

MUNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**Identificación y ocurrencia de fitonematodos residentes de algunas plantas
medicinales en Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Artículo Científico para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Agronomía

Estudiante

Bach. Marcelo de Jesús Campos Ruíz

Tutor

M. Sc. Wálter Peraza Padilla

Campus Omar Dengo

Heredia, 2025

Identificación y ocurrencia de fitonematodos residentes de algunas plantas medicinales en Costa Rica

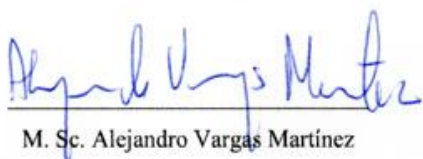
Marcelo de Jesús Campos Ruíz

Trabajo final de graduación modalidad artículo científico sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

Tribunal Examinador



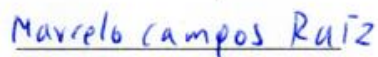
M. Sc. Andrés Alpízar Naranjo
Decano Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar



M. Sc. Alejandro Vargas Martínez
Representante de la Dirección de la Escuela de Ciencias Agrarias



M. Sc. Walter Peraza Padilla
Director de Tesis



Marcelo de Jesús Campos Ruíz
Sustentante

DEDICATORIA

A Dios, por darme paciencia y perseverancia.

A mis padres, por brindarme todo su apoyo para que pudiera concluir mis estudios profesionales.

A mi angelita en el cielo, que significa mucho para mí y es una de las razones por las que más me esfuerzo en salir adelante.

A mis mejores amigos, por apoyarme en los momentos más difíciles y animarme a continuar sin rendirme.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor M.Sc. Wálter Peraza Padilla por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación en su laboratorio y guiarme en el proceso. Al Lic. Roy Ademar Artavia Carmona y al Lic. Jefferson Aráuz Badilla por apoyarme y aconsejarme durante la realización del proyecto.

A los profesores de la Escuela de Ciencias Agrarias, por la formación brindada a lo largo de la carrera de Ingeniería Agronómica.

A la Universidad, por ser la institución en la que he podido cursar y concluir mis estudios profesionales.

Tabla de Contenido

Introducción general.....	6
Identificación y ocurrencia de fitonematodos residentes de algunas plantas medicinales en Costa Rica	1
Introducción	2
Metodología	4
Resultados y discusión	10
Conclusiones	17
Agradecimiento	18
Referencias	18

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las plantas medicinales han tenido importancia en nuestra sociedad desde tiempos antes de Cristo, donde el ser humano atribuyó propiedades medicinales en diversas plantas que tenía en su entorno. De esta manera, se solucionaron problemas como la tos, malestares estomacales, dolores de cabeza, alergias entre otras afecciones (Villanueva-Solís et al., 2020).

Hoy día se ha generado un mayor interés en el uso de dichas plantas debido a la búsqueda de remedios naturales que sean beneficiosos a la salud humana sin efectos adversos como suele suceder con químicos farmacéuticos usados en la medicina moderna (García, 2021; Palacios, 2014). Actualmente la pandemia generada por el SARS-Cov-2 (COVID-19) ocasionó que las personas se mantuvieran aisladas por mucho tiempo lo que generó el desarrollo enfermedades como estrés, depresión y ansiedad. En este periodo, comenzó la búsqueda de remedios caseros o extractos que pudiesen ayudar a desarrollar bienestar en las personas, además de explorar una dieta más saludable con tal de no verse perjudicados por enfermedades como el COVID-19 (PROCOMER, 2021).

La fabricación de los extractos de plantas es uno de los principales usos en el mercado de plantas medicinales, donde se aprovecha el ingrediente activo extraído tanto de follaje, frutos o raíces de la planta al que se le atribuyen propiedades medicinales. Durante el año 2020 el mercado de este sector se valoró en \$35.015 millones de dólares y se espera un aumento que alcance los 53.694 millones de dólares en el año 2028 (Ramírez, 2020).

