

Extractos vegetales como alternativa sostenible para el control de *Meloidogyne incognita* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Ecuador

Plant extracts as a sustainable alternative for the control of Meloidogyne incognita in tomato (Solanum lycopersicum L.) in Ecuador

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18969157>

AUTORES: Vanessa Pino Meléndez^{1*}

Carmen Triviño Gílces²

Dídimo Mendoza Intriago³

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: vpino@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 05 / 10 / 2025

Fecha de aceptación: 03 / 01 / 2026

RESUMEN

Los nematodos agalladores de raíces (*Meloidogyne* spp.) representan una seria amenaza para el cultivo de tomate debido a las pérdidas de rendimiento que ocasionan y a la dependencia de nematicidas químicos con impactos ambientales y sanitarios. En este contexto, los extractos vegetales surgen como una alternativa sostenible para el manejo de *Meloidogyne incognita*. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia nematicida de extractos acuosos obtenidos de 30 especies vegetales bajo condiciones de laboratorio, invernadero y campo en Ecuador. En la fase de laboratorio, los extractos se evaluaron a concentraciones de 50, 75 y 90 %, clasificándose según su efecto biológico en letales, nematostáticos y sin efecto

^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0986-1651>, Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador; Doctorante, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela, vpino@utb.edu.ec

², Doctor of Philosophy Major Agriculture an Food; Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador, trivino.carmen@gmail.com

³ <https://orcid.org/0000-0002-6524-3228>, Ingeniero Agrónomo, Magíster en Riego y Drenaje, Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, alexander.mendoza@uleam.edu.ec

apreciable. Se seleccionaron para la fase de invernadero aquellos extractos que presentaron mortalidades de juveniles J2 de *M. incognita* ≥ 90 % en todas las concentraciones, observándose una mayor proporción de respuestas letales en extractos derivados de hojas. En invernadero, los extractos de noni (fruto), chaya (hojas), hierba mora y cola de caballo se asociaron con menores índices de agallamiento y densidades poblacionales del nematodo, evidenciándose un efecto dosis-respuesta bajo estas condiciones. En campo, el esquema de aplicación influyó en la densidad del nematodo en raíces, registrándose menores poblaciones con una sola aplicación; además, el extracto de cola de caballo (*Equisetum arvense*) aplicado al trasplante mostró los valores numéricamente más bajos. En conjunto, los extractos pertenecientes a las familias Rubiaceae, Euphorbiaceae, Solanaceae y Equisetaceae constituyen una alternativa promisoriosa para integrarse al manejo sostenible de *M. incognita* en tomate.

Palabras clave: actividad nematocida, extractos botánicos, manejo sostenible, metabolitos secundarios, nematodos fitoparásitos

ABSTRACT

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) represent a serious threat to tomato cultivation due to the yield losses they cause and the reliance on chemical nematicides with associated environmental and health impacts. In this context, plant extracts emerge as a sustainable alternative for the management of *Meloidogyne incognita*. The objective of this study was to evaluate the nematicidal efficacy of aqueous extracts obtained from 30 plant species under laboratory, greenhouse, and field conditions in Ecuador. In the laboratory phase, extracts were evaluated at concentrations of 50, 75, and 90%, and classified according to their biological effect as lethal, nematostatic, or without appreciable effect. Extracts that exhibited $\geq 90\%$ mortality of *M. incognita* second-stage juveniles (J2) at all concentrations were selected for the greenhouse evaluation, where a higher proportion of lethal responses was observed in leaf-derived extracts. Under greenhouse conditions, extracts from noni (fruit), chaya (leaves), black nightshade, and horsetail were associated with lower galling indices and nematode population densities, evidencing a dose-response effect. Under field conditions, the application scheme influenced nematode density in roots, with lower populations recorded following a single application; additionally, horsetail extract

(*Equisetum arvense*) applied at transplanting showed the lowest numerical values. Overall, extracts belonging to the families Rubiaceae, Euphorbiaceae, Solanaceae, and Equisetaceae constitute a promising alternative for integration into the sustainable management of *M. incognita* in tomato cultivation.

Keywords: *nematicidal activity, botanical extracts, sustainable management, secondary metabolites, plant-parasitic nematodes*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo cultivo hortícola de mayor importancia a nivel mundial, después de la papa, destacándose con una producción global que supera los 180 millones de toneladas anuales en una superficie cercana a los 5 millones de hectáreas, según estadísticas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022). Este cultivo se destina al consumo fresco y procesado y es de relevancia nutricional por su contenido de vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos, fibra y antioxidantes como el licopeno (Quinet et al., 2019). Sin embargo, su producción se ve afectada por nematodos fitoparásitos, como *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, especie que puede ocasionar hasta un 30 % de pérdida de rendimiento a escala global, además de generar una fuerte dependencia del uso de nematicidas químicos con implicaciones ambientales y sanitarias (Vimala et al., 2025).

Los nematodos fitoparásitos generan pérdidas significativas en la producción de hortalizas en Ecuador, particularmente en el cultivo de tomate. Las mayores densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. se concentran en la región litoral, donde su rápida proliferación se asocia principalmente al monocultivo y la rotación o asociación con leguminosas, maíz y maní (Triviño et al., 1998). Tradicionalmente, el manejo de estos fitonematodos se ha basado en el uso de nematicidas químicos; no obstante, la aplicación recurrente de estos productos ha generado impactos adversos sobre el ambiente y la salud humana, ya que estos agroquímicos afectan organismos no blanco y dejan residuos en los cultivos, lo que limita su compatibilidad con esquemas de producción sostenible (Chitwood, 2002; Desaeger et al., 2020).

En la búsqueda de estrategias sostenibles para el manejo de nematodos fitoparásitos, diversos estudios han evidenciado que el uso de extractos de origen vegetal constituye una alternativa

eficaz para la reducción de las poblaciones de *Meloidogyne* spp. (Avilés-Gómez et al., 2022; Petrikovszki et al., 2023; Vimala et al., 2025; García et al., 2025). En particular, se ha demostrado el potencial nematicida de extractos vegetales frente a *M. incognita*, lo que resalta su viabilidad como herramientas de manejo en sistemas agrícolas (Martinotti et al., 2016). En este contexto, el empleo de extractos vegetales no solo contribuye a disminuir la dependencia de nematicidas químicos, sino que también permite mitigar los impactos ambientales y reducir los costos de producción, consolidándose como una opción compatible con esquemas de producción sostenibles (Kabdal et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado la actividad nematicida de compuestos presentes en extractos vegetales. Regnault et al. (2004) reportaron que la ricina, presente en *Ricinus communis* L., así como compuestos como el ácido antranílico y diversos monoterpenos de *Ruta graveolens* L., ejercen efectos nematicidas sobre *Meloidogyne* spp. Asimismo, especies del género *Tagetes* contienen compuestos bioactivos como el α -tertienilo, los cuales presentan actividad frente a nematodos fitoparásitos. Estos compuestos inducen estrés oxidativo y penetran eficazmente la hipodermis del nematodo, ejerciendo una marcada actividad nematicida, lo que evidencia su alto potencial como agentes prácticos para el control de nematodos en la agricultura (Hamaguchi et al., 2019).

Por su parte, Nelson et al. (2003) evidenciaron que extractos de ají (*Capsicum annuum* L.), ajo (*Allium sativum* L.), mostaza (*Brassica campestris* L.), neem (*A. indica*) y tagetes (*T. erecta* L.) provocaron niveles de inactividad superiores al 50 % en juveniles de *M. incognita* raza 2 bajo condiciones de laboratorio. De manera complementaria, Vinueza et al. (2006) evaluaron la eficacia de 15 extractos acuosos obtenidos de diferentes órganos de nueve especies vegetales frente al segundo estadio juvenil (J2) de *M. incognita*, destacándose el efecto de fruto verde de *R. communis*, que alcanzó hasta el 100 % de mortalidad a concentraciones de 32–100 % después de 72 horas, así como los extractos de inflorescencia de *Schoenocaulon officinale* (Schltdl.) A. Gray, los cuales mostraron 100 % de mortalidad a una concentración del 100 % en solo 48 horas.

En conjunto, estos resultados respaldan que los extractos vegetales representan una alternativa promisoriosa para el manejo de nematodos fitoparásitos, con eficacia demostrada frente a juveniles de *Meloidogyne* spp., y efectos comparables o complementarios a agentes sintéticos (Ntalli & Caboni, 2012). No obstante, su aplicación a gran escala enfrenta desafíos

asociados a la variabilidad de su composición química y a la consistencia de su eficacia biológica, lo que dificulta su estandarización y formulación comercial (Mwamula et al., 2022).

En Ecuador, el interés por prácticas agrícolas sostenibles y orgánicas ha impulsado investigaciones orientadas al uso de extractos vegetales locales como estrategia de manejo de nematodos. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto nematicida de extractos provenientes de 30 especies de plantas sobre *M. incognita* en condiciones de laboratorio, invernadero y campo, como una alternativa sustentable para el control de este fitopatógeno en el cultivo de tomate.

METODOLOGÍA

Ensayos de laboratorio (actividad nematicida *in vitro*)

La preparación de los extractos vegetales y la evaluación de su actividad nematicida *in vitro* se realizaron conforme a un protocolo exploratorio estandarizado. Se evaluaron 30 especies vegetales, utilizando diferentes órganos (hojas, raíces, tallos, flores, frutos y semillas) de acuerdo con lo descrito en la Tabla 1.

Para la preparación de los extractos, se pesó 1 kg de material vegetal fresco, el cual fue lavado con agua corriente, desinfectado superficialmente con hipoclorito de sodio al 1 % durante 1 minuto y enjuagado con agua destilada estéril. Posteriormente, el material se trituró y maceró en 1L de agua destilada estéril, utilizando una licuadora de uso exclusivo para laboratorio y un mortero, hasta obtener una suspensión homogénea. La mezcla fue filtrada a través de gasa estéril y aforada a 1 L, constituyendo la solución madre (100 %). A partir de esta solución base se prepararon las concentraciones de 50 %, 75 % y 90 % (v/v), utilizando agua destilada estéril como diluyente. Los extractos se utilizaron el mismo día de su preparación.

Los juveniles del segundo estadio de *M. incognita*, se obtuvieron a partir de masas de huevos incubadas en agua destilada a 25 ± 2 °C. Para cada concentración se emplearon tres cajas Petri plásticas estériles (5 cm de diámetro y 1 cm de altura), consideradas como unidades experimentales independientes. En cada caja se colocaron 2.0, 3.0 y 3.60 mL de extracto para las concentraciones de 50, 75 y 90 %, respectivamente, complementándose con agua destilada estéril hasta completar un volumen final constante de 4 mL.

En cada unidad experimental se inocularon 20 juveniles activos de *M. incognita*, verificados previamente bajo microscopio invertido. Las cajas se incubaron durante 24 horas a 25 ± 2 °C. Transcurrido este periodo, los nematodos fueron enjuagados sobre un tamiz No. 500 y recuperados en cajas Petri de 8 cm de diámetro, rayadas para facilitar el conteo.

Tabla 1. Extractos vegetales, órganos utilizados y concentraciones evaluadas en el ensayo nematocida in vitro contra *M. incognita*.

Nº	Especie vegetal	Familia	Órgano(s) evaluado(s)	Concentración (%)
1.	<i>Amaranthus dubius</i> Mart. Ex Thell (Bledo)	Amaranthaceae	raíz, hojas, tallos, flor	50, 75, 90
2.	<i>Ambrosia cumanensis</i> Kunth (Altamisa, artemisa)	Asteraceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
3.	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf (Hierba luisa)	Poaceae	raíz, hojas	50, 75, 90
4.	<i>Asarum canadense</i> L. (Jengibre silvestre)	Aristolochiaceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
5.	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss. (Neem)	Meliaceae	hojas, frutos	50, 75, 90
6.	<i>Brassica oleracea</i> L. (Repollo, col)	Brassicaceae	hojas	50, 75, 90
7.	<i>Dysphania ambrosioides</i> L. (Paico)	Amaranthaceae	hojas, tallos	50, 75, 90
8.	<i>Cnidioscolus chayamansa</i> McVaugh (Chaya)	Euphorbiaceae	raíz, hojas	50, 75, 90
9.	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott (Papa china)	Araceae	hojas, tallos	50, 75, 90
10.	<i>Crotalaria spectabilis</i> Roth (Crotalaria)	Fabaceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
11.	<i>Datura stramonium</i> L. (Chamico)	Solanaceae	hojas, tallos y frutos	50, 75, 90
12.	<i>Equisetum arvense</i> L. (Cola de caballo)	Equisetaceae	hojas	50, 75, 90
13.	<i>Euphorbia heterophylla</i> L. (Lechosa)	Euphorbiaceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
14.	<i>Solanum lycopersicum</i> L. (Tomate de mesa)	Solanaceae	raíz, hojas, fruto verde	50, 75, 90
15.	<i>Momordica charantia</i> L. (Achochilla)	Cucurbitaceae	hojas, frutos	50, 75, 90
16.	<i>Morinda citrifolia</i> L. (Noni)	Rubiaceae	raíz, hojas y frutos	50, 75, 90
17.	<i>Nicotiana tabacum</i> L. (Tabaco)	Solanaceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
18.	<i>Ocimum basilicum</i> L. (Albahaca de anís)	Lamiaceae	hojas	50, 75, 90
19.	<i>Ocimum gratissimum</i> L. (Albahaca de canela)	Lamiaceae	hojas	50, 75, 90
20.	<i>Piper aduncum</i> L. (Matico)	Piperaceae	hojas, tallos	50, 75, 90
21.	<i>Plantago major</i> L. (Llantén)	Plantaginaceae	raíz, hojas	50, 75, 90
22.	<i>Ricinus communis</i> L. (Higuerilla)	Euphorbiaceae	raíz, hojas, tallos, frutos, semilla	50, 75, 90
23.	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass. (Ruda silvestre)	Asteraceae	hojas, tallos	50, 75, 90
24.	<i>Salvia occidentalis</i> Sw. (Mastrante)	Lamiaceae	hojas, tallos	50, 75, 90
25.	<i>Sesamum indicum</i> L. (Ajonjolí)	Pedaliaceae	raíz, hojas	50, 75, 90
26.	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Rob (Insulina)	Asteraceae	hojas	50, 75, 90
27.	<i>Solanum nigrum</i> L. (Hierba mora, verbena negra)	Solanaceae	raíz, hojas, tallos, frutos	50, 75, 90
28.	<i>Tagetes erecta</i> L. (Flor de muerto o Marigold)	Asteraceae	raíz, hojas, tallos, flor	50, 75, 90
29.	<i>Urtica dioica</i> L. (Ortiga)	Urticaceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
30.	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott (Camacho)	Araceae	raíz, hojas, tallos	50, 75, 90
	Testigo absoluto (agua común)	No aplica	–	0

Fuente: Elaboración propia

La actividad nematocida se evaluó a 1h y 24 horas posteriores a la recuperación en agua, con el fin de diferenciar efectos nematostáticos de efectos letales. Se consideraron nematodos muertos aquellos que no presentaron movimiento espontáneo ni respuesta al estímulo mecánico. El experimento se estructuró bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento, considerando cada caja Petri como una unidad experimental independiente, e incluyendo un testigo absoluto (agua destilada estéril). Dado que los ensayos *in vitro* tuvieron un carácter exploratorio, orientado a la selección preliminar de extractos vegetales con potencial nematocida, los resultados se analizaron mediante estadística

descriptiva, utilizando la media aritmética como medida de tendencia central. Con base en estos resultados, se identificaron los extractos que mantuvieron mortalidades $\geq 90\%$ en todas las concentraciones evaluadas, los cuales fueron seleccionados para su posterior evaluación en condiciones de invernadero, donde se aplicaron análisis estadísticos inferenciales.

Ensayo de invernadero

El ensayo en invernadero se realizó para evaluar la eficacia de los 15 extractos vegetales más promisorios seleccionados en laboratorio (Tabla 2), utilizando como planta indicadora tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad “Floradade”.

Tabla 2. Extractos vegetales seleccionados en laboratorio y dosis evaluadas en el ensayo de invernadero.

N°	Extracto vegetal	Órgano	Dosis mL/planta
1.	Noni (<i>Morinda citrifolia</i>)	frutos	6, 10, 14
2.	Chaya (<i>Cnidoscolus chayamansa</i>)	hojas	6, 10, 14
3.	Col (<i>Brassica oleracea</i>)	hojas	6, 10, 14
4.	Hierba mora (<i>Solanum nigrum</i>)	hojas	6, 10, 14
5.	Cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i>)	hojas	6, 10, 14
6.	Matico (<i>Piper aduncum</i>)	hojas, tallos	6, 10, 14
7.	Achochilla (<i>Momordica charantia</i>)	hojas	6, 10, 14
8.	Ruda silvestre (<i>Porophyllum ruderale</i>)	hojas, tallos	6, 10, 14
9.	Higuerilla (<i>Ricinus communis</i>)	tallos, frutos, semilla	6, 10, 14
10.	Paico (<i>Dysphania ambrosioides</i>)	hojas, tallos	6, 10, 14
11.	Bledo (<i>Amaranthus dubius</i>)	raíz	6, 10, 14
12.	Crotalaria (<i>Crotalaria spectabilis</i>)	hojas	6, 10, 14
13.	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	hojas	6, 10, 14
14.	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	frutos	6, 10, 14
15.	Marigold (<i>Tagetes erecta</i>)	flor	6, 10, 14
	Testigo absoluto*	No aplica	0

* solo con nematodos

Extractos seleccionados con mortalidad $\geq 90\%$ en todas las concentraciones evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

A partir de la solución madre de cada extracto se evaluaron tres dosis: 6, 10, 14 mL por planta. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial (15 extractos x 3 dosis) y un tratamiento adicional (testigo absoluto), con tres repeticiones por tratamiento, totalizando 144 macetas de 3 L de capacidad. Cada maceta fue llenada con 3 kg de suelo previamente homogenizado e infestado, y se mantuvo un riego controlado para evitar percolación y pérdida del inóculo. Los tratamientos se aplicaron mediante aspersión manual, utilizando un atomizador de 1 L, distribuyendo 20 mL de la solución por maceta. Siete días después de la aplicación, se realizó el trasplante de las plántulas de tomate. A los 45 días posteriores al trasplante, se recolectaron tres plantas por tratamiento con el fin de evaluar el índice de agallamiento, utilizando la escala de Bridge y

Page (1980) de 0 a 10, y la densidad poblacional de *M. incognita* en raíces y suelo. Para lo cual, las raíces fueron licuadas y tamizadas y el sedimento analizado en cámaras de conteo; los nematodos del suelo se extrajeron mediante el método de platos supuestos e incubación. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y la comparación de medias se efectuó con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ensayo de campo

En la fase de campo se evaluaron cuatro extractos vegetales seleccionados por su mayor eficacia en invernadero contra *M. incognita* (Tabla 3).

