

Artículo de revisión

## Estrategias biorracionales para el manejo de *Meloidogyne enterolobii* y *Rotylenchulus reniformis* en tomate, chile y pepino en Sinaloa, México

Carrillo-Fasio José Armando<sup>1</sup>✉, Báez-Sañudo Manuel Alonzo<sup>1</sup>, Valdez-Morales María Trinidad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsele Culiacán, Laboratorio de Nematología, Carretera El Dorado Km 5.5, Campo el Diez, 80110, Culiacán Rosales, Sin.

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán, El Dorado Km 17.5, 80000, Culiacán, Sin.

✉ Correspondencia: [acarrillo@ciad.mx](mailto:acarrillo@ciad.mx)

Área Temática:  
Ciencias de las Plantas

Recibido: 10 mayo 2025  
Aceptado: 12 enero 2026  
Publicado: 21 enero 2026

**Cita:** Carrillo-Fasio JA, Báez-Sañudo MA, y Valdez-Morales MT. 2026. Estrategias biorracionales para el manejo de *Meloidogyne enterolobii* y *Rotylenchulus reniformis* en tomate, chile y pepino en Sinaloa, México. *Bioc Scientia* 2(1). <https://doi.org/10.63622/RBS.2516>



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Resumen:** En este documento se aborda el impacto que representan en la actualidad las poblaciones del nematodo agallador (*Meloidogyne enterolobii*) y lesionador (*Rotylenchulus reniformis*) en los cultivos de tomate, pimiento y pepino en las zonas productoras de hortalizas de Sinaloa. La magnitud de los daños directos e indirectos que estos ocasionan en la raíz de las plantas. Así como, comunicar información relevante sobre el manejo de estos fitoparásitos. Desde el objetivo de erradicar o minimizar las poblaciones en el suelo con el uso de herramientas bio-rracionales, con un enfoque que sea de bajo impacto al medio ambiente para favorecer la red trófica benéfica del suelo, introduciendo agentes de control biológico, como son los extractos botánicos a base de distintos metabolitos secundarios desde productos a base de canela, mostaza, epazote, neem, yuca y pápalo entre otros. Las limitantes actuales en el uso de los nematocidas convencionales, como los fumigantes y no fumigantes químicos favorecen la adopción de estrategias no químicas, como lo es el control biológico, con más énfasis de reducir las poblaciones de nematodos y mantener e incrementar la diversidad microbiana benéfica en el suelo, aunado a la incorporación de compostas, té y lixiviado de composta, mejorando así la salud del suelo y de las plantas. Dichos enfoques se describirán y discutirán, con especial énfasis en un manejo integrado.

**Palabras clave:** Producción de hortalizas, bio-rracional, nematodos agalladores, nematodos lesionadores.

**Abstract:** In this document, we will address the current impact of root-knot and/or lesion nematode populations on tomato, bell pepper, and cucumber crops in the vegetable-producing areas of Sinaloa. We will address the magnitude of the direct and indirect damage they cause to the roots of the plants mentioned. We will also share our experiences in managing these plant parasites to eradicate or minimize populations in the soil through the use of biorational tools with a much more environmentally friendly approach, aimed at establishing healthier soil, promoting or improving the beneficial soil food web, and introducing biological control agents such as botanical extracts based on various secondary metabolites from products as cinnamon, mustard, epazote, neem, cassava, papalo, among others. Current limitations in the use of conventional nematicides, such as chemical fumigants and non-fumigants, favor the adoption of non-chemical strategies, such as biological control, with greater emphasis on reducing nematode populations and maintaining and increasing beneficial microbial diversity in the soil, in addition to the incorporation of composts, tea and compost leachate, thus improving soil and plant health. These approaches will be described and discussed, with special emphasis on integrated management.

**Keywords:** Vegetable production, bio-rational, root-knot nematodes, plant lesion nematodes.

## INTRODUCCIÓN

Sinaloa es uno de los principales estados productores de hortalizas en México, destacando los cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum* spp.) y pepino (*Cucumis sativus*) especialmente en superficie cultivada y valor de producción. En 2023, se sembraron 3,380 ha de pepino, 11,843 ha de tomate y 16,888 ha de chile, generando un valor de producción total de \$18,147 millones de pesos (SIAP, 2024).

En el caso del tomate, los tipos saladette o roma representaron el 56% del volumen total producido, seguidos por el tomate bola con el 14%, y el resto corresponde a especialidades de tomate como uva o grape, Cherry. En cuanto al pepino, destacan en orden descendente de volumen los tipos slicer o americano, europeo, mini o persa y pickle. En el caso de los chiles, predominan los del tipo bell o pimiento dulce y los chiles picosos, principalmente el jalapeño (SIAP, 2024).

En los últimos ciclos agrícolas, la rentabilidad de estos cultivos se ha visto seriamente amenazada por diversos factores; por ejemplo, los problemas fitosanitarios, los cuales reducen los rendimientos y, por ende, afectan la economía de los productores. Dentro de estas afectaciones, destacan los daños ocasionados por nematodos fitoparásitos. Estos organismos son animales microscópicos y transparentes, y se caracterizan por la presencia de un estilete: estructura en forma de lanza ubicada en la región anterior del cuerpo, con la que perforan las células vegetales para succionar su contenido.