Del mercado mundial de plantas medicinales, Estados Unidos lidera la exportación con 11 212 millones de dólares lo que representa un 32%, el continente europeo principalmente con los países Alemania, Francia, e Italia con 10 700 millones de dólares se ubica en el segundo lugar con un 31%. Luego se encuentra Asia con 9 517 millones con un aporte del 27%. En el caso de América del Sur aporta 2 124 millones de dólares con 6%, por último, Medio Oriente y África exportan 1.462 millones con un 4% (Ramírez, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el uso de las plantas medicinales ha cobrado una importancia en el 80% de la población, especialmente en países en vías de desarrollo con mucha diversidad de especies. Asimismo, en el caso de la población norteamericana, utiliza estas plantas es de hasta un 60%, en Pakistán un 80% y China un 40%,

teniendo un uso más que todo preventivo y en ocasiones un efecto inmediato para aliviar una enfermedad (Golgerg, n.d.).

El mercado de plantas medicinales en nuestro país ha aumentado del 2011 al 2016 un 3% donde alcanzó ganancias de \$22 millones, aunque solo representa un 0.05% del mercado mundial. Se estima que el 92,3% de ventas en el país, fueron destinadas para calmar la tos, resfriados y alergias. Como dato curioso, en Costa Rica la medicina tradicional a base de plantas medicinales lo realizan principalmente ciudadanos de ascendencia afroamericana e indígena (Ulloa, 2017).

Una de las plagas que pueden ocasionar graves daños en cultivos son los nematodos fitoparásitos. En general son organismos multicelulares con cuerpo vermiforme como el de un gusano, pertenecen al grupo de animales más abundante del planeta, encontrándose en la gran mayoría de hábitats, entre ellos hay nematodos bacteriófagos, micófagos, predadores de otros nematodos, parásitos de insectos y fitoparásitos (Talavera, 2003).

Adicionalmente, son microorganismos transparentes, se caracterizan por tener una estructura llamada estilete en su aparato bucal el cual le permite penetrar en las raíces de las plantas y alimentarse del contenido celular (Sikora y Bridge, 2005).

Como consecuencia de la afectación por esta plaga, las plantas pueden presentar diversas patologías, ya que las heridas permiten la entrada de enfermedades al sistema de la planta, u ocasionan mal desarrollo como malformaciones o pobre crecimiento radicular (Bauer et al., 2018). El daño mecánico realizado por nematodos suele ser pequeño; sin embargo, como se mencionó anteriormente el problema radica en que dichas heridas al ser afectadas por las enzimas del nematodo y posibles patógenos que ingresaron a la herida, ocasiona descomposición, debilitamiento de las raíces, arrugamiento de las hojas o la hipertrofia que genera un gran número de raíces laterales o agallas “hiperplasia” (Guzmán et al., 2011).

Si bien es cierto que las plantas medicinales son atacadas por diversos nematodos fitoparásitos, en Costa Rica no existe información recopilada y registrada de investigaciones o estudios acerca de dichas interacciones. Al no contar con esta información se puede confundir los síntomas de enfermedad con otras patologías como deficiencias nutricionales, virus, hongos o plagas entomológicas, entre otros. En este sentido se hace necesario identificar por primera vez en Costa Rica, cuáles nematodos pueden estar atacando con frecuencia estas plantas y proponer estrategias para el combate de estas plagas. Por lo anterior el objetivo de esta investigación será determinar la presencia y densidad poblacional de nematodos fitoparásitos asociados a diferentes

plantas medicinales con el fin de constatar por primera vez en Costa Rica si estos microorganismos tienen alguna relación directa en el desarrollo y crecimiento de estas plantas y así obtener información valiosa que permita tomar decisiones para su manejo futuro.