Tabla 3. Extractos vegetales, dosis y momentos de aplicación evaluados en campo contra *M. incognita*.

Nº	Extractos	Aplicación	Dosis L ha ⁻¹
1.	Noni (<i>Morinda citrifolia</i>) frutos	Al trasplante	200
2.		Al trasplante	400
3.		Trasplante y 20 días después	200 + 200
4.		Trasplante y 20 días después	400 + 400
5.	Chaya (<i>Cnidoscolus chayamansa</i>) hojas	Al trasplante	200
6.		Al trasplante	400
7.		Trasplante y 20 días después	200 + 200
8.		Trasplante y 20 días después	400 + 400
9.	Hierba mora (<i>Solanum nigrum</i>) hojas	Al trasplante	200
10.		Al trasplante	400
11.		Trasplante y 20 días después	200 + 200
12.		Trasplante y 20 días después	400 + 400
13.	Cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i>) hojas	Al trasplante	200
14.		Al trasplante	400
15.		Trasplante y 20 días después	200 + 200
16.		Trasplante y 20 días después	400 + 400
17.	Testigo absoluto	–	0

Fuente: Elaboración propia

El experimento se estableció en un lote naturalmente infestado con *M. incognita*, donde previamente se sembró fréjol como cultivo susceptible con el fin de homogenizar la población del nematodo. Se dispusieron 51 parcelas de 8 m² y se trasplantaron plantas de tomate de la variedad “Floradade”. Los extractos se aplicaron en dosis 200 y 400 L ha⁻¹ al momento del trasplante y, según el tratamiento, una segunda aplicación a los 20 días después del trasplante.

El ensayo se estructuró bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (4 extractos x 2 dosis x 2 épocas de aplicación) y un tratamiento adicional (testigo absoluto), con 3 repeticiones por tratamiento. Al finalizar el ciclo del cultivo, se seleccionaron cinco plantas por parcela y se evaluó el rendimiento del cultivo y la densidad poblacional de *M.*

incognita en raíces y suelo. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y las medias comparadas mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS

Selección preliminar de extractos vegetales (fase *in vitro*)

En la fase de laboratorio se evaluó la actividad nematocida de extractos vegetales obtenidos de 30 especies vegetales frente a juveniles de segundo estadio (J2) de *M. incognita*, con el objetivo de realizar una selección preliminar de aquellos extractos con mayor potencial para su posterior validación en condiciones de invernadero y campo. Con base en la respuesta observada tras 24 h de exposición a los extractos y 24 h de recuperación en agua limpia, los tratamientos se agruparon en tres categorías biológicas: extractos con efecto letal, extractos con efecto nematostático y extractos sin efecto apreciable (Tabla 4).

Los extractos clasificados como letales presentaron mortalidades elevadas (80–100 %), lo que evidenció un efecto irreversible sobre juveniles J2 de *M. incognita*, dado que no se registró recuperación de la movilidad tras el periodo de recuperación en agua limpia. De este grupo, se seleccionaron para la siguiente fase experimental aquellos extractos que mantuvieron mortalidades ≥ 90 % en todas las concentraciones evaluadas.

En contraste, los extractos con efecto nematostático provocaron inmovilización reversible de los juveniles durante la exposición, con recuperación parcial o total posterior, lo que sugiere la presencia de compuestos con actividad inhibidora transitoria. Finalmente, un grupo de extractos no mostró efecto apreciable, registrando mortalidades inferiores al 10 %, lo que indica ausencia de actividad nematocida bajo las condiciones evaluadas.

La respuesta nematocida dependió del órgano vegetal y de la concentración aplicada, observándose una mayor proporción de extractos con efecto letal, principalmente aquellos derivados de hojas (52 %), seguidos por tallos (22 %), frutos (15 %) y, en menor proporción, raíces, semillas y flores (1 % cada uno) (Figura 1).

La clasificación presentada en la Tabla 4 permitió identificar los extractos con mayor potencial nematocida, los cuales fueron seleccionados para su evaluación en condiciones de invernadero, priorizando aquellos que mostraron respuestas letales consistentes y representatividad del órgano vegetal.

Tabla 4. Clasificación biológica de extractos vegetales evaluados in vitro contra juveniles J2 de *M. incognita*.

Categoría biológica	Extractos vegetales	Órgano	Concentraciones efectivas (%)	Mortalidad (%)	
Letal	<i>Morinda citrifolia</i> (noni)	fruto	50-90	100	
	<i>Cnidocolus chayamansa</i> (chaya)	hojas	50-90	100	
	<i>Momordica charantia</i> (achochilla)	hojas	50-90	100	
	<i>Solanum nigrum</i> (hierba mora)	hojas	50-90	100	
	<i>Equisetum arvense</i> (cola de caballo)	hojas	50-90	100	
	<i>Brassica oleracea</i> (col)	hojas	50-90	100	
	<i>Ricinus communis</i> (higuerilla)	tallos, fruto, semilla	50-90	100	
	<i>Amaranthus dubius</i> (bledo)	raíz	50-90	100	
	<i>Dysphania ambrosioides</i> (paico)	hojas, tallos	50-90	100	
	<i>Porophyllum ruderale</i> (ruda silvestre)	hojas, tallos	50-90	100	
	<i>Solanum lycopersicum</i> (tomate)	fruto verde, hojas	50-90	95-100	
	<i>Crotalaria spectabilis</i> (crotalaria)	hojas	50-90	95-100	
	<i>Tagetes erecta</i> (marigold)	flores	50-90	90-100	
	<i>Piper aduncum</i> (matico)	hojas, tallos	50-90	90-100	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> (lechosa)	hojas	50-90	85-100	
	<i>Datura stramonium</i> (chamico)	hojas, tallos, fruto	50-90	80-100	
	<i>Salvia occidentalis</i> (mastrante)	hojas	75-90	100	
	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (camacho)	tallos	75-90	90-100	
<i>Urtica dioica</i> (ortiga)	hojas	75-90	85-95		
Nematostático	<i>Cymbopogon citratus</i> (hierba luisa)	raíz	50-90	70-75	
	<i>Crotalaria spectabilis</i> (crotalaria)	tallos, raíz	50-90	10-75	
	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (camacho)	hojas, raíz	50-90	20-70	
	<i>Plantago major</i> (llantén)	hojas	50-90	25-55	
	<i>Colocasia esculenta</i> (papa china)	hojas, tallos	50-90	15-50	
	<i>Morinda citrifolia</i> (noni)	hojas	50-90	25-45	
	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (insulina)	hojas	50-90	25-40	
	<i>Nicotiana tabacum</i> (tabaco)	raíz, tallo, hojas	50-90	0-35	
	<i>Ambrosia cumanensis</i> (altamisa)	hojas	75-90	25-35	
	<i>Ricinus communis</i> (higuerilla)	hojas, raíz	75-90	15-25	
	<i>Asarum canadense</i> (jengibre)	tallos	50-75	25-45	
	<i>Azadirachta indica</i> (neem)	fruto	50-75	35-40	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> (lechosa)	raíz	50-75	25-30	
	<i>Urtica dioica</i> (ortiga)	raíz	90	25	
	<i>Salvia occidentalis</i> (mastrante)	hojas	50	65	
	<i>Cnidocolus chayamansa</i> (chaya)	raíz	50	60	
	Sin efecto	<i>Asarum canadense</i> (jengibre)	raíz	50-90	0-5
		<i>Sesamum indicum</i> (ajonjolí)	raíz, hojas	50-90	0-5
<i>Salvia occidentalis</i> (mastrante)		tallos	50-90	0	
<i>Ocimum basilicum</i> (albahaca de anís)		hojas	50	5	
<i>Cymbopogon citratus</i> (hierba luisa)		hojas	50	0	
<i>Ambrosia cumanensis</i> (altamisa)		raíz	50	0	
<i>Ocimum gratissimum</i> (albahaca de canela)		hojas	50	0	
<i>Plantago major</i> (llantén)		raíz	50	0	
<i>Ricinus communis</i> (higuerilla)		raíz, hojas	50	0-5	
Testigo	-	-	0		

Nota: La clasificación se realizó con base en la mortalidad observada tras 24 horas de exposición a los extractos y 24 horas de recuperación en agua limpia. Se consideraron extractos letales aquellos con mortalidades $\geq 80\%$, nematostáticos aquellos con inmovilización reversible y sin efecto apreciable aquellos extractos que no difirieron del testigo absoluto, presentando mortalidades nulas o inferiores al 10 % tras el periodo de recuperación. Dentro del grupo de extractos letales, únicamente aquellos que mantuvieron mortalidades $\geq 90\%$ en todas las concentraciones evaluadas fueron seleccionados para su validación en condiciones de invernadero. Algunas especies mostraron respuestas dependientes del órgano vegetal y la concentración, pudiendo clasificarse en más de una categoría biológica.