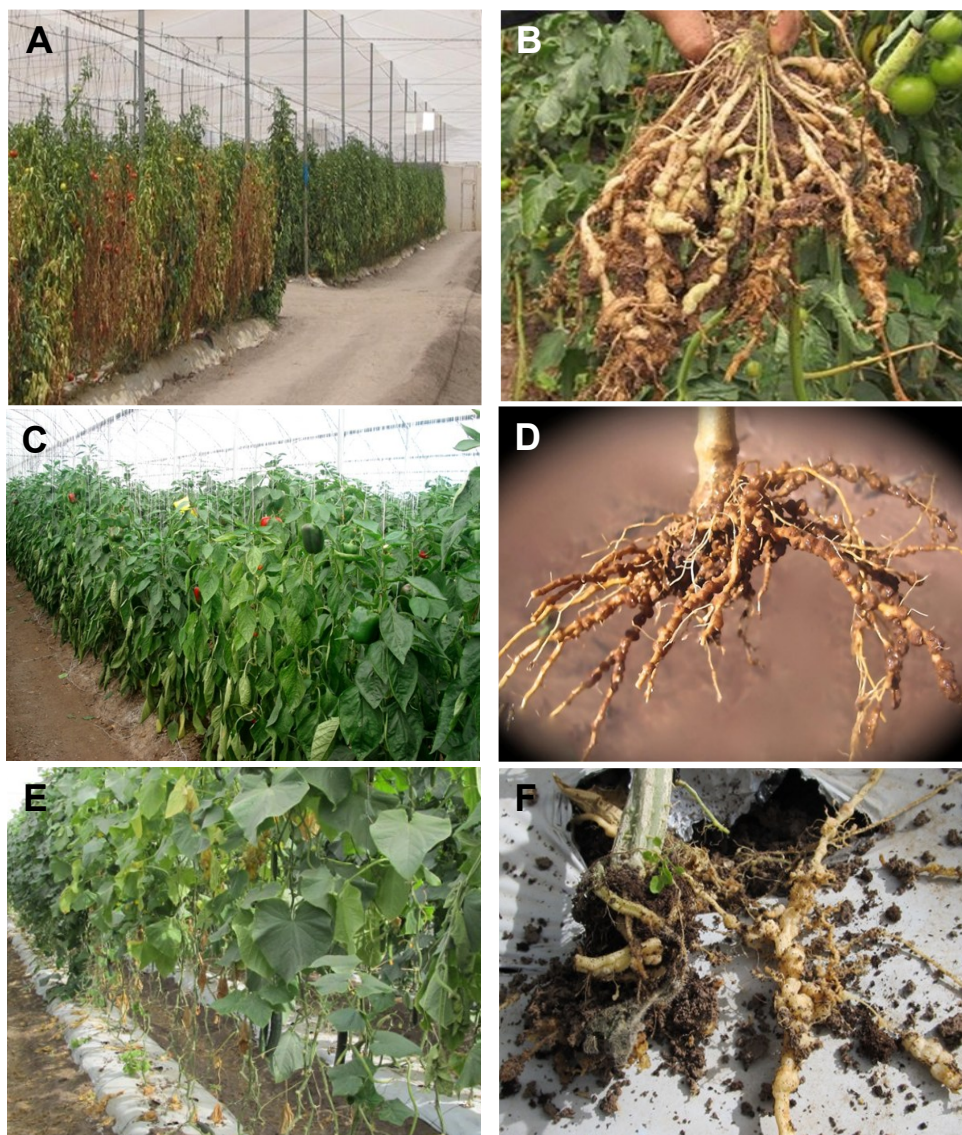
La distribución de los nematodos en el suelo es irregular, formando agregados o focos, y su principal mecanismo de dispersión es pasivo, a través del movimiento del agua, tierra, maquinaria, herramientas o material vegetal infectado. Sin embargo, también pueden desplazarse activamente mediante su propio movimiento (Chen et al., 2024).

Los principales factores que favorecen el desarrollo de la enfermedad incluyen: los niveles poblacionales del nematodo al inicio del cultivo, la susceptibilidad o afinidad del patógeno por determinadas plantas, y la temperatura del suelo. En general, los nematodos requieren acumular aproximadamente 340 grados-día, considerando una temperatura base de 13 °C, para completar un ciclo de vida en la planta hospedante. Asimismo, permanecen inactivos cuando la temperatura del suelo es inferior a los 15 °C (Giné et al., 2021). Dada la importancia de estos fitoparásitos en la horticultura, en este documento se proporcionan alternativas de manejo y control que sean de bajo impacto al medio ambiente.

### Nematodo agallador de las raíces (*Meloidogyne enterolobii*)

Actualmente, *Meloidogyne enterolobii* representa el principal problema nematológico en los cultivos hortícolas de Sinaloa, afectando especialmente al tomate, pimiento, pepino y berenjena. Se trata de un nematodo endoparásito sedentario de naturaleza polífaga, presente en la mayoría de las zonas productoras de estas hortalizas (Salazar-Mesta et al., 2024b).

La patogenicidad de este nematodo radica en su rápida capacidad de reproducción, alta incidencia y habilidad para inducir agallas en las raíces de las plantas hospedantes, lo cual interfiere drásticamente en el flujo de agua y nutrientes (Figura 1).



**Figure 1.** Daños y síntomas ocasionados por el nematodo agallador *Meloidogyne enterolobii* en plantas hortícolas de Sinaloa, México de tomate, pimienta y pepino en Sinaloa, México. A) Síntomas de marchitez en plantas de tomate. B) Agallas inducidas por *M. enterolobii* en raíz de tomate. C) Síntomas de amarillamiento y achaparramiento en follaje de plantas de pimienta. D) Agallas inducidas por *M. enterolobii* en raíz de pimienta. E) Síntomas de amarillamiento en plantas de pepino. F) Agallas inducidas por *M. enterolobii* en raíz de pepino.

Esta disrupción fisiológica de las plantas se traduce en síntomas visibles como clorosis, flacidez y, en casos severos, muerte de la planta (Agrios, 2005). Además, se observan alteraciones en el sistema radical, tales como necrosis, reducción del desarrollo de raíces laterales y escasa presencia de pelos absorbentes (Sikandar et al., 2023). todos estos síntomas generan que los rendimientos disminuyan hasta 68 % en cultivos como tomate y pimienta (Salazar-Mesta, 2023b). Además, los daños

también deterioran la calidad de los frutos, lo que impacta negativamente en el precio que recibe el productor (Sasser y Taylor, 1983).

El enanismo y el amarillamiento foliar también se presentan en plantas infectadas por *M. enterolobii*; aunque no son síntomas exclusivos de esta especie. Durante las horas de mayor radiación y temperatura, las plantas afectadas presentan marchitez temporal debido a la pérdida de funcionalidad del sistema radical, lo que limita la absorción de agua (Carrillo-Fasio et al., 2000).

Los principales propágulos infectivos de *M. enterolobii* son los juveniles de segundo estadio (J2). Durante la alimentación, estos nematodos inducen cambios en los tejidos de la raíz, como hipertrofia (aumento en el tamaño celular) e hiperplasia (incremento en la cantidad de células), procesos que en conjunto conducen a la formación de agallas características en el sistema radical de la planta (Salazar-Mesta et al., 2024b).

### Nematodo reniforme o arriñonado (*Rotylenchulus reniformis*)

*Rotylenchulus reniformis* llamado comúnmente como el nematodo reniforme es considerado a nivel mundial dentro de los diez nematodos fitoparásitos más relevantes, tanto por su impacto económico como por su importancia científica (Jones et al., 2013). Es un semiendoparásito sedentario, clasificado dentro del grupo de los nematodos lesionador de raíz, que representa una amenaza para la producción agrícola en Sinaloa donde se ha reportado infectando cultivos hortícolas como tomate, pepino y berenjena (Valdez-Morales et al., 2024; 2025b).

