitable Crops. *Plants*, 13(11), 1558. <https://doi.org/10.3390/plants13111558>
- Abd-Elrahman, A. A., Elzamk, F. I., Labib, H. M., & Hegazy, M. I. (2024). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on plant parasitic nematodes infecting banana, *Musa* spp. In some specific farms in Sharkia governorate. *Biotechnology Research*, 51(4). <https://doi.org/10.21608/zjar.2024.380611>
- Afzal, A., & Mukhtar, T. (2024). Revolutionizing nematode management to achieve global food security goals - An overview. *Heliyon*, 10(3), e25325. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25325>
- Al-Ghamdi, A. A. M. (2021). Relationship between Nematodes and some Soil Properties in the Rhizosphere of Banana Plants. *International Letters of Natural Sciences*, 82, 1-12. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilns.82.1>

- Avhad, S. (2023). Plant parasitic nematodes and their management in banana (*Musa* sp.): A review. *Research and Reviews in Agriculture Science Volume III*, 32. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.16.55580>
- Chabrier, C., Carles, C., Desrosiers, C., Quénéhervé, P., & Cabidoche, Y.-M. (2009). Nematode dispersion by runoff water: Case study of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on nitisol under humid tropical conditions. *Applied Soil Ecology*, 41(2), 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.10.005>
- Chen, J., Li, Q. X., & Song, B. (2020). Chemical nematicides: Recent research progress and outlook. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(44), 12175-12188. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02871>
- Chevez Véliz, H. H., Tuarez García, D. A., Erazo Solórzano, C. Y., Revilla Escobar, K. Y., Aldas, J., & Guapi Álava, G. M. (2024). Evaluación físico-química del banano maqueño (*Mussa acuminata*) en dos zonas de cultivo en Ecuador. *Acta Agronómica*, 72(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v72n2.110066>
- Choudhury, A., Kumari, M., & Dey, B. K. (2023). Morphological and phytochemical characterization of *Musa balbisiana* colla and *Musa acuminata* colla. *Journal of Applied Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(2), 1-8. <https://www.joapponline.com/index.php/joapp/article/view/39>
- Ciancio, A., Rosso, L. C., Lopez-Cepero, J., & Colagiero, M. (2022). Rhizosphere 16S-ITS Metabarcoding Profiles in Banana Crops Are Affected by Nematodes, Cultivation, and Local Climatic Variations. *Frontiers in Microbiology*, 13(June), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.855110>
- Desaeger, J., Wram, C., & Zasada, I. (2020). New reduced-risk agricultural nematicides-rationale and review. *Journal of Nematology*, 52(1), 1-16. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-091>
- Ganeshan, K., Vetrivelkalai, P., Bhagawati, B., Gupta, N., Devrajan, K., Raveendran, M., & Balachandar, D. (2021). Endophytic Fungi as Potential Bio-Control Agents against Root Knot Nematode, *Meloidogyne incognita* in Banana. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(29), 7-18. <https://doi.org/10.9734/cjast/2021/v40i2931536>
- Grabau, Z. J., & Liu, C. (2021). *Meloidogyne incognita* management by nematicides in tomato production. *Journal of Nematology*, 53. <https://doi.org/10.21307/JOFNEM-2021-055>
- Herrera-Sánchez, D. J., & Gavilánez-Buñay, T. C. (2023). Estrategias de agricultura regenerativa para mejorar la salud del suelo. *Revista Científica Ciencia y Método*, 1(2), 15–28. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/12>
- Inta, W., Traiperm, P., Ruchisansakun, S., Janssens, S. B., Viboonjun, U., & Swangpol, S. C. (2023). Evolution and Classification of Musaceae Based on Male Floral Morphology. *Plants*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/plants12081602>
- Jaramillo, J., Vintimilla, M., Andino, A., Decker, E., Soto, G., Tobar, M., Delgado, J., Salas, E., & Araya, M. (2023). Banana (*Musa* AAA cv Williams) Response to Biological and Chemical Nematicides and their Rotation. *International Journal*

- of *Current Microbiology and Applied Sciences*, 12(11).
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2023.1211.010>
- Jiménez, V. del C. C., Romero, Á. E. L., Romero, H. R. C., & Alava, A. R. C. (2021). Análisis de tendencia de la exportación de banano (*Musa AAA*) en el Ecuador, periodo 1995-2020. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 99-106.
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/475>
- Mandou, M. S., Souleymanou, A., & Chotangui, A. H. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation and Intercropping Combine to Control Nematodes in Bananas. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(14).
<https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i143029>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey, J. C., Urias, C., Lescot, T., Roux, N., Salazar, J., & Rodríguez, Y. (2022). Banana bunchy top virus: amenaza para las musáceas en América Latina y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1).
<https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49577>
- Monteiro, J. D. M. S., Santos, J. R. P., Cares, J. E., Marchão, R. L., Amorim, E. P., & Costa, D. D. C. (2020). Identification of plant parasitic nematodes in triploid and tetraploid bananas in Brazil. *Revista Caatinga*, 33(4), 865-877.
<https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n401rc>
- Morelia-Jiménez, J. A. Y., Montaña-Leyva, B., Blancas-Benitez, F. J., Romero-Islas, L. del C., Gutierrez-Martinez, P., Hernandez-Montiel, L. G., Bautista-Rosales, P. U., & González-Estrada, R. R. (2023). Coconut Mesocarp Extracts to Control *Fusarium musae*, the Causal Agent of Banana Fruit and Crown Rot. *AgriEngineering*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040147>
- Mostafa, R. G., El-Zawahry, A. M., Khalil, A. E. M., Elfarash, A. E., & Allam, A. D. A. (2021). Community Analysis of Nematodes Associated with Banana, Identification of root knot nematode and Evaluation the Susceptibility of Some Cultivars to Infection. *Research Square*, 1, 1-16.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-740928/v1>
- Murillo, A. G. Á., Bermeo, M. del R. R., & Bolaño, R. J. T. (2021). Estudio socioeconómico de los productores de banano orgánico, Cantón Milagro, Ecuador. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 33(3), 168-180.
<https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.869>
- Nath, B., Saha, P. R., Das, A. B., Jena, S., Sinha, S., & Sinha, R. K. (2021). Morpho-taxonomical and karyological study of Gopi banana: an indigenous palatable cultivated variety of *Musa* × *paradisica*. *Vegetos*, 34, 937-943.
<https://doi.org/10.1007/s42535-021-00267-1>
- Ney, L., Franklin, D., Mahmud, K., Cabrera, M., Hancock, D., Habteselassie, M., Newcomer, Q., Dahal, S., & Subedi, A. (2019). Sensitivity of nematode community analysis to agricultural management practices and inoculation with local effective microorganisms in the Southeastern United States. *Soil Systems*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/soilsystems3020041>
- Oka, Y. (2020). From old-generation to next-generation nematicides. *Agronomy*, 10(9), 1387. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091387>

- Rendon-Guerra, G. del P., Rodríguez-Angulo, D. E., Tenelema-Jimenez, I. E., & Sacon-Martines, E. E. (2025). Dimensiones de desempeño laboral en las agrícolas bananeras de la zona de Quevedo. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(2), 1–15. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v5/n2/185>
- Santos, J. R. P., Faleiro, F. G., Costa, D. da C., Amorim, E. P., E Silva, S. de O., & Cares, J. E. (2023). Banana horizontal and vertical resistance to the burrowing nematode depends on the level of aggressiveness or virulence of the nematode population. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, 1-12. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023070>
- Sikandar, A., Zhang, M. Y., Wang, Y. Y., Zhu, X. F., Liu, X. Y., Fan, H. Y., Xuan, Y. H., Chen, L. J., & Duan, Y. X. (2020). Review article: Meloidogyne incognita (root-knot nematode) a risk to agriculture. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1). https://doi.org/10.15666/aeer/1801_16791690
- Sikora, R. A., & Fernández, E. (2005). Nematode parasites of vegetables. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture: Second Edition*. <https://doi.org/10.1079/9780851997278.0319>
- Sikora, R. A., Helder, J., Molendijk, L. P. G., Desaegeer, J., Eves-Van Den Akker, S., & Mahlein, A. K. (2023). Integrated Nematode Management in a World in Transition: Constraints, Policy, Processes, and Technologies for the Future. *Annual Review of Phytopathology*, 61. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-113058>
- Tankam-Chedjou, I., Touzeau, S., Mailleret, L., Tewa, J. J., & Grogard, F. (2020). Modelling and control of a banana soilborne pest in a multi-seasonal framework. *Mathematical Biosciences*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2020.108324>
- Tiwari, S. (2025). Impact of nematicides on plant-parasitic nematodes: Challenges and environmental safety. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 19(2). <https://doi.org/10.4314/tjpp.v19i2.4>
- Torres Jaramillo, L. A., Centanaro Quiroz, P. H., Raffo Folleco, L. A., & Nava Luzardo, J. C. (2023). Factores Limitantes del Desarrollo Agroecológico en el Cultivo de Banano (Musa AAA), Provincia del Guayas, Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 46. <https://doi.org/10.22209/rt.v46a01>
- Viveros Folleco, Y. M., Guzmán Piedrahita, Ó. A., & Villegas Estrada, B. (2022). Efecto de Radopholus similis en el crecimiento de genotipos de musáceas de importancia económica. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 26(2). <https://doi.org/10.17151/bccm.2022.26.2.4>
- Wang, Q., Wang, X., Zhang, D., Fang, W., Li, Y., Cao, A., Wang, Q., & Yan, D. (2023). Transcriptome reveals the toxicity difference of dimethyl disulfide by contact and fumigation on Meloidogyne incognita through calcium channel-mediated oxidative phosphorylation. *Journal of Hazardous Materials*, 460, 132268. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132268>
- Wram, C. L., & Zasada, I. (2020). Differential Response of Meloidogyne , Pratylenchus , Globodera , and Xiphinema Species to the Nematicide Fluazaindoline.

Phytopathology®, 110(12), 2003-2009. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-20-0189-R>

- Yogaswara, D. A., Kasmara, H., & Hermawan, W. (2021). Using nematode community to evaluate banana soil food web in Mekargalih, Cianjur, West Java. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 44(2), 465–483. <https://doi.org/10.47836/PJTAS.44.2.12>
- Yu, Q., He, P., Qi, Y., He, P., Ahmed, A., Zhang, X., Zhang, H., Wu, Y., Munir, S., & He, Y. (2024). Insight into Antifungal Metabolites from *Bacillus stercoris* 92p Against Banana Cordana Leaf Spot Caused by *Neocordana musae*. *Biomolecules*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/biom14121495>
- Zaid, M. K. E. (2024). Efficiency of certain nematicides against root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* on tomato plants under laboratory and greenhouse conditions. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.21608/ajar.2024.220291.1185>
- Zambrano, C. E., García-Gallirgos, V. J., Muñoz-Navas, E. K., & Morales-Haz, M. F. (2026). El comercio justo y la calidad de vida laboral en la producción bananera ecuatoriana. *Revista Científica Zambos*, 5(2), 39–52. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/176>