



Nematicidas en la agricultura: efectos sobre nematodos benéficos y la salud del suelo

Nidia Soledad Enríquez-Fernández¹
Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo¹
Nahum Marban-Mendoza²

¹División en Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, TecNM: Tlatlauquitepec, Carretera Federal Amozoc-Nautla Km 122+600, Almoloni, Tlatlauquitepec 73907, Puebla, Mexico.

² Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230.

Autor para correspondencia: anselmo.cabrera@tlatlauquitepec.tecnm.mx

El uso de nematicidas es una estrategia común para el manejo de nematodos fitoparásitos en sistemas agrícolas modernos. Sin embargo, su aplicación excesiva genera efectos adversos significativos sobre la biodiversidad del suelo, particularmente sobre los nematodos benéficos que desempeñan funciones clave en los ecosistemas edáficos. Este artículo analiza el impacto de los nematicidas sobre la estructura, diversidad y funcionalidad de las comunidades de nematodos, así como sus implicaciones en la sostenibilidad agrícola. Se discuten evidencias recientes que demuestran la reducción de la complejidad de las redes tróficas del suelo y la alteración de procesos como el reciclaje de nutrientes y el control biológico. Finalmente, se plantean alternativas de manejo sostenible orientadas a la conservación de la biota edáfica.





Introducción

Los nematodos del suelo constituyen uno de los grupos más abundantes y funcionalmente diversos dentro de la biota edáfica, desempeñando roles esenciales en procesos como la descomposición, el reciclaje de nutrientes y la regulación de poblaciones microbianas.

Los nematodos benéficos participan de forma activa en las redes tróficas del suelo, donde ocupan diversos nichos funcionales como bacterívoros, fungívoros, depredadores y entomopatógenos. Los nematodos bacterívoros estimulan la mineralización de nutrientes al alimentarse de bacterias, al liberar formas disponibles de nitrógeno y otros elementos esenciales, lo que favorece la nutrición vegetal y la productividad primaria. A su vez, los nematodos fungívoros regulan las poblaciones de hongos, favorecen el equilibrio entre microorganismos benéficos y patógenos, y repercuten directamente en la sanidad del sistema radical. Esta interacción dinámica evidencia su papel como reguladores biológicos dentro del microbioma del suelo.