Las especies del género *Rotylenchulus* se consideran patógenos particularmente complejos debido a su adaptación a condiciones edáficas adversas, incluyendo sequías prolongadas. Asimismo, su ciclo de vida puede acortarse significativamente en presencia de plantas hospedantes altamente susceptibles, lo que favorece una rápida multiplicación poblacional (Palomares et al., 2020; Silva et al., 2021). A diferencia de otros nematodos fitoparásitos, esta especie muestra una amplia adaptación a diversos tipos de suelo, incluidos aquellos con altos contenidos de limo y arcilla. Además, posee la capacidad de colonizar capas profundas del suelo y sobrevivir durante el invierno mediante un estado anhidro biótico (Robinson, 2007). Estas características, junto con su capacidad de persistencia en el suelo, dificultan su erradicación en sistemas agrícolas infestados (Nguyen et al., 2020).

### Manejo de nematodos

La protección de los cultivos frente a los nematodos empieza con medidas preventivas que impiden su introducción en zonas libres. Se debe usar material vegetal y sustratos libres de nematodos y sembrar en suelos sin estos patógenos o baja densidad poblacional. Cuando el nematodo ya está presente, se busca reducir la población antes de la siembra, porque el nivel inicial define la pérdida de rendimiento. Para ello pueden aplicarse, solas o combinadas, las siguientes prácticas: barbecho, destrucción de raíces del cultivo previo, solarización, biofumigación, nematicidas y cultivos resistentes o tolerantes (Verdejo-Lucas, 2009).



Después del trasplante sólo quedan medidas paliativas, cuyo fin es disminuir la tasa de multiplicación del nematodo.

Tradicionalmente, el control y manejo de estos fitonematodos se ha realizado mediante el uso de productos con efecto biocida (fumigantes del suelo y nematocidas). Sin embargo, el nuevo entorno regulatorio tanto a nivel mundial como nacional reduce cada vez más la disponibilidad de los productos fitosanitarios para la protección de las cosechas, factor especialmente latente cuando nos enfrentamos a los daños ocasionados por los nematodos. El uso de una mayor cantidad de agroquímicos (concentración, dosis o grupo químico) ha provocado efectos negativos para el medio ambiente por contaminación de suelos y fuentes hídricas, para la salud humana por exposición directa y prolongada a los agroquímicos y para la biodiversidad de microorganismos e insectos benéficos para el cultivo, que son susceptibles a las moléculas que conforman el producto biocida y cuyas poblaciones se reducen como efecto secundario tras la aplicación del químico (Ab Rahman, 2018).

Como nematocidas químicos comerciales que son letales para los estadios vermiformes de los nematodos que se encuentran en el suelo se incluyen: Cadusafos, Fluopyram, Abamectina, Fluelsulfone, Fluazaindolisine y Oxamil. Con dichos productos se consigue reducir los niveles iniciales de la población del nematodo, y, por tanto, el número de individuos que invaden las raíces. Esto se traduce en una reducción del daño causado a la planta (ej. menor índice de agallamiento en el caso de *Meloidogyne* o menor índice de daño o lesión por *Rotylenchulus*), lo que conlleva a un incremento en la producción (5–25%) y mayor longevidad del cultivo en comparación con un cultivo sin tratamiento previo. Así pues, en un futuro inmediato será imprescindible, una vez más, el uso de todas las medidas de control disponibles y su integración para una correcta protección de los cultivos frente a esta problemática.

Por lo anterior, es necesario reducir el impacto ambiental derivado de la producción de alimentos, planteando un reto para la industria agrícola que debe mejorar la eficiencia de la utilización de los recursos y disminuir la presión ejercida sobre los recursos no renovables conduciendo a una agricultura moderna o sostenible, entendida como aquella que maximiza la productividad a través del uso de alternativas biorracionales que aseguren rentabilidad para el agricultor (Pedraza-Zapata et al., 2017).

En Sinaloa actualmente se utilizan alternativas biorracionales para el manejo de nematodos fitoparásitos.

### Uso de híbridos y/o portainjertos con tolerancia o resistencia al daño de *Meloidogyne spp* y *Rotylenchulus spp*.

Es de suma importancia determinar que especie de *Meloidogyne* se encuentra presente en el predio o lote agrícola para validar el comportamiento de los materiales o variedades a plantar, previa al uso de manera extensiva comercial. Para esto se requiere validar bajo condiciones de invernadero el comportamiento de estos materiales (híbrido o portainjerto) contra poblaciones de estos nematodos y con ello

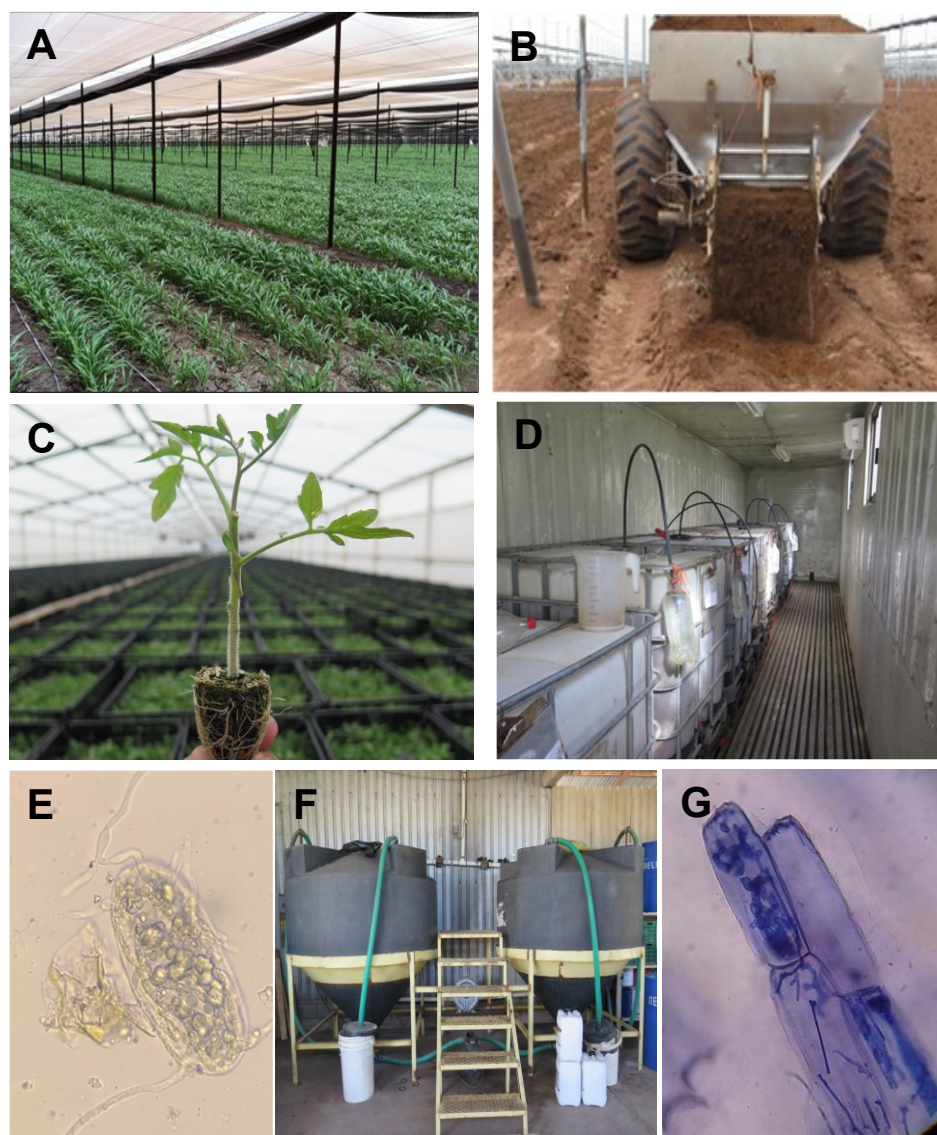
seleccionar aquellos que presentan tolerancia o resistencia al daño, resultado que permite sugerir al productor otra alternativa de manejo para estos nematodos (Expósito et al., 2020).

La utilización de cultivares resistentes para el manejo de *R. reniformis* es una opción que se ha estudiado desde hace varios años, por lo que la identificación de marcadores de resistencia a nematodos es esencial para el desarrollo de cultivares comerciales (Soto-Ramos et al., 2023). Algunos estudios demostraron que, en el cultivo de algodón, la combinación de nematicidas y cultivares resistentes puede potencialmente extender las temporadas en las que se podría producir un cultivar resistente sin necesidad de una rotación de cultivos para manejar nematodos fitoparásitos (Sikora et al., 2021).

Se ha demostrado que diversos cultivos presentan resistencia a algunas especies de *Meloidogyne*. En el Chile se han detectado diversas fuentes de resistencia genética a las principales especies de *Meloidogyne*, dentro de las cuales destaca el Chile Criollo de Morelos CM334, con resistencia a *M. incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria*, conferida por el gen Me7 (Changkwian et al., 2019; Pegard et al., 2005). El gen Me7 induce una respuesta de hipersensibilidad (RH) en CM334 que se manifiesta con muerte celular en el tejido de la corteza (Lee et al., 2021; Padilla et al., 2021). La RH que presentan los cultivos resistentes a la infección por nematodos agalladores bloquea el desarrollo de los juveniles, y, por lo tanto, el establecimiento de los sitios de alimentación (células gigantes). Por otra parte, los juveniles secretan efectores que producen en las glándulas esofágicas a través de su estilete, para suprimir la defensa del hospedante e inducir la formación de células gigantes (Rutter et al., 2022). En Sinaloa se han evaluado algunos genotipos de Chile con resistencia a *M. enterolobii*. En un estudio realizado por Salazar-Mesta et al. 2024, se comprobó que los genotipos UTC66, UTC67 y UTC90 mostraron un nivel de resistencia más alto con un porcentaje de daño inferior al 50% en comparación con 'Revelation' (susceptible). El genotipo UTC90 mostró el factor e índice reproductivo más bajos, por lo que se consideró un genotipo altamente resistente a una dosis de inóculo de 4500 huevos de *M. enterolobii*.

### Aplicación de enmiendas orgánicas (compostas)

La composta es el producto obtenido de la descomposición de la materia orgánica (estiércol y paja de maíz, sorgo y zacate sudan) bajo condiciones controladas de temperatura y humedad en presencia de oxígeno. Tras este proceso se obtiene el denominado compost, que puede usarse como abono o enmienda orgánica debido a su alto contenido de minerales. El compost (Figura 2) contribuye en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos.



**Figure 2.** Estrategias biorracionales para el control de nematodos en hortalizas. A) Cultivo de sorgo de cobertura. B) Aplicación de composta. C) Uso de portainjertos. D) Elaboración de extractos vegetales. E) Huevo de *Meloidogyne* sp parasitado por *Trichoderma asperellum*. F) Elaboración de Té de composta. G) Endomicorriza en raíz de tomate.

También, con el compost se incorporan microorganismos benéficos, se reduce la erosión del suelo, aumenta la retención de agua y de nutrientes, se favorece la respiración del sistema radical e incremento de su biomasa y se mejora la nutrición del cultivo. Esta estrategia de manejo de fitopatógenos depende en gran medida de las interacciones que ocurren entre la planta, el patógeno, los microorganismos fitobeneficos de la composta y el ambiente en el cual se desarrolla tal interacción (McSorley, 2011).

La respuesta de las enmiendas en la reducción poblacional de nematodos, puede deberse a la gran diversidad de sustancias químicas que produce y la acción antimicrobiana que se han reportado (Hu et al., 2018; Ouyang et al., 2022). Al respecto, Ohri y Pannu, (2010), señalan que las compostas inducen la producción de meta-

bolitos (fenoles y polifenoles), que dañan la membrana plasmática de los nematodos. Además, Ayvar et al. (2018), mencionaron que los metabolitos secundarios de las enmiendas como sesquiterpenos, flavonoides, alcaloides y saponinas inhiben la eclosión de huevecillos, con disminución de poblaciones de nematodos. Gandarias-beitia et al. (2021), comprobaron el efecto nematocida de compostas orgánicas contra *M. incognita* en lechuga, donde observaron que los compuestos liberados durante la degradación de estos subproductos y las temperaturas alcanzadas durante la biodesinfestación (<42 °C) fueron la clave para desarrollar suelos supresores.

### Abonos verdes (sorgo)

Los cultivos de cobertura se pueden integrar junto o al final con el cultivo objetivo o se pueden establecer para cubrir la tierra a fin de proteger al suelo de los efectos erosivos del viento, la lluvia y las altas temperaturas fuera del ciclo productivo de las hortalizas. Para el manejo de nematodos fitoparásitos, es común la utilización de sorgo (*Sorghum bicolor*) (Figura 2) como cultivo de cobertura en Sinaloa, aunque no existen datos tangibles por lo cual es importante realizar un estudio detallado. El sorgo se siembra una vez eliminada la soca o residuo del cultivo hortícola anterior, dejándose desarrollar hasta antes de la etapa de espiga. Posteriormente se corta e incorpora al suelo y con esto se incrementa el contenido de materia orgánica lo que induce a una interacción con los microorganismos del suelo, generándose con ello la producción de ácido cianhídrico (Durrin), el cual es un nematocida natural altamente efectivo (Chen et al., 2024).

### Aplicación de té de composta o lixiviado de lombriz

El té de composta es una solución biológica resultante de la fermentación aeróbica de composta, melaza, harina de pescado, harina de hueso, algas marinas, ácidos húmicos y fúlvicos y agua no clorada. Se caracteriza por contener alta carga de microorganismos benéficos y nutrientes que estimulan o fortalecen el sistema inmunológico de especies vegetales para hacer frente a enfermedades radicales, favoreciendo el desarrollo de la microflora en el suelo, que a su vez mejora la disponibilidad de nutrimentos reduciendo así el uso de nematocidas y fertilizantes químicos. Es idóneo para aplicarse a través del riego. Contiene mayoritariamente residuos descompuestos provenientes de tejidos vegetales de diferentes tipos que aportan nitrógeno, fósforo, potasio, manganeso, zinc, calcio y silicio, los cuales son elementos necesarios para la nutrición de los cultivos; también puede contener bacterias, hongos benéficos, actinomicetos, enzimas y ácidos carboxílicos (Chaney, 2014).

### Uso de microorganismos nematófagos (Hongos y bacterias)



El objetivo central del uso de microorganismos biocontroladores es limitar la aplicación de agroquímicos, disminuyendo la presencia del fitopatógeno en el cultivo de una forma ambientalmente amigable. Para ello, es necesario que el biocontrolador sea capaz de permanecer viable y crecer en el espacio de la rizósfera o la endosfera, considerando que los daños ocasionados por los nematodos agallador (*Meloidogyne enterolobii*) y lesionador (*Rotylenchulus reniformis*) producen en este ambiente.

Las investigaciones dirigidas al uso de biocontroladores se han enfocado en aquellos que son capaces de colonizar este nicho ecológico y por ende interactuar (física y químicamente) con la planta hospedante (Quevedo et al., 2022). El microorganismo seleccionado como biocontrolador, debe además ser metabólicamente activo de manera que pueda ejercer su “efecto protector” bien sea de forma directa parasitando (Figura 2) a los propágulos de los nematodos (huevos, juveniles o hembras adultas) o produciendo metabolitos o enzimas que inhiben el desarrollo del fitopatógeno (Quevedo et al., 2022).

También estos microorganismos pueden controlar al nematodo compitiendo por espacio o nutrientes o indirectamente estimulando las defensas en la planta (resistencia sistémica adquirida) (Pocurull et al., 2020). Dentro de estos agentes microbianos más usados en la región se encuentran algunos hongos del género *Trichoderma* (particularmente *T. viride*, *T. harzianum*, *T. lignorum*, *T. asperellum*), *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* y en menor proporción bacterias de los géneros *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. firmus* y *B. cereus*) y *Streptomyces* (*S. lividus* y *S. avermitilis*) (Quevedo et al., 2022). Estos microorganismos se han reportado como buenos agentes de biocontrol de *Meloidogyne* spp. en cultivos como berenjena, algodón y tomate (Eapen et al., 2005; Wang et al., 2010; Vyas et al., 2011; Yang et al., 2011).

La mayoría de estos microorganismos son cosmopolitas, conocidos principalmente por su capacidad nematófaga a través de diferentes mecanismos de acción (Saha et al., 2016), incluyendo el parasitismo, donde se ha observado la producción de enzimas líticas causantes del efecto nematicida, además se ha descrito la síntesis de amilasas, lipasas, proteasas y quitinasas asociadas a esta especie (Singh et al., 2013; Giné y Sorribas, 2017). La producción de metabolitos secundarios (antibiosis) es otro de los mecanismos de acción de *P. lilacinum*, incluyendo la síntesis de alcaloides, compuestos fenólicos, compuestos orgánicos volátiles, esteroides, flavonoides, péptidos, policétidos, quinonas y terpenoides (Lugtenberg et al., 2016; Lima-Rivera et al., 2016).

En Sinaloa se han evaluado estos microorganismos en diversos cultivos hortícolas como tomate, chile, pepino etc. Jiménez-Pérez et al. (2025) evaluaron a *P. chlamydosporia* var. *Chlamydosporia* sobre *M. incognita*, este hongo demostró altos porcentajes de parasitismo in vitro sobre huevos del nematodo, los cuales oscilaron desde el 80 % a una concentración de  $2.3 \times 10^6$  esporas mL<sup>-1</sup> hasta un 98.9 % a concentración de  $9.5 \times 10^7$  esporas mL<sup>-1</sup>, en un periodo de tiempo de 48 horas. Por lo tanto, este aislamiento podría constituir una bioalternativa para el manejo de nematodos en Sinaloa.

### Extractos botánicos

Los extractos botánicos son una alternativa eficaz para controlar nematodos, ya que son bioplaguicidas que no dejan residuos. Se han utilizado para controlar nematodos en cultivos de tomate, chile y pepino. Dentro de las plantas utilizadas para la elaboración de extractos sobresalen yuca (*Manihot esculenta*), gobernadora (*Larrea tridentata*), higuera (*Ricinus communis*), neem (*Azadirachta indica*), canola (*Brassica napus*), orégano mexicano (*Lippia graveolens*), pápalo quelite (*Porphyrillum ruderale*) y Lantana (*Lantana camara*) (Sabri et al., 2020). El material vegetal (ramas, hojas y frutos) por separado se maceran o trituran y se incorporan en un tinaco con 900 l de agua (Figura 2), en el cual se le agrega azúcar morena, melaza y el producto EM-1 (microorganismos eficientes). Ya junto todos los materiales se someten a condiciones de anaerobiosis registrando el pH semanalmente. Cuando el pH se encuentra entre 3.5 -4.0 es el momento de aplicar el extracto en el terreno de cultivo pudiendo ser a través del sistema de riego. Previamente al uso comercial de los extractos, es necesario realizar la evaluación de la efectividad biológica y dosificación (porcentaje de mortalidad de juveniles) bajo condiciones in vitro en el laboratorio (Khan et al., 2019).

Algunos estudios reportaron al extracto de yuca con alto efecto nematocida para el control del nematodo *M. incognita* en plantas de zanahoria (*Daucus carota*) y tomate (Baldin et al., 2012; Manneh et al., 2016). Por otra parte, el extracto de higuera es considerado un nematocida eficiente en el control de *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Rotylenchulus* (Ray et al., 2016; Kouakou et al., 2017; Estelle et al., 2023) debido a la ricina y la ricinusaglutinina contenidas en la semilla y estos compuestos son capaces de adherirse fuertemente a los órganos vitales de los nematodos fitoparásitos y modificar su comportamiento quimiotáctico o incluso causar su muerte (Estelle et al., 2023). Otros estudios indicaron que el extracto de neem es efectivo para el control de nematodos de importancia económica como especies de *Meloidogyne* (Danahap et al., 2024). Recientemente se encontró que el extracto acuoso y metanólico de neem contiene componentes biológicamente activos como alcaloides, carbohidratos, flavonoides, glucósidos cardíacos, antraquinonas, saponinas, esteroides y serpenos, estudios reportan estos compuestos bioactivos con alto efecto nematocida (Okechalu et al., 2020; Danahap et al., 2024; Djiwanti et al., 2024). El aceite o extracto de higuera también se ha mostrado con efecto nematocida sobre *Aphelenchus fragariae*, y el componente principal de esta planta es la ricina, la cual es tóxica para los nematodos fitoparásitos afectando principalmente los estados juveniles (j2) (Djiwanti et al., 2024). El extracto de orégano también ha sido muy estudiado en el control de nematodos fitoparásitos (principalmente especies de *Meloidogyne*), y se ha indicado que el aceite de orégano contiene altos niveles de timol y carvacrol (Sosa et al., 2020), siendo este último un compuesto con efectos nematocida (Ntalli et al. 2010).

### CONCLUSIONES

La creciente preocupación por el medio ambiente y la salud humana y animal ha llevado a una profunda revisión por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) acerca de la legislación sobre la aplicación de plaguicidas en la agricultura, de la cual se estableció el convenio de Viena en 1985, dando facultades al programa de Naciones Unidas de elaborar un protocolo que incluyera medidas de control para recuperar la capa de ozono. Actualmente el uso de sustancias como plaguicida se ha reducido considerablemente y los agricultores disponen de pocas herramientas químicas (fumigantes y no fumigantes). El número de nematicidas químicos disponibles en el mercado para los productores de hortalizas ha disminuido considerablemente, por lo que presentan dificultades para implementar medidas de control adecuadas contra los nematodos. Por lo que en este documento se plantean métodos ecológicos de control de nematodos con impacto ambiental cero, donde se encuentra el uso de cultivares tolerantes y resistentes, cuando estén disponibles. Es importante destacar que la resistencia en un cultivo es específica para cada género y especie de nematodo. El cambio climático global está provocando un aumento de nuevas poblaciones virulentas capaces de superar las resistencias genéticas, que podrían verse afectadas también por valores de temperatura más altos (35-38 °C). No siempre existen variedades resistentes para los diferentes cultivos y, cuando existen, es necesario considerar si los productos correspondientes satisfacen las necesidades de los consumidores. El uso de enmiendas orgánicas del suelo también es prometedor porque estimulan los microorganismos del suelo capaces de disminuir las poblaciones de nematodos y mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Las enmiendas orgánicas pueden ser particularmente beneficiosas porque son materiales naturales, a menudo producidos por el agricultor a bajo costo, de los cuales se liberan gradualmente nutrientes y sustancias nematicidas durante el ciclo de cultivo. El uso de bioplaguicidas y extractos de plantas es respetuoso con el medio ambiente, ya que estos productos naturales suelen ser selectivos y destruyen únicamente los organismos objetivo. Además, su uso en el riego químico puede reducir los costos de producción y permitir a los agricultores mantener la rentabilidad y la calidad de los cultivos.

## Contribución de los autores

Conceptualización (José Armando Carrillo Fasio); metodología y validación (José Armando Carrillo Fasio, Manuel Alonzo Báez Sañudo y María Trinidad Valdez Morales); análisis formal (José Armando Carrillo Fasio, Manuel Alonzo Báez Sañudo y María Trinidad Valdez Morales); investigación (José Armando Carrillo Fasio, Manuel Alonzo Báez Sañudo y María Trinidad Valdez Morales); recursos (José Armando Carrillo Fasio); redacción y preparación del borrador original (José Armando Carrillo Fasio, Manuel Alonzo Báez Sañudo y María Trinidad Valdez Morales).

## Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## REFERENCIAS

- Rahman, S. F. S. A., Singh, E., Pieterse, C. M., & Schenk, P. M. (2017). Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*, 267, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.11.012>.
- Agrios, G.N. 2005. Fitopatología, 2da edición. México, Limusa, 952 p
- Serna, S. A., Nájera, J. F. D., Gómez, O. G. A., Millán, I. V., Arroyo, A. P., & Reyes, M. a. T. (2018). ACTIVIDAD NEMATICIDA DE EXTRACTOS BOTÁNICOS CONTRA *Meloidogyne incognita* (KOFOID Y WHITE) EN OKRA (*Hibiscus esculentus* L. MOENCH). *BIOTecnica*, 20(1), 13–19. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v20i1.524>
- Baldin, E. L. L., Wilcken, S. R. S., Pannuti, L. E. D. R., Schlick-Souza, E. C., & Vanzei, F. P. (2012). Use of botanical extracts, cassava wastewater and nematicide for the control of root-knot nematode on carrot. *Summa Phytopathologica*, 38, 36–41. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052012000100006>
- Carrillo-Fasio, J.A.; García-Estrada, R.S.; Allende-Molar, R.; Márquez-Zequera, I.; Cruz-Ortega, J.E. 2000. Identificación y distribución de especies del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas, en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18(2): 115-119
- Chaney C.G.M. 2014. Potential of compost tea for suppressing plant disease. *CAB Reviews* No. 032. Doi.10.1079(PAVSNNR20149032.
- Changkwian A., J. Venkatesh, J. H. Lee, J. W. Han, J. K. Kwon, M. I. Siddique and B. C. Kang (2019) Physical localization on the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) resistance locus Me7 in pepper (*Capsicum annuum*). *Frontiers in Plant Science* 10:886, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00886>
- Chen L., Zhang Y., Lui C and Huang L. 2024. Distribution pattern of soil nematode communities along an elevational gradient in arid and semi-arid mountains of Northwest China. *Front. Plant Sci.* 15:1466079. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1466079>
- Chen Q., Song Y., Lu Y and Zhong G. 2024. Soil microorganisms: Their role in enhancing crop nutrition and health. *Diversity* 16(12). <https://doi.org/10.3390/d16120734>
- Danahap, L. S., Ocheme, E. L., & Okechalu, O. B. (2024). Nematicidal effects of *Azadirachta indica* A. Juss (Neem) seeds on *Meloidogyne* species (root-knot nematodes). *Bio-Research*, 22(1), 2234–2241.
- Djiwanti, S. R., Harni, R., & Aunillah, A. (2024, February). Nematicidal effectivity of neem oil, castor oil, and pyrethroids toward foliar nematode (*Aphelenchoides fragariae*) mortality. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1297, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Eapen, S. J., Beena, B., & Ramana, K. V. (2005). Tropical soil microflora of spice-based cropping systems as potential antagonists of root-knot nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 88(3), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.01.011>
- Expósito A, Pujolà M, Achaerandio I, Giné A, Escudero N, Fullana AM, Cunqueiro M, Loza-Alvarez P and Sorribas FJ (2020) Tomato and Melon *Meloidogyne* Resistant Rootstocks Improve Crop Yield, but Melon Fruit Quality Is Influenced by the Cropping Season. *Front. Plant Sci.* 11:560024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.560024>
- Gandariasbeitia, M, López-Pérez, JA, Juaristi, B, Abaunza, L and Larregla, S. (2021). Biodisinfestation with agricultural by-products developed long-term suppressive soils against *Meloidogyne incognita* in lettuce crop. *Frontiers in Sustainable Food System* 5, 663248. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.663248>
- Giné, A., & Sorribas, F. J. (2017). Effect of plant resistance and BioAct WG (Purpureocillium lilacinum strain 251) on *Meloidogyne incognita* in a tomato–cucumber rotation in a greenhouse. *Pest management science*, 73(5), 880–887. <https://doi.org/10.1002/ps.4357>
- Giné A., Monfort P., Sorribas FJ. 2021. Creation and validation of a temperature-based phenology model for *Meloidogyne incognita* on common bean. *Plants* 2021, 10(2), 240; <https://doi.org/10.3390/plants10020240>
- Hu, C, Xia, X, Han, X, Chen, Y, Qiao, Y, et al. (2018). Soil nematodes abundances were increased by an incremental nutrient input in a paddy-upland rotation system. *Helminthologia* 55 :322-333. <https://doi.org/10.2478/helm-2018-0025>
- Jiménez-Pérez, O., Espinosa-Palomeque, B., Ceballos-Ceballos, A. G., Castillo-Reyes, F., & Gallegos-Morales, G. (2025). *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia* sobre huevos de *Meloidogyne incognita* de Escuinapa, Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 44(1): 99.



- Jones JT, Haegeman A, Danchin EG, Gaur HS, Helder J, Perry RN. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Mol Plant Pathol.* 14(9):946–61. <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>
- Kouakou, Y. Y. F. R., Kra, K. D., Assiri, K. P., & Atta, H. (2017). Nematicidal effectiveness of products stemming from dried leaves of castor-oil plant (*Ricinus communis*) on *Meloidogyne* and *Pratylenchus*, yam pathogenic nematodes in Côte d'Ivoire. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 11(5), 57-68.
- Lee I. H., H. S. Kim, K. J. Nam, K. L. Lee, J. W. Yang, S. S. Kwak, ... and Y. H. Kim (2021) The defense response involved in sweetpotato resistance to root-knot nematode *Meloidogyne incognita*: comparison of root transcriptomes of resistant and susceptible sweetpotato cultivars with respect to induced and constitutive defense responses. *Frontiers in Plant Science* 12:671-677, <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.671677>
- Lima-Rivera, D. L., Lopez-Lima, D., Desgarenes, D., Velazquez-Rodriguez, A. S., & Carrion, G. (2016). Phosphate solubilization by fungi with nematicidal potential. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(2), 507-524. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000042>
- Lugtenberg, B. J., Caradus, J. R., & Johnson, L. J. (2016). Fungal endophytes for sustainable crop production. *FEMS microbiology ecology*, 92(12), 194. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw194>
- Manneh, F., Kwoseh, C., Adjei-Gyapong, T., & Starr, J. (2016). Efficacy of sweet orange and cassava peel amendments for the management of root-knot nematodes on tomato. *American Journal of Experimental Agriculture*, 12(5), 1-15. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2016/24638>
- Martínez Gallardo, J.; Valdés, T.; Molar, R.; Manjarrez, J. E.; Carrillo, F.J.A. (2017). Identificación y distribución de *Meloidogyne* spp. en tomate de Sinaloa México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(2), 453-459.
- McSorley R. 2011. Overview of Organic Amendments for Management of Plant-Parasitic Nematodes, with Case Studies from Florida. *Journal Nematol.* 2011 Jun;43(2):69–81.
- Nguyen HT, Trinh QP, Nguyen TD, Bert W. (2020) First report of *Rotylenchulus reniformis* infecting turmeric in Vietnam and consequent damage. *J Nematol.* 52:1–5. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-053>
- Ntalli NG, Ferrari F, Giannakou IO, Menkissoglu-Spirodi U (2010) Phytochemistry and nematicidal activity of the essential oils from 8 Greek Lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components. *J Agric Food Chem* 58:7856–7863
- Ohri, P and Pannu, S. (2010). Effectof phenolic compounds on nematodes-A review. *Journal of Appliedand Natural Science*, 2 :344-350. <https://doi.org/10.31018/jans.v2i2.144>
- Okechalu, O.B., Gutol, N., Danahap, L.S. and Agaba, O.A. (2020). Nematicidal activities of methanolic leaf extracts of *Azadirachta indica* A. Juss and *Ricinus communis* L. on the root-knot nematode (*Meloidogyne*) of Potato (*Solanum tuberosum* L.) *Nigerian Journal of Botany*, 33(1): 81 -96.
- Ouyang, Y, Reeve, JR and Norton, JM. (2022). The quality of organic amendments affects soil microbiome and nitrogen-cycling bacteria in an organic farming system. *Frontiers Soil Science* 2:869136. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.869136>
- Padilla D. C., D. A. H. de Sá Leitao, D. W. Dickson and B. Rathinasabapathi (2021) Biological interactions between root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and pepper (*Capsicum annuum*). *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 134:103-106
- Palomares, J. E., Clavero, I., Archidona, A., Cantalapiedra, C., León, G., Braun, S., & Castillo, P. (2021). Global Distribution of the Reniform Nematode Genus *Rotylenchulus* with the Synonymy of *Rotylenchulus macrosoma* with *Rotylenchulus borealis*. *Plants* 2021, 10(1), 7; <https://doi.org/10.3390/plants10010007>
- Pedraza-Zapata D.M, Sanchez-Garibello M., Quevedo-Hidalgo B., Moreno-Sarmiento N. & Gutierrez-Rojas I. (2017). Promising cellulolytic fungi isolates for rice straw degradation. *Journal of Microbiology.* 55(9), 711-719
- Pegard A., G. Brizzard, A. Fazari, O. Soucaze, P. Abad and C. Djian-Caporalino (2005) Histological characterization of resistance to different root-knot nematode species related to phenolics accumulation in *Capsicum annuum*. *Phytopathology* 95:158-165, <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0158>
- Pocurull, M., Fullana, A. M., Ferro, M., Valero, P., Escudero, N., Saus, E., Gabaldón, T., & Sor Ribas, F. J. (2020). Commercial Formulates of Trichoderma Induce Systemic Plant Resistance to *Meloidogyne incognita* in Tomato and the Effect Is Additive to That of the Mi-1.2 Resistance Gene. *Frontiers in Microbiology*, 10, 3042. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03042>
- Quecedo A. Magdama F., Castro Olaya J.P. and Vera Morales M. 2022. Ecological interactions of nematophagous fungi and their potential use in tropical crops. *March 2022Scientia Agropecuaria* 13(1):97-108 <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.009>
- Ray, D. P., Prasad, D., & Singh, A. U. (2016). Effect of Thevetia nerifolia and Ricinus communis oils and esterified compounds against *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis*. *Annals of Plant Protection Sciences*, 24(2), 376-379.
- Robinson AF. (2007). Reniform in US cotton: When, where, why, and some remedies. *Annual Review of Phytopathology* 45:263–288. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.011107.143949>
- Rutter W. B., J. Franco and C. Gleason (2022) Rooting out the mechanisms of root-knot nematode-plant interactions. *Annual Review of Phytopathology* 60:43-76, <https://doi.org/10.1146/annurevphyto-021621-120943>
- Soto-Ramos, C., Wheeler, T. A., Shockey, J., & Monclova-Santana, C. (2023). Rotation of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars and fallow on yield and *Rotylenchulus reniformis*. *Journal of Nematology*, 55(1). <https://doi.org/10.2478/jofnem-2023-0024>
- Sabri Ala Eddine Zaidat., Mouhouche F., Badaali D., Abdessemed N., De Cra M., and Hammache M. 2020. Nematicidal activity of aqueous and organic extracts of local plants against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood in Algeria under laboratory and greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* (2020) 30:46 <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00242-z>
- Saha, M., Sarkar, S., Sarkar, B., Sharma, B. K., Bhattacharjee, S., & Tribedi, P. (2016). Microbial siderophores and their potential applications: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 3984-3999.
- Salazar-Mesta RJ, Carrillo-Fasio JA, Tovar-Pedraza JM, García-Estrada RS, Mora-Romero GA, Vega-Hernandez R, Torres-López J. 2023a. First report of the root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii* parasitizing eggplant in Mexico. *Plant Disease* 107(5):1638.
- Salazar-Mesta RJ, Carrillo-Fasio JA, Retes-Manjarrez JE, García-Estrada RS, León-Félix J, Mora-Romero GA, Osuna-Enciso T, Tovar-Pedraza JM. 2023b. Characterization, pathogenicity, and reproduction of *Meloidogyne enterolobii* populations parasitizing vegetables in Sinaloa, Mexico. *Tropical Plant Pathology* 48:394–407.
- Salazar-Mesta RJ, Carrillo-Fasio JA, Retes-Manjarrez JE, García-Estrada RS, León-Félix J, Tovar-Pedraza JM. 2024. Characterization of resistance responses to *Meloidogyne enterolobii* in *Capsicum annuum* landraces from Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 84(3): 301–310.

- Singh, S., Pandey, R. K., & Goswami, B. K. (2013). Bio-control activity of *Purpureocillium lilacinum* strains in managing root-knot disease of tomato caused by *Meloidogyne incognita*. *Biocontrol Science and Technology*, 23(12), 1469-1489. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.840770>
- Sosa, A. L., Girardi, N. S., Rosso, L. C., Salusso, F., Etcheverry, M. G., & Passone, M. A. (2020). In vitro compatibility of *Pimpinella anisum* and *Origanum vulgare* essential oils with nematophagous fungi and their effects against *Nacobbus aberrans*. *Journal of Pest Science*, 93, 1381-1395.
- Taylor, L. y J.N. Sasser. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz. Proyecto Internacional de Meloidogyne, Universidad del Estado de Carolina del Norte y AID, Carolina del Norte. 111 p.
- SIAP, 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/) Acceso: 28 marzo 2025.
- Sikandar A., Jia L., Wu H and Yang S. 2023. *Meloidogyne enterolobii* risk to agriculture, its present status and future prospective for management. *Front. Plant Sci.*, 23 Sec. Plant Pathogen Interactions Volume 13 - <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1093657>
- Sikora, R. A., Desaegeer, J., & Molendijk, L. (Eds.). (2021). Integrated nematode management: state-of-the-art and visions for the future. CABI; pags. 87-93. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.000>
- Silva, J. de O., Loffredo, A., da Rocha, M. R., and Becker, J. O. 2019. Efficacy of new nematicides for managing *Meloidogyne incognita* in tomato crop. *Journal of Phytopathology*. Volume 167, Issue 5 Pages 295-298. <https://doi.org/10.1111/jph.12798>
- Valdez-Morales MT, Carrillo-Fasio JA, García-Estrada RS, Correia KC, Cruz-Lachica I, Marquez-Zequera I, Tovar-Pedraza JM. 2024. Occurrence of the reniform nematode *Rotylenchulus reniformis* parasitizing cucumber and eggplant in Mexico. *Plant Health Progress* 25(2): 207–209.
- Valdez-Morales MT, Carrillo-Fasio JA, García-Estrada RS, Martínez-Gallardo JA and Tovar-Pedraza JM. 2025a. Competitive interaction between *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne enterolobii* in tomato and cucumber plants. *Mexican Journal of Phytopathology* 43(2): 67.
- Valdez-Morales MT, Carrillo-Fasio JA, García-Estrada RS, León-Félix J, Correia KC, Rosas-Saito GH, Tovar-Pedraza JM. 2025b. Phylogeny, morphology, and reproduction of *Rotylenchulus reniformis* populations associated with tomato in Sinaloa, Mexico. *Canadian Journal of Plant Pathology*.
- Verdejo Lucas, S. 2009. Manejo integrado de nematodos. IRTA. Patología Vegetal. Almería España.
- Vyas, H., Sharma, M. K., & Bhargava, S. (2011). Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* against reniform nematode, *Rotylenchulus reniformis* on brinjal. *Indian Journal of Nematology*, 41(2), 212-214.
- Wang, J., Wang, J., Liu, F., & Pan, C. (2010). Enhancing the virulence of *Paecilomyces lilacinus* against *Meloidogyne incognita* eggs by overexpression of a serine protease. *Biotechnology letters*, 32, 1159-1166.
- Yang, J., Zhao, X., Liang, L., Xia, Z., Lei, L., Niu, X., ... & Zhang, K. Q. (2011). Overexpression of a cuticle-degrading protease Ver112 increases the nematicidal activity of *Paecilomyces lilacinus*. *Applied microbiology and biotechnology*, 89, 1895-1903.