Fuente: Elaboración propia

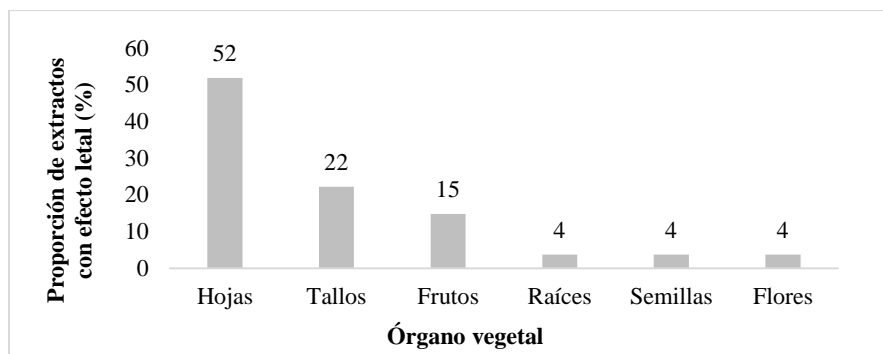


Figura 1. Distribución de extractos con efecto letal según el órgano vegetal empleado en ensayos in vitro.
Fuente: Elaboración propia

Resultados en condiciones de invernadero

La evaluación en condiciones de invernadero permitió validar estadísticamente la respuesta del cultivo de tomate al tratamiento con extractos vegetales previamente seleccionados en la fase de laboratorio para el manejo de *M. incognita*.

Índice de agallamiento en raíces de tomate

El análisis estadístico evidenció un efecto significativo tanto del tipo de extracto vegetal como de la dosis aplicada y de su interacción sobre el índice de agallamiento ($p \leq 0,05$). En términos generales, los valores promedio del índice de agallamiento variaron entre 2,0 y 3,5 entre los extractos evaluados, mientras que el testigo absoluto presentó el valor más alto (5,0) (Tabla 5).

Entre los extractos evaluados, *M. citrifolia* (noni) y *E. arvense* (cola de caballo) registraron los menores valores promedio de agallamiento (2,0), ubicándose en el grupo estadístico “c”, estos valores fueron notablemente inferiores al registrado por el testigo absoluto, el cual presentó el mayor índice de agallamiento bajo las condiciones evaluadas. Otros extractos, como *S. nigrum* (hierba mora) y *C. chayamansa* (chaya), presentaron valores bajos a intermedios ($\approx 2,2$), compartiendo grupos estadísticos (“bc”) con varios tratamientos, sin diferenciarse estadísticamente de ellos.

En contraste, los mayores índices de agallamiento se observaron en los tratamientos *S. lycopersicum* (tomate frutos) y *T. erecta* (flor de marigold), cuyos valores promedio oscilaron entre 3,4 y 3,5, agrupándose en la letra “a”, valores comparables a los registrados en el testigo absoluto.

Tabla 5. Índice de agallamiento en raíces de tomate (*S. lycopersicum*) tratadas con extractos vegetales a tres dosis en condiciones de invernadero.

Extractos	Índice de agallamiento/planta			Media de extractos
	Dosis (mL/planta)			
	6	10	14	
1. <i>Morinda citrifolia</i> (noni)	2,0	1,7	2,3	2,0 c
2. <i>Cnidioscolus chayamansa</i> (chaya)	2,0	2,3	2,3	2,2 bc
3. <i>Brassica oleracea</i> (repollo)	2,7	3,0	2,0	2,5 abc
4. <i>Solanum nigrum</i> (hierba mora)	3,0	2,3	1,3	2,2 bc
5. <i>Equisetum arvense</i> (cola de caballo)	2,0	2,0	2,0	2,0 c
6. <i>Piper aduncum</i> (matico)	3,7	2,3	2,3	2,7 abc
7. <i>Momordica charantia</i> (achochilla)	2,0	2,3	4,0	2,7 abc
8. <i>Porophyllum ruderale</i> (ruda silvestre)	4,0	2,7	3,0	3,2 ab
9. <i>Ricinus communis</i> (higuerilla)	4,0	2,7	2,7	3,1 abc
10. <i>Dysphania ambrosioides</i> (paico)	3,7	3,0	2,0	2,8 abc
11. <i>Amaranthus dubius</i> (bledo)	2,7	2,7	2,0	2,4 abc
12. <i>Crotalaria spectabilis</i> (crotalaria)	3,7	3,0	3,0	3,2 ab
13. <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate hojas)	4,3	2,7	3,0	3,3 ab
14. <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate frutos)	4,7	3,0	3,0	3,5 a
15. <i>Tagetes erecta</i> (marigold)	4,3	3,3	2,7	3,4 a
Media de dosis	3,3 a	2,6 b	2,5 b	2,8
Media General				2,83
Testigo				5

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al efecto de la dosis, las aplicaciones de 10 y 14 mL/planta presentaron índices de agallamiento significativamente menores que la dosis de 6 mL/planta, sin detectarse diferencias estadísticas entre ambas dosis superiores (Figura 2).

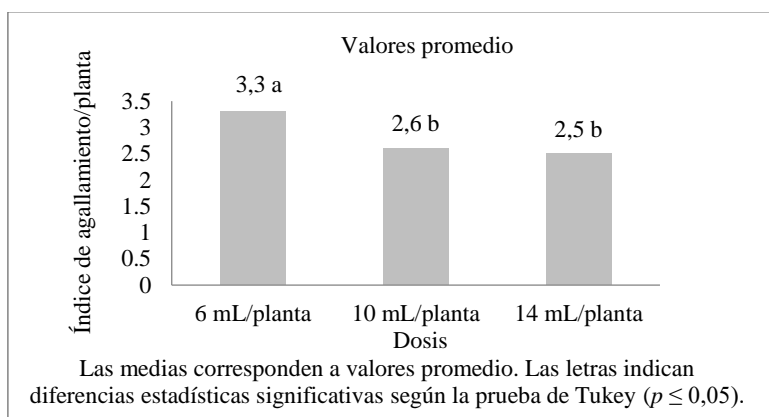


Figura 2. Índice de agallamiento en raíces de tomate (*S. lycopersicum*) en función de la dosis de extractos vegetales en condiciones de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 resume gráficamente los valores promedio del índice de agallamiento por extracto vegetal, integrando el comportamiento observado a través de las dosis evaluadas. La distribución de los tratamientos confirma la tendencia general descrita en la Tabla 5, con extractos que presentan menores, intermedios y mayores niveles de agallamiento, de acuerdo

con los grupos estadísticos definidos por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), facilitando la comparación global del efecto relativo de cada extracto sobre el daño radicular inducido por *M. incognita*.

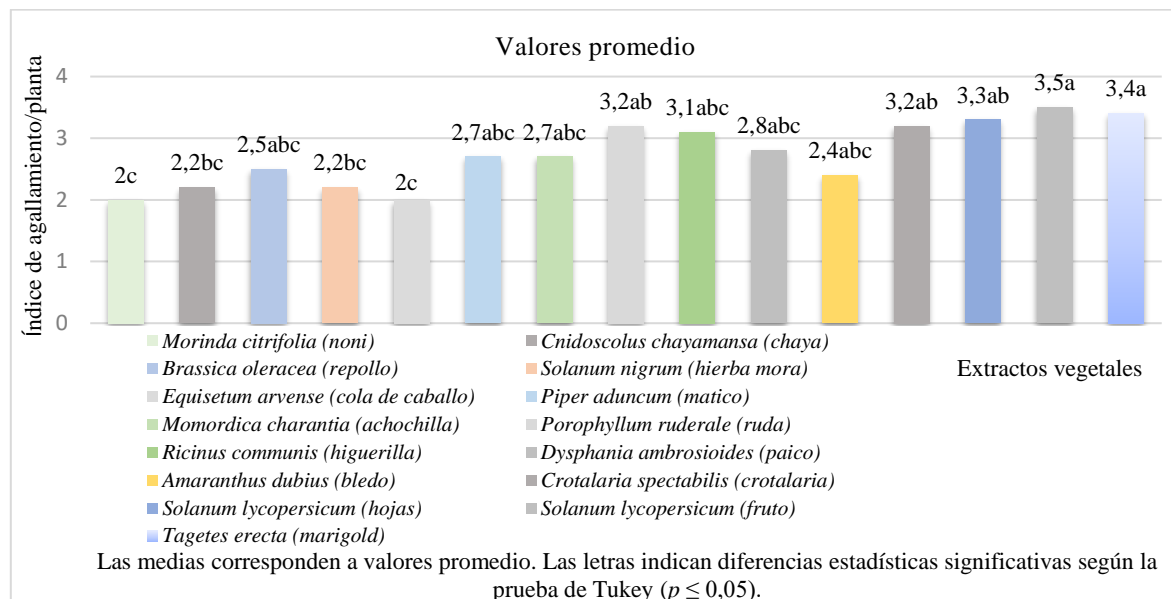


Figura 3. Índice de agallamiento en raíces de tomate en función del extracto vegetal bajo condiciones de invernadero. Fuente: Elaboración propia

Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces de tomate

El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en la densidad poblacional de *M. incognita* en raíces de tomate en función del tipo de extracto vegetal y de la dosis aplicada, sin detectarse interacción significativa entre ambos factores (Tabla 6).

En función del factor extracto, los menores valores promedio de nematodos/10 g de raíz se registraron en plantas tratadas con el extracto de *E. arvense* (cola de caballo), el cual presentó una densidad poblacional media de 4.611,11 *M. incognita*/10 g de raíz, ubicándose en el grupo estadístico “b”. Este tratamiento mostró diferencias significativas únicamente respecto a los extractos con mayores densidades poblacionales agrupados en la letra “a”, mientras que compartió grupo estadístico con varios tratamientos de respuesta intermedia (“ab”). En contraste, los extractos de *D. ambrosioides* (paico), *S. lycopersicum* (tomate frutos) y *T. erecta* (marigold) registraron las mayores densidades poblacionales, con valores superiores a 22.000 *M. incognita*/10 g de raíz y comparables a los observados en el testigo absoluto (Figura 4).

Tabla 6. Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces de tomate tratadas con extractos vegetales a tres dosis en condiciones de invernadero.

Extractos	<i>M. incognita</i> /10 g de raíces			Media de extractos
	Dosis (mL/planta)			
	6	10	14	
1. <i>Morinda citrifolia</i> (noni)	8.916,67	7.733,33	4.475,00	7.041,67 ab
2. <i>Cnidoscolus chayamansa</i> (chaya)	15.000,00	6.166,67	5.075,00	8.747,22 ab
3. <i>Brassica oleracea</i> (repollo)	6.233,33	24.033,33	2.466,67	10.911,11 ab
4. <i>Solanum nigrum</i> (hierba mora)	11.500,00	7.200,00	4.466,67	7.722,22 ab
5. <i>Equisetum arvense</i> (cola de caballo)	4.866,67	4.667,67	4.300,00	4.611,11 b
6. <i>Piper aduncum</i> (matico)	13.600,00	9.466,67	10.833,33	11.300,00 ab
7. <i>Momordica charantia</i> (achochilla)	25.433,33	3.600,00	7.733,33	12.255,56 ab
8. <i>Porophyllum ruderale</i> (ruda silvestre)	7.466,67	7.217,67	13.433,33	9.372,22 ab
9. <i>Ricinus communis</i> (higuerilla)	11.600,00	13.000,00	3.000,00	9.200,00 ab
10. <i>Dysphania ambrosioides</i> (paico)	43.433,33	33.633,33	11.916,67	29.661,11 a
11. <i>Amaranthus dubius</i> (bledo)	12.000,00	8.766,67	6.000,00	8.922,22 ab
12. <i>Crotalaria spectabilis</i> (crotalaria)	30.666,67	17.133,33	7.133,33	18.311,11 ab
13. <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate hojas)	13.600,00	18.633,33	23.100,00	18.444,44 ab
14. <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate frutos)	33.633,33	13.733,33	20.267,67	22.544,44 a
15. <i>Tagetes erecta</i> (marigold)	42.833,33	29.333,33	14.500,00	28.888,89 a
Media de Dosis	18.718,19 a	13.621,24 ab	9.246,73 b	13.862,29
Media General				14.122,99
Testigo				25.855,56

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).
Fuente: Elaboración propia

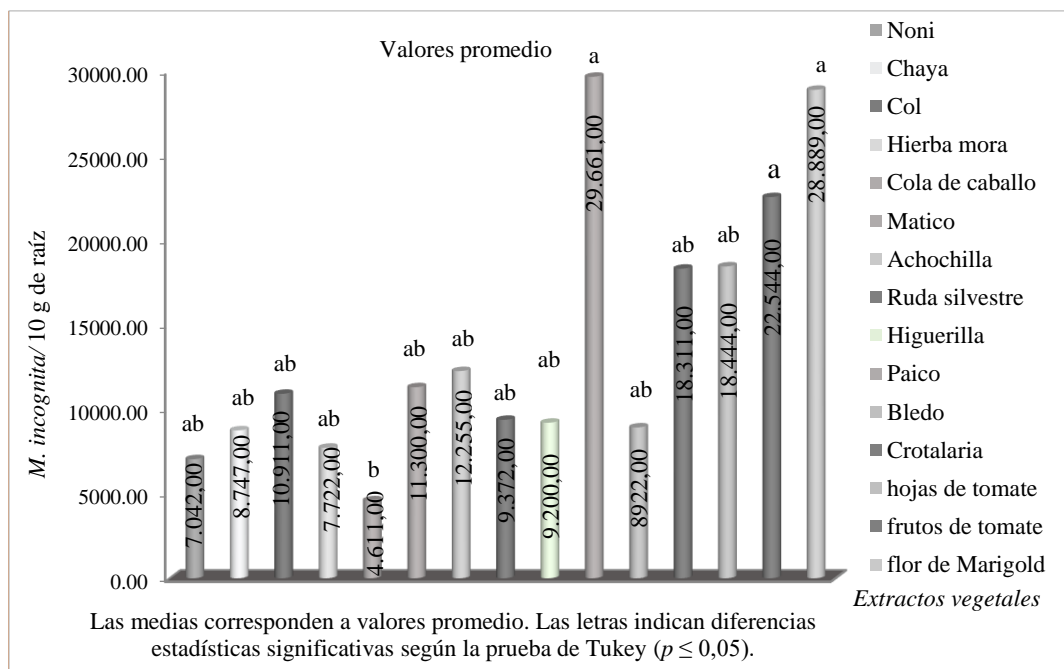


Figura 4. Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces de tomate tratadas con extractos vegetales bajo condiciones de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

El análisis del factor dosis mostró una clara respuesta dependiente de la concentración aplicada. La dosis 6 mL/planta registró la mayor densidad poblacional promedio (18.719,19 *M. incognita*/10 g de raíz), mientras que la dosis intermedia de 10 mL/planta presentó valores

moderadamente inferiores (13.621,00 *M. incognita*/10 g de raíz). La menor densidad poblacional se observó con dosis de 14 mL/planta (9.246,73 *M. incognita*/10 g de raíz), la cual se diferenció significativamente de la dosis más baja, evidenciando un mayor efecto nematocida a concentraciones superiores (Figura 5).

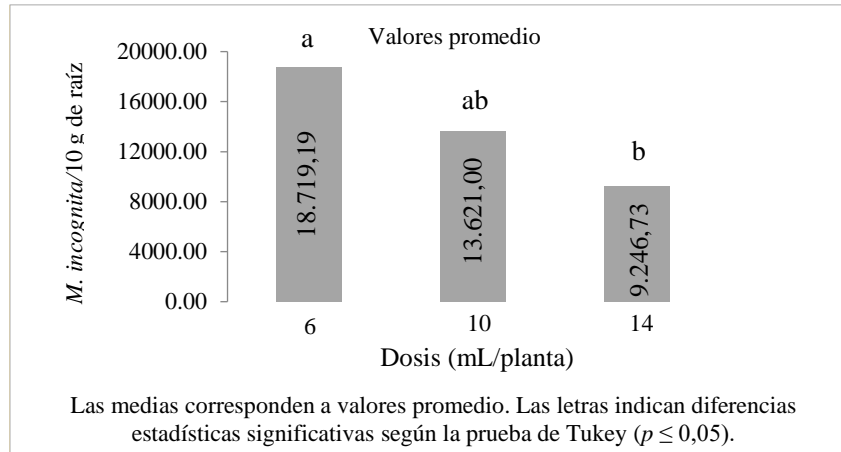


Figura 5. Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces de tomate con tres dosis de extractos vegetales en condiciones de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

En suelo, la densidad poblacional de *M. incognita* mostró un patrón coherente con el observado en raíces, evidenciándose un efecto significativo de la dosis aplicada (Tukey, $p \leq 0,05$). La dosis de 14 mL/planta registró las menores poblaciones de nematodos, mientras que la dosis de 6 mL/planta presentó los valores más elevados, mostrando un patrón dosis-dependiente bajo condiciones de invernadero (Figura 6).

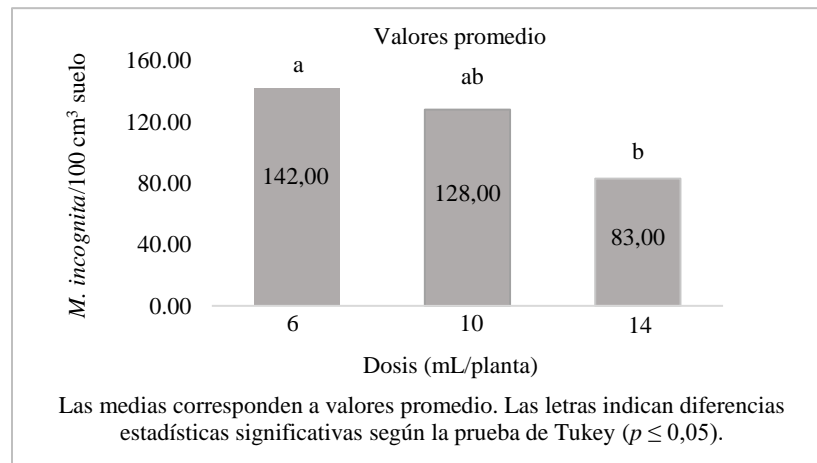


Figura 6. Densidad poblacional de *M. incognita* en suelo con tres dosis de extractos vegetales en condiciones de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

Resultados en condiciones de campo

Rendimiento en kg/ha

El análisis de varianza realizado en condiciones de campo no evidenció diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para las dosis, los esquemas de aplicación ni sus interacciones; sin embargo, el efecto principal del factor extracto fue significativo ($p \leq 0,05$), evidenciándose diferencias en los valores medios de rendimiento entre los extractos evaluados (Tabla 7).

Tabla 7. Rendimiento a la cosecha (kg/ha) en función de cuatro extractos vegetales, dos dosis y dos épocas de aplicación en campo.

Extractos + Aplicación	Rendimiento (kg/ha)		Media de extractos
	D1 (200 L ha ⁻¹)	D2 (400 L ha ⁻¹)	
Noni+ Aplicación 1 (Al trasplante)	15.914,47	14.941,97	
Noni+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	14.099,77	13.019,95	14.494,04 a
Chaya+ Aplicación 1 (Al trasplante)	9.877,67	10.067,16	
Chaya+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	12.769,74	10.857,51	10.893,02 b
Hierba mora+ Aplicación 1 (Al trasplante)	9.981,92	11.933,26	
Hierba mora+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	13.956,49	13.777,61	12.412,32 ab
Cola de caballo+ Aplicación 1 (Al trasplante)	8.900,42	10.978,72	
Cola de caballo + Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	10.296,51	9.843,19	10.004,71 b
Media de Dosis	11.974,62 n.s	11.927,42 n.s	
Media de Aplicaciones (1 y 2) (aplicación única vs. doble)	11.574,48 n.s	12.327,59 n.s	11.951,02
Media General			12.046,74
Testigo			13.578,28

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

n.s.: no significativo

Fuente: Elaboración propia

Si bien el análisis del factor aplicación no mostró diferencias significativas, se observó una tendencia numérica a mayores rendimientos cuando los extractos fueron aplicados en dos momentos (al trasplante y 20 días después) con un promedio de 12.327,59 kg/ha, en comparación con la aplicación única (11.574,48 kg/ha). El tratamiento testigo presentó un rendimiento de 13.578,28 kg/ha y no mostró diferencias significativas respecto al promedio general de los tratamientos evaluados ($p > 0,05$).

No obstante, al analizar el factor extracto, se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en los valores medios de rendimiento. El extracto de noni presentó el mayor rendimiento promedio de frutos (14.494,04 kg/ha), ubicándose en el grupo estadístico superior, seguido por el extracto de hierba mora. En contraste, los extractos a base de chaya y cola de caballo registraron los menores rendimientos, con valores promedio de 10.893,02 y 10.004,71 kg/ha, respectivamente, diferenciándose significativamente del extracto de noni.

El extracto de hierba mora (*S. nigrum*) presentó un rendimiento promedio intermedio de 12.412,32 kg/ha, sin diferenciarse estadísticamente del extracto de noni ni de los tratamientos de menor rendimiento, lo que indica una respuesta variable del cultivo en función del extracto aplicado (Figura 7).

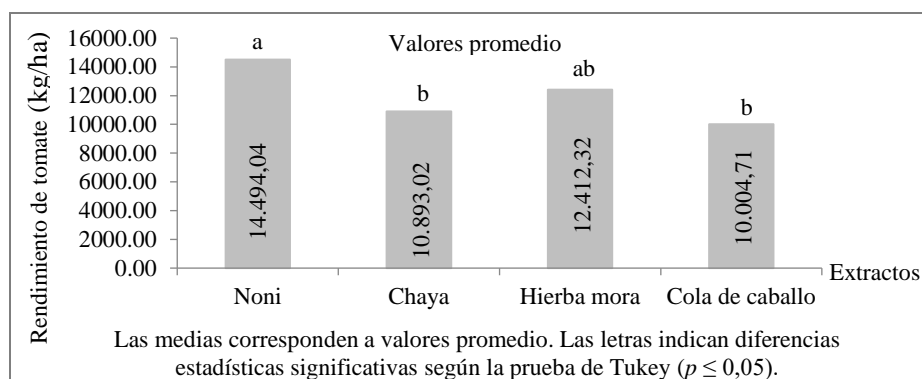


Figura 7. Rendimiento del cultivo de tomate (kg/ha) en función de cuatro extractos vegetales en condiciones de campo. Fuente: Elaboración propia

En conjunto, los resultados indican que, en condiciones de campo, el efecto de los extractos vegetales sobre el rendimiento del cultivo fue limitado bajo las condiciones evaluadas y estuvo influenciado principalmente por el tipo de extracto aplicado, más que por la dosis o el número de aplicaciones.

Densidad poblacional de M. incognita en raíces

El análisis estadístico evidenció que el factor aplicación ejerció un efecto significativo sobre la densidad poblacional de *M. incognita* en raíces ($p \leq 0,05$), mientras que el factor dosis (200 vs. 400 L ha⁻¹) y las interacciones entre los factores evaluados no mostraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 8).

No obstante, se observaron valores numéricamente menores en algunos tratamientos, particularmente en aquellos tratados con el extracto de cola de caballo aplicado al trasplante tanto a 200 como a 400 L ha⁻¹. Este tratamiento registró la menor densidad poblacional promedio en raíces (537,94 *M. incognita*/10 g de raíz), aunque la variabilidad observada limitó la detección de diferencias estadísticas significativas entre extractos. Los extractos de noni, chaya y hierba mora presentaron valores intermedios y comparables entre sí, lo que sugiere que, bajo condiciones de campo, la respuesta del nematodo al manejo con extractos vegetales estuvo influenciada por factores ambientales y por la persistencia de los compuestos bioactivos en el suelo.

Tabla 8. Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces en función de cuatro vegetales, dos dosis y dos épocas de aplicación en campo.

Extractos + Aplicación	<i>M. incognita</i> /10 g de raíz		Media de extractos
	D1 (200 L ha ⁻¹)	D2 (400 L ha ⁻¹)	
Noni+ Aplicación 1 (Al trasplante)	1.609,13	940,88	1.833,12
Noni+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	1.550,82	3.232,44	
Chaya+ Aplicación 1 (Al trasplante)	658,00	583,00	1.576,75
Chaya+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	3.194,00	1.872,00	
Hierba mora+ Aplicación 1 (Al trasplante)	799,88	1.705,63	1.465,95
Hierba mora+ Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	1.637,07	1.721,19	
Cola de caballo+ Aplicación 1 (Al trasplante)	230,00	180,00	537,94
Cola de caballo + Aplicación 2 (Al trasplante y 20 días después)	727,94	1.013,82	
Media de Dosis	1.300,86 n.s.	1.406,12 n.s.	
Media de Aplicaciones (1 y 2) (aplicación única vs. doble)	838,25 b	1.868,66 a	1.353,49
Media General			1.516,64
Testigo			4.127,00

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).
n.s.: no significativo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al esquema de aplicación, la aplicación única de los extractos registró una menor densidad poblacional promedio (838,25 *M. incognita*/10 g de raíz) en comparación con la aplicación doble (1.868,66 *M. incognita*/10 g de raíz), diferenciándose significativamente entre sí (Figura 8). Similares resultados se obtuvieron con la densidad poblacional de *M. incognita* observada en suelo, donde la aplicación al trasplante presentó los valores más bajos (Figura 9).

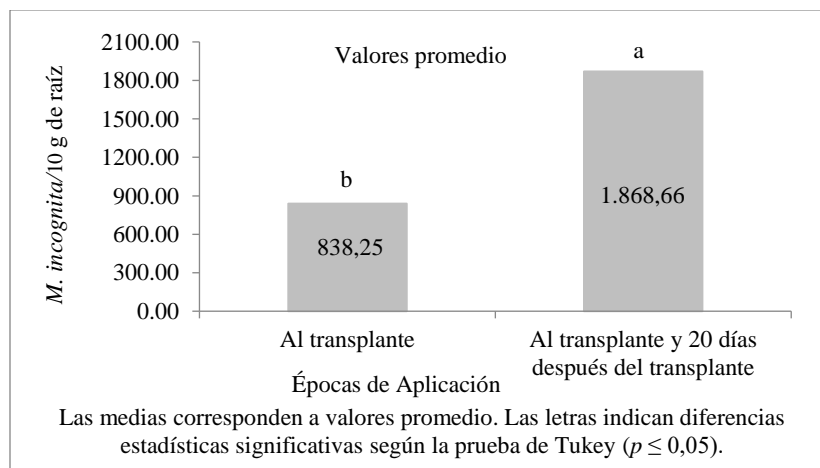


Figura 8. Densidad poblacional de *M. incognita* en raíces con dos épocas de aplicación en condiciones de campo.

Fuente: Elaboración propia

En general, los resultados obtenidos en condiciones de campo indican que la reducción de la población de *M. incognita* en raíces estuvo influenciada principalmente por el esquema de aplicación, más que por la dosis empleada o el tipo de extracto, destacándose el extracto de

cola de caballo como la alternativa con comportamiento numéricamente más favorable del manejo del nematodo bajo las condiciones evaluadas.

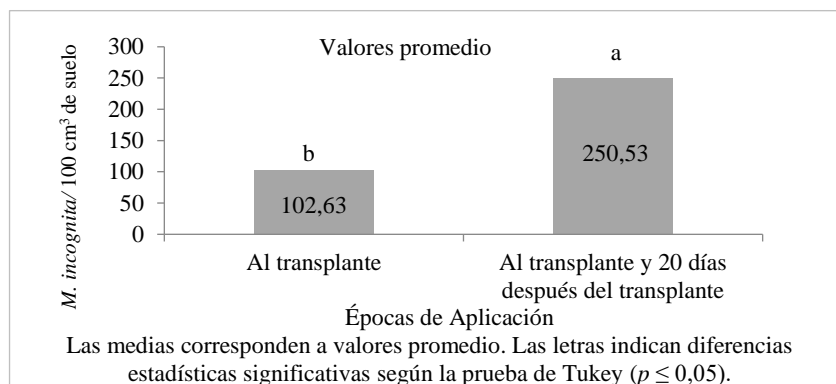


Figura 9. Densidad poblacional de *M. incognita* en suelo con dos épocas de aplicación en condiciones de campo.

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la fase *in vitro* evidencian que varios extractos vegetales presentan un alto potencial nematicida frente a *M. incognita*, alcanzando hasta un 100 % de mortalidad de juveniles J2 en determinados tratamientos, particularmente aquellos derivados de hojas, seguidos por tallos y frutos. Estos hallazgos sugieren que los extractos vegetales constituyen una fuente relevante de metabolitos secundarios con acción directa sobre los estadios infectivos del nematodo.

La elevada susceptibilidad de los juveniles J2 a metabolitos de origen vegetal concuerda con reportes previos que destacan el potencial nematicida de compuestos secundarios como fenoles, alcaloides, terpenoides y glucosinolatos, los cuales afectan la supervivencia, movilidad y viabilidad de nematodos bajo condiciones controladas (Sikder & Vestergard, 2020; Mwamula et al., 2022). De manera similar, Kabdal et al. (2024) utilizando extractos acuosos de especies tropicales reportaron mortalidades superiores al 90 % en condiciones experimentales controladas, valores comparables a los observados en el presente estudio.

La relación dosis-respuesta observada *in vitro* se explica por el incremento en la disponibilidad de metabolitos activos a concentraciones más elevadas, capaces de interferir con la permeabilidad de la cutícula, la transmisión nerviosa y el metabolismo energético del nematodo. Estudios previos indican que compuestos como flavonoides, alcaloides y terpenos inducen estrés oxidativo, inhiben enzimas claves del sistema neuromuscular y afectan la respiración mitocondrial, conduciendo a la inmovilización y muerte de los juveniles (Ntalli

& Caboni, 2012; Desaeger et al., 2020). Este comportamiento concuerda con lo señalado por Sánchez et al. (2006), quienes indican que la respuesta del nematodo puede variar entre efectos inhibitorios y reversibles según la concentración aplicada.

La presencia de efectos nematostáticos en algunos extractos, caracterizada por una inmovilización reversible tras el periodo de recuperación en agua limpia, sugiere la acción de compuestos con actividad transitoria. Este comportamiento ha sido documentado en extractos acuosos de *Peganum harmala* L., los cuales inducen inmovilización reversible de juveniles de *Meloidogyne* antes de que ocurra mortalidad irreversible, con efectos dependientes de la concentración y del tiempo de exposición (Mayad et al., 2019).

En relación con el órgano vegetal, los extractos elaborados a partir de hojas presentaron la mayor proporción de actividad nematocida, lo que puede atribuirse a que este órgano constituye uno de los principales sitios de biosíntesis y acumulación de metabolitos defensivos. Estudios previos evidencian que los extractos foliares presentan mayor diversidad y concentración de compuestos bioactivos en comparación con otros órganos vegetales (Mwamula et al., 2022; Kabdal et al., 2024), lo cual coincide con la distribución observada en el presente estudio.

Bajo condiciones de invernadero, los extractos de frutos de *M. citrifolia*, hojas de *C. chayamansa*, hojas de *S. nigrum* y hojas *E. arvense* mostraron índices de agallamiento inferiores a los registrados en el testigo absoluto. Entre los tratamientos evaluados, *M. citrifolia* y *E. arvense* presentaron los valores promedio más bajos, ubicándose en el grupo estadístico inferior según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), lo que evidencia una mayor eficacia en la mitigación del daño radicular inducido por *M. incognita*. De forma concordante, estudios previos han reportado que especies como *S. nigrum* y *D. stramonium* poseen actividad nematocida significativa sobre juveniles del nematodo a nivel experimental, respaldando el potencial de plantas silvestres como alternativas biológicas eficaces (Oplos, et al., 2018).

En cuanto a la densidad poblacional de *M. incognita* en raíces, *E. arvense* registró los menores valores promedio y fue el único extracto que se diferenció estadísticamente de los tratamientos con mayores densidades poblacionales. Asimismo, se evidenció una clara tendencia dosis-dependiente, observándose menores poblaciones con la dosis de 14 mL/planta (Tukey, $p \leq 0,05$). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Amulu et al.

(2025) quienes evidenciaron una reducción significativa en la eclosión de huevos de *M. incognita* mediante extractos acuosos de *E. arvense*, atribuida a la acción de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios, lo cual podría interferir con la penetración, el establecimiento y la reproducción del nematodo en el sistema radical (Ntalli & Caboni, 2012; Sikder y Vestergard, 2020).

En condiciones de campo, aunque se esperaría un mayor efecto con aplicaciones repetidas, la aplicación única de los extractos se asoció con menores densidades poblacionales de *M. incognita* en raíces en comparación con la aplicación doble. Este comportamiento podría relacionarse con la baja persistencia de los compuestos bioactivos en el suelo y su degradación por factores abióticos y microbiológicos, de modo que aplicaciones adicionales no necesariamente se traducen en un efecto acumulativo detectable. Asimismo, el momento de evaluación al final del ciclo del cultivo pudo no coincidir con la ventana temporal de máxima eficacia posterior a la segunda aplicación, tal como señalan Mnyambo et al. (2024). El extracto de *E. arvense* aplicado al trasplante registró las menores densidades poblacionales del nematodo en raíces, lo que podría asociarse a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides con reconocida actividad nematicida, así como a la acción de componentes minerales como la sílice, que contribuyen al fortalecimiento estructural de los tejidos radicales (Ntalli & Caboni, 2012; Kabdal et al., 2024). Asimismo, la mayor eficacia de la aplicación temprana concuerda con reportes que indican que la interferencia en los estadios iniciales del ciclo del nematodo es clave para limitar su establecimiento en campo (García et al., 2025).

En cuanto al rendimiento del cultivo, aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre dosis y esquemas de aplicación, el extracto de *M. citrifolia* mostró una tendencia a mayores rendimientos. Este comportamiento podría estar asociado a efectos bioestimulantes previamente reportados para esta especie, relacionados con la mejora del crecimiento vegetal y la tolerancia al estrés biótico (Dias et al., 2024). No obstante, bajo las condiciones evaluadas, el impacto de los extractos vegetales sobre el rendimiento fue limitado y dependió del tipo de extracto aplicado.

En conjunto, los resultados respaldan que la eficacia de los extractos vegetales depende de la especie vegetal, el órgano utilizado, la concentración y el momento de aplicación. Si bien la variabilidad observada es consistente con los desafíos de estandarización y reproducibilidad

señalados por Mwamula et al. (2022), los hallazgos del presente estudio evidencian que los extractos vegetales constituyen una alternativa sostenible, ambientalmente compatible y técnicamente viable, con potencial de integración en programas de manejo integrado de *M. incognita* en el cultivo de tomate.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las fases de laboratorio, invernadero y campo, se concluye lo siguiente:

- La evaluación de extractos vegetales de 30 especies permitió identificar alternativas con alto potencial nematicida frente a *M. incognita*. Entre ellas, los extractos de *M. citrifolia*, *C. chayamansa*, *S. nigrum* y *E. arvense* se destacaron por su elevada y consistente eficacia nematicida en condiciones *in vitro*, lo que justificó su selección para evaluaciones posteriores bajo condiciones de invernadero y campo.
- La actividad nematicida dependió de la especie vegetal, el órgano utilizado y la concentración aplicada, observándose una mayor proporción de respuestas letales con extractos derivados de hojas.
- En invernadero se evidenció una respuesta dosis-dependiente, con reducciones significativas del índice de agallamiento y de la densidad poblacional del nematodo, particularmente con la dosis de 14 mL/planta.
- En condiciones de campo, el esquema de aplicación influyó significativamente en la densidad de *M. incognita* en raíces, registrándose menores poblaciones con la aplicación única. Asimismo, el extracto de cola de caballo (*E. arvense*) aplicado al trasplante mostró los valores numéricamente más bajos de densidad poblacional en raíces, aunque la variabilidad observada limitó la detección de diferencias entre extractos.
- Aunque el rendimiento no presentó diferencias significativas para dosis y épocas de aplicación, el extracto de *M. citrifolia* registró los mayores valores promedio de rendimiento, lo que sugiere un posible efecto bioestimulante complementario bajo las condiciones evaluadas.
- En conjunto, los extractos pertenecientes a las familias Rubiaceae, Euphorbiaceae, Solanaceae y Equisetaceae representan una alternativa sostenible y técnicamente viable para el manejo integrado de *M. incognita* en tomate; sin embargo, se requieren estudios

adicionales orientados a la estandarización, formulación y validación a escala productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amulu, L.U., Okafor, L. O., Amanze, C. T., & Osuagwu C. O. (2025). Effects of water extracts of *Equisetum arvense* and *Gongronema latifolium* leaves on egg hatching of *Meloidogyne incognita*. *UAES Journal of Innovative Sciences and Technology for Development*, 3(1), 196–201. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16888038>
- Avilés-Gómez, J., Cristóbal-Alejo, J., Andrés, M. F., González-Coloma, A., Carnevali, G., Pérez-Brito, D., Moo-Koh, F. A., & Gamboa-Angulo, M. (2022). Nematicidal screening of aqueous extracts from plants of the Yucatan Peninsula and ecotoxicity. *Plants*, 11(16), 2138. <https://doi.org/10.3390/plants11162138>
- Chitwood, D. J. (2002). Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 221–229. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045>
- Desaeger, J., Watson, T. T., & Brito, J. A. (2020). Challenges and opportunities for nematode management in organic vegetable production. *Agronomy*, 10(9), 1326. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091326>
- Dias, B. L., Sarmiento, R. A., Venzon, M., Jumbo, L. O. V., dos Santos, L. S. S., de Souza Moura, W., Mourão, D. S. C., Fernandes, P. R. S., Neitzke, T. R., Oliveira, J. V. A., Dias, T., Dalcin, M. S., Oliveira, E. E., & Santos, G. R. (2024). *Morinda citrifolia* essential oil: A plant resistance biostimulant and a sustainable alternative for controlling phytopathogens and insect pests. *Biology*, 13(7), 479. <https://doi.org/10.3390/biology13070479>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *FAOSTAT Statistical Databases*. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- García, Á., Ordóñez, Y. F., Vargas-Tierras, Y., Sanmiguel, J., Vásquez-Castillo, W., & Viera-Arroyo, W. (2025). The use of botanical extracts for the control of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) in yellow pitahaya. *Horticulturae*, 11(3), 268. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11030268>

- Hamaguchi, T., Sato, K., Vicente, C.S. L & Hasegawa, K. (2019). Nematicidal actions of the marigold exudate α -terthienyl: Oxidative stress-inducing compound penetrates nematode hypodermis. *Biology Open*, 8(4), bio038646. <https://doi.org/10.1242/bio.038646>
- Kabdal, T., Karakoti, H., Nagarkoti, K., Prakash, O. & Kumar, S. (2024). The rise of plant-based nematicides: A sustainable solution for crop protection. In R. Kumar, M. de Oliveira, E. de Aguiar Andrade, D. Suyal & R. Soni (Eds.), *Biorationals and Biopesticides: Pest Management* (p261–280). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111204819-013>
- Martinotti, M. D., Castellanos, S. J., González, R., Camargo, A., & Fanzone, M. (2016). Efecto nematicida de extractos de ajo, orujo de uva y alperujo de aceituna sobre *Meloidogyne incognita* en vid cv. Chardonnay. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(1), 211–224. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382846012003.pdf>
- Mayad, E. Hassan., Basaid, K., Furze, J. N., Heimeur, B., Senhaji, B., Idrissi Hassani, L. M., Chebli, B., Ferji, Z., & Mateille, T. (2019). Reversible nematostatic effect of *Peganum harmala* L. (Nitrariaceae) on *Meloidogyne javanica*. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 6(1), 29–33. <https://doi.org/10.12921/jas.v6i1.14917>
- Mnyambo, N. M., Rantho, L. P., Dube, Z. P., & Timana, M. (2024). Timing of plant extracts application in the management of *M. incognita* on tomato plants. *International Journal of Plant Biology*, 15(4), 1108–1117. <https://doi.org/10.3390/ijpb15040077>
- Mwamula, A. O., Kabir, M. F., & Lee, D. (2022). A Review of the potency of plant extracts and compounds from key families as an alternative to synthetic nematicides: History, efficacy, and current developments. *Plant Pathology Journal*, 38(2), 53–77. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.12.2021.0179>
- Nelson, G., Múnera, G. E., & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). (2003). Efecto de extractos de diez plantas sobre la actividad de juveniles de *M. incognita* raza 2 en condiciones de laboratorio. *Nematropica*, 33, 112–113.
- Ntalli N. G. & Caboni, P. (2012). Botanical nematicides. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(40), 9929–9940. <https://doi.org/10.1021/jf303107j>

- Oplos, C., Elo, K., Spiroudi, U-M., Pierluigi, C., & Nikoletta, N. (2018). Nematicidal weeds, *Solanum nigrum* and *Datura stramonium*. *Journal of Nematology*, 50(3), 317–328. DOI: [10.21307/jofnem-2018-017](https://doi.org/10.21307/jofnem-2018-017)
- Petrikovszki, R., Tóth, F., & Nagy, P. I. (2023). Aqueous Extracts of organic mulch materials have nematicide and repellent effect on *Meloidogyne incognita* infective juveniles: A laboratory study. *Journal of Nematology*, 55(1), 20230037. doi: [10.2478/jofnem-2023-0037](https://doi.org/10.2478/jofnem-2023-0037)
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F.J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J.-P., & Lutt, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Regnault, C. R., Bernard, J. R., & Vincent, C. (2004). Plantas nematicidas y plantas resistentes a los nematodos. En C. Regnault-Roger, B. J. R. Philogene & C. Vincent (Eds.), *Biopesticidas de origen vegetal* (pp. 191–234). Lavoiser.
- Sánchez, V., Crozzoli, R. & Greco, N. (2006). Uso de *Calotropis procera* para el control de *Meloidogyne incognita* en pepino. *Fitopatología Venezolana*, 19, 5–9. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20073220188>
- Sikder, M. M., & Vestergard, M. (2020). Impacts of root metabolites on soil nematodes. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1792. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01792>
- Triviño, C., Gowen, S., Trudgill, D., & Fargette, M. (1998). Densidades poblacionales de nematodos fitoparásitos en campos hortícolas del Ecuador. *Nematropica*, 28(2), 148–153.
- Vimala, G., Machal, M., Rana, V. S., Gowda, A. P., Kumar, V., Shakil, N. A., Pervez, R., Singh, A. K., Kumar, R., Jaiman, M., & Pankaj (2025). Effect of botanicals, organic nutrient sources, and bio-control agents on root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) infecting tomato. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1602326. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1602326>
- Vinueza, S., Crozzoli, R. & Perichi, G. (2006). Evaluación *in vitro* de extractos acuosos de plantas para el control del nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. *Fitopatología Venezolana*. 19(2), 26–31. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20073220189>