Identificación y ocurrencia de fitonematodos residentes de algunas plantas medicinales en Costa Rica¹

Identification and occurrence of resident phytonematodes of some medicinal plants in Costa Rica

Marcelo Campos-Ruíz¹, Walter Peraza-Padilla²

Marcelo Campos Ruíz
Bachiller

marcelo.campos.ruiz@est.una.ac.cr

Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias. Laboratorio de Nematología, Heredia,
Costa Rica. Apartado Postal 86-3000
<https://orcid.org/0009-0007-5401-0182>

Walter Peraza-Padilla
Master

walter.peraza.padilla@una.cr

Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Agrarias. Laboratorio de Nematología, Heredia,
Costa Rica. Apartado Postal 86-3000
<https://orcid.org/0000-0003-4651-5555>

Resumen

En Costa Rica no existe información sobre la distribución y abundancia de nematodos fitoparásitos (NF) y de vida libre (VL) en plantas medicinales. El objetivo de este estudio fue caracterizar, la presencia y densidad poblacional de NF y de VL residentes en plantas medicinales de uso común. Se recolectaron 60 muestras de suelo en las provincias de San José (n=5), Alajuela (7), Heredia (35), Cartago (11) y Guanacaste (2), entre agosto de 2023 y junio de 2024. Las muestras se procesaron por el método de centrifugación y flotación en solución azucarada y los nematodos se identificaron con claves pictóricas y microscopía óptica a 40X. Se determinó la frecuencia de ocurrencia (FO), la densidad promedio y la dominancia (dominante [D], no dominante [ND] y ocasional [O]). Se identificaron 15 géneros y tres especies de nematodos fitoparásitos. Los nematodos categorizados como dominantes (D) fueron: *Meloidogyne* (90%), *Tylenchus* (87%), *Aphelenchus* (80%), *Helicotylenchus* (75%), *Aphelenchoides* (68%) y *Rotylenchulus* (53%). Como no dominantes (ND) se registraron: *Hemicycliophora* (43%), *Criconema* (30%) y *Mesocriconema* (28%). Los ocasionales (O) incluyeron: *Pratylenchus* (20%), *Trichodorus* (23%), *Scutellonema* (17%), *Mesocriconema sphaerocephalum* (10%), *Crossonema* (7%), *Xiphinema* (7%), *Rotylenchus* (7%), *Hemicriconemoides strictathecatus* (5%) y *Longidorus laeviscapitatus* (3%). El análisis de correspondencias mostró asociación y alta dominancia de *Meloidogyne* en salvia piña (77%), jengibre (67%) y tilo (50%); *Helicotylenchus* en sábila (48%); *Rotylenchulus* en juanilama (34%) y orégano (32%); y *Hemicycliophora* en apazote (50%) y hierba luisa (51%). Este estudio representa el primer registro de nematodos residentes en plantas medicinales en Costa Rica y sienta las bases para estrategias sostenibles de manejo fitosanitario en cultivos medicinales.

¹ Esta investigación formó parte de los resultados del trabajo final de graduación de Licenciatura en Agronomía del primer autor. Universidad Nacional (UNA). Costa Rica.

Palabras clave: Nematodos fitoparásitos, plantas medicinales, diversidad nematológica, manejo fitosanitario.