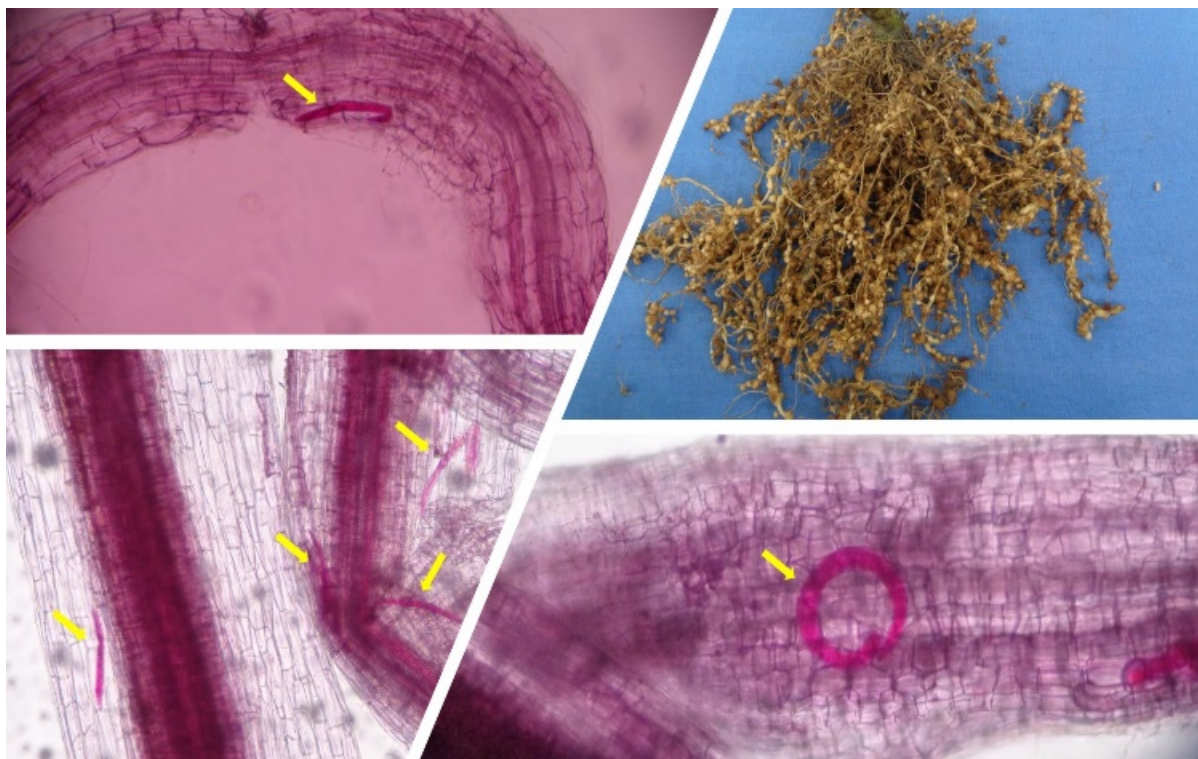


Figura 1. Interacción planta-nematodo: A-C) Fitonematodo invadiendo el tejido radical de plantas de jitomate (flechas amarillas). D) Daño radical (agallamiento) en plantas de jitomate.



Los nematodos desempeñan un papel indirecto en la descomposición de la materia orgánica y en la dinámica del carbono del suelo, al interactuar con bacterias y hongos descomponedores, acelerando los ciclos biogeoquímicos y mejorando la estructura del suelo. Estas interacciones favorecen la formación de agregados estables y la retención de agua, elementos clave para la funcionalidad del ecosistema edáfico. Además, su participación en el microbioma del suelo contribuye a la supresión de enfermedades y al mantenimiento de comunidades microbianas equilibradas, lo cual es fundamental para la salud vegetal.

En los sistemas agrícolas, los nematodos fitoparásitos representan una amenaza significativa para la productividad, al generar pérdidas económicas globales considerables (Figura 1). Ante esta problemática, el uso de nematicidas químicos se ha consolidado como una práctica común por su eficacia inmediata y facilidad de aplicación; no obstante, esta estrategia ha sido cuestionada por sus efectos colaterales sobre organismos no objetivo y la salud del suelo.

Los nematodos benéficos y su papel en el equilibrio del suelo

Los nematodos benéficos son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas, ya que participan activamente en la mineralización de nutrientes, facilitando la disponibilidad de nitrógeno y otros elementos esenciales para las plantas. Además, contribuyen a la regulación natural de poblaciones de organismos patógenos (Cuadro 1).

En términos de salud del suelo, los nematodos son reconocidos como bioindicadores sensibles de las condiciones edáficas. Cambios en la composición de sus comunidades reflejan alteraciones en la calidad biológica, la disponibilidad de nutrientes y el grado de perturbación del sistema, lo que permite evaluar procesos como la degradación, restauración o sostenibilidad del suelo. La presencia de nematodos omnívoros y depredadores, por ejemplo, suele asociarse con suelos estructuralmente complejos y ecológicamente maduros, caracterizados por una mayor estabilidad funcional.

La salud del suelo depende de su equilibrio biológico, el cual puede verse gravemente alterado por el uso de nematicidas.



Cuadro 1. Papel de los nematodos benéficos como agentes de control biológico y su contribución en la salud del suelo.

Grupo trófico de nematodos	Géneros importantes	Función ecológica	Contribución a la salud del suelo	Papel en control biológico
Bacterívoros	<i>Rhabditis</i> , <i>Cephalobus</i>	Se alimentan de bacterias del suelo	Estimulan el reciclaje de nutrientes (N, P), incrementan la mineralización y disponibilidad para plantas	Indirecto: regulan poblaciones bacterianas y favorecen microbiomas benéficos
Fungívoros	<i>Aphelenchus</i> , <i>Aphelenchoides</i>	Consumen hongos saprófitos y fitopatógenos	Participan en la descomposición de materia orgánica y regulación de comunidades fúngicas	Indirecto: reducen hongos patógenos y equilibran la microbiota
Depredadores	<i>Mononchus</i> , <i>Mylonchulus</i>	Se alimentan de otros nematodos y microfauna	Mantienen el equilibrio trófico del suelo y estabilidad ecológica	Directo: controlan nematodos fitoparásitos
Omnívoros	<i>Dorylaimus</i>	Dieta variada (hongos, bacterias, otros nematodos)	Indicadores de suelos estables y poco perturbados	Indirecto: regulan múltiples niveles tróficos
Entomopatógenos	<i>Steinernema</i> , <i>Heterorhabditis</i>	Parásitos de insectos del suelo	Mejoran la sanidad del agroecosistema al reducir plagas	Directo: control biológico de insectos plaga (larvas de coleópteros, dípteros, etc.)



Otro aspecto relevante es su contribución al control biológico de plagas. Los nematodos entomopatógenos, pertenecientes principalmente a los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis*, actúan como agentes naturales contra insectos del suelo, estableciendo relaciones simbióticas con bacterias que provocan la muerte del hospedero. Diversos estudios han demostrado que prácticas agrícolas sostenibles, como la viticultura ecológica o el uso de cubiertas vegetales, incrementan la abundancia y actividad de estos nematodos, fortaleciendo los mecanismos de regulación biológica y reduciendo la dependencia de insecticidas químicos. Este enfoque contribuye a sistemas agrícolas más resilientes y ambientalmente sostenibles.

La diversidad funcional de los nematodos está estrechamente relacionada con el mantenimiento de servicios ecosistémicos, incluyendo la transformación del carbono, el ciclo de nutrientes y la estructuración de redes tróficas complejas.

Uso excesivo de nematicidas: efectos sobre la biodiversidad y la salud del suelo

Diversos estudios demuestran que los nematicidas no solo afectan a los nematodos fitoparásitos, sino también a las comunidades de nematodos benéficos. La aplicación intensiva de estos productos reduce significativamente la abundancia total, la diversidad taxonómica y la complejidad estructural de las comunidades edáficas.

Los nematicidas actúan principalmente sobre procesos fisiológicos esenciales, como la respiración y la transmisión nerviosa, lo que provoca efectos letales o subletales en organismos no objetivo. Como consecuencia, se produce una simplificación de la red trófica del suelo, favoreciendo especies oportunistas (hongos, omicetos, bacterias, entre otros) y reduciendo organismos de niveles tróficos superiores como depredadores y omnívoros. Además, el uso continuo de estos compuestos genera perturbaciones acumulativas que alteran la estructura funcional del ecosistema, comprometiendo su capacidad de recuperación ante disturbios.

La disminución de nematodos benéficos tiene efectos en cascada sobre la biodiversidad del suelo y los procesos ecológicos. La reducción de bacterívoros y fungívoros limita la descomposición de materia orgánica, afectando el ciclo de nutrientes (N y P, principalmente) y la fertilidad del suelo. Asimismo, la pérdida de depredadores incrementa el riesgo de proliferación de patógenos, lo que puede generar una mayor dependencia de insumos químicos en un ciclo de retroalimentación negativa. Este fenómeno contribuye a la degradación progresiva del suelo y a la disminución de su resiliencia.





A nivel global, la intensificación agrícola y el uso de pesticidas se han identificado como factores clave en la pérdida de biodiversidad edáfica, afectando procesos biogeoquímicos fundamentales y comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas productivos.

El uso indiscriminado de nematicidas afecta tanto a nematodos fitopatógenos como a organismos benéficos, comprometiendo la salud biológica del suelo.

Implicaciones para la sostenibilidad agrícola

El uso indiscriminado de nematicidas representa una amenaza para la sostenibilidad agrícola, ya que compromete la funcionalidad del suelo a largo plazo. La pérdida de biodiversidad reduce la capacidad del suelo para proveer servicios ecosistémicos esenciales, como la fertilidad, la regulación de plagas y la retención de agua. Además, la simplificación de las comunidades biológicas puede incrementar la vulnerabilidad de los cultivos a estrés biótico y abiótico, lo que contradice los principios de la agricultura sostenible y regenerativa. En este contexto, se hace necesario replantear las estrategias de manejo de nematodos, promoviendo enfoques integrados que reduzcan la dependencia de insumos químicos.

Alternativas sostenibles al uso de nematicidas

El uso intensivo de nematicidas químicos ha sido la principal estrategia para el control de nematodos fitoparásitos. Sin embargo, su eficacia variable, los riesgos ambientales y la generación de resistencia han impulsado la búsqueda de alternativas técnicamente viables y sostenibles. En este contexto, la literatura científica en nematología coincide en que el manejo de nematodos debe abordarse mediante estrategias integradas que prioricen la prevención, la salud del suelo y el uso de agentes biológicos, en lugar de depender exclusivamente de insumos químicos.

Una de las alternativas más estudiadas es el control biológico, el cual emplea microorganismos antagonistas de nematodos. Diversas investigaciones han documentado la eficacia de bacterias como *Pasteuria penetrans* y *Burkholderia cepacia*, así como hongos nematófagos como *Purpureocillium lilacinum*, *Verticillium chlamydosporium* y *Trichoderma harzianum*. Estos organismos actúan parasitando huevos, produciendo metabolitos tóxicos o compitiendo en la rizosfera, lo que reduce las poblaciones de nematodos de manera sostenible y favoreciendo la biodiversidad microbiana del suelo.



Otra estrategia relevante es el uso de extractos vegetales y compuestos botánicos con actividad nematocida, los cuales representan una alternativa de bajo impacto ambiental. Estudios destacan especies como *Tagetes erecta* (cempasúchil), cuyos compuestos secundarios (tiopenos) presentan efectos tóxicos sobre nematodos. Además, los extractos vegetales son considerados económicamente viables y compatibles con sistemas de agricultura orgánica, aunque su adopción a gran escala aún requiere mayor estandarización y validación en campo.

Proteger a los nematodos benéficos es preservar los procesos invisibles que garantizan la fertilidad y resiliencia de los agroecosistemas.

Las prácticas culturales y físicas constituyen herramientas fundamentales dentro de un enfoque sostenible. Entre ellas, destacan

la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura, la incorporación de materia orgánica y la solarización del suelo. Estas prácticas contribuyen a disminuir la densidad de nematodos y a mejorar la estructura y actividad biológica del suelo. En particular, la solarización ha mostrado efectividad en sistemas protegidos al reducir poblaciones de *Meloidogyne* spp., debido al incremento de la temperatura del suelo. Asimismo, la biofumigación y el uso de enmiendas orgánicas han sido ampliamente estudiados como alternativas sostenibles. La descomposición de residuos orgánicos, especialmente de crucíferas, libera compuestos volátiles con efecto nematocida que reducen las poblaciones de estos patógenos. Paralelamente, la adición de materia orgánica favorece el desarrollo de microorganismos antagonistas, generando un efecto supresivo natural del suelo frente a nematodos fitoparásitos.



Finalmente, el desarrollo y uso de variedades resistentes o tolerantes constituye una estrategia clave dentro del manejo integral de nematodos. Estas variedades limitan la reproducción de los nematodos o reducen el daño en las plantas, contribuyendo a mantener las poblaciones por debajo del umbral económico sin necesidad de aplicaciones químicas intensivas.

Es claro que existen diversas alternativas sostenibles al uso de nematocidas químicos, sin embargo, el enfoque más efectivo radica en la integración de métodos biológicos, culturales y físicos dentro de sistemas de manejo agroecológico, orientados a fortalecer la salud del suelo y la resiliencia del agroecosistema, más que a la erradicación directa del nematodo.





Conclusiones

El uso excesivo de nematicidas tiene efectos negativos significativos sobre la fauna de nematodos benéficos, reduciendo la biodiversidad y alterando la funcionalidad de los ecosistemas del suelo. Estas alteraciones comprometen la sostenibilidad agrícola al afectar procesos clave como el reciclaje de nutrientes y el control biológico. La evidencia científica sugiere la necesidad urgente de adoptar estrategias de manejo más sostenibles que prioricen la conservación de la biodiversidad edáfica. La transición hacia sistemas agrícolas basados en principios agroecológicos permitirá reducir la dependencia de insumos químicos y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas.

Reducir el uso de nematicidas requiere reconocer el valor ecológico de los nematodos en el equilibrio del suelo.

Literatura recomendada

Manzanilla-López, R.H., Hunt, D., Marbán-Mendoza, N., and Infante-Gil, S. 2025. Practical Plant Nematology 2nd Edition. CAB Internacional. 632 pp.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epub/10.1079/9781836990413.0000>

Piedra-Naranjo, R. (2013). Manejo biológico de nematodos fitoparásitos con hongos y bacterias. Revista Tecnología en Marcha, 21(1), pág. 123-132.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699878338012>

Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., and Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry, 161, 108383.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108383>



Reseña de los autores

Nidia Soledad Enríquez-Fernández. Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable- Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec.

Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo. Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia con Maestría en ciencias en Protección Vegetal y Doctorado en ciencias en fitopatología. SNI nivel I-SECIHTI desde 2017 hasta la fecha. Con reconocimiento perfil deseable (PRODEP) (2023-2026).

Nahum Marban Mendoza. Biólogo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Maestría en Ciencias Zoología, Facultad de Ciencias de la UNAM. Doctor en Filosofía, University of California, Davis. Posdoctorado, University of Massachusetts, Amherst, EE. UU. SNI nivel II-SECIHTI. Línea de investigación: Manejo Integral Fitosanitario.