Abstract

In Costa Rica, no information is currently available on the distribution and abundance of plant-parasitic (NF) and free-living (FLN) nematodes associated with medicinal plants. This study aimed to characterize the presence and population density of PPN and FLN associated with commonly used medicinal plants. A total of 60 soil samples were collected from the provinces of San José (n=5), Alajuela (7), Heredia (35), Cartago (11), and Guanacaste (2) between August 2023 and June 2024. Samples were processed using the centrifugal flotation method with a sugar solution, and nematodes were identified using pictorial keys and light microscopy at 40X. Frequency of occurrence (FO), average density, and dominance (dominant [D], non-dominant [ND], and occasional [O]) were determined. Fifteen genera and three species of PPN were identified. Dominant genera included: *Meloidogyne* (90%), *Tylenchus* (87%), *Aphelenchus* (80%), *Helicotylenchus* (75%), *Aphelenchoides* (68%), and *Rotylenchulus* (53%). Non-dominant genera were: *Hemicycliophora* (43%), *Criconema* (30%), and *Mesocriconema* (28%). Occasional genera included: *Pratylenchus* (20%), *Trichodorus* (23%), *Scutellonema* (17%), *Mesocriconema sphaerocephalum* (10%), *Crossonema* (7%), *Xiphinema* (7%), *Rotylenchus* (7%), *Hemicriconemoides strictathecatus* (5%), and *Longidorus laevicapitatus* (3%). Correspondence analysis revealed associations and high dominance of *Meloidogyne* in pineapple sage (77%), ginger (67%), and linden (50%); *Helicotylenchus* in aloe vera (48%); *Rotylenchulus* in juanilama (34%) and oregano (32%); and *Hemicycliophora* in epazote (50%) and lemon verbena (51%). This constitutes the first detailed report of nematodes resident with medicinal plants in Costa Rica and provides a foundation for developing sustainable phytosanitary management strategies in medicinal crop systems.

Keywords: Plant-parasitic nematodes, medicinal plants, nematode diversity, phytosanitary management.

Introducción

Las plantas medicinales se han utilizado para el combate de enfermedades y sus síntomas por nuestros ancestros durante eras anteriores a Cristo (Villanueva-Solís et al., 2020). Actualmente, se utilizan los remedios naturales como alternativa para los medicamentos farmacéuticos que suelen tener efectos adversos. Las farmacéuticas elaboran productos a base de extractos o ingredientes activos extraíbles del follaje, frutos y raíces de las plantas. En 2020, el mercado fue valorado en \$35.015 millones de dólares y se espera un aumento que alcance los 53.694 millones de dólares en el año 2028 (García, 2021; Palacios, 2014; Ramírez, 2020). El brote pandémico del SARS-Cov-2 (COVID-19) permitió la búsqueda y práctica de extractos naturales con tal suprimir los síntomas y mejorar la calidad de vida de las personas en todo el mundo (Maldonado et al., 2020; PROCOMER, 2021; Yang et al., 2020).

A nivel internacional el mercado de las plantas medicinales ha crecido de forma sostenida y se ha consolidado como un nicho en expansión. Hasta la fecha, se han

documentado aproximadamente 25.000 especies de plantas con uso medicinal (Schippmann et al., 2002). En este contexto, África un país con gran biodiversidad biológica, donde se han utilizado tradicionalmente miles de especies con fines curativos. Se estima que el continente alberga alrededor de 5000 plantas medicinales con potencial económico y la industria farmacéutica internacional ha mostrado un creciente interés en la materia prima vegetal que allí se produce para el desarrollo de nuevos fármacos (Dzoyem et al., 2013). En Costa Rica, existen investigaciones centradas en la búsqueda de metabolitos secundarios bioactivos con interés fitoquímico, con el objetivo de desarrollar productos fitoterapéuticos como tinturas, jarabes, cremas, cosméticos, alimentos y cápsulas de origen vegetal (Rosales-López et al., 2019).

A nivel nacional el mercado de plantas medicinales ha aumentado del 2011 al 2016 un 3% donde alcanzó ganancias de \$22 millones, aunque solo representa un 0.05% del mercado mundial. Costa Rica cuenta con 500 especies identificadas de las cuales, 406 son utilizadas (Ulloa, 2017). Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Sánchez-Brenes y Arboleda-Julio en 2019, determinaron que el 21% de las plantas medicinales del país tienen propiedades activas, muchas de las cuales pertenecen al grupo de plantas aromáticas. Estas especies no solo poseen un valor terapéutico, sino que también desempeñan un papel importante en la gastronomía costarricense debido a su relevancia cultural y productiva.

Como toda planta vascular, las especies medicinales sufren el ataque de enfermedades y plagas, entre estas últimas, los nematodos fitoparásitos los cuales son pequeños microorganismos vermiformes que pertenecen al phylum nematoda. Esta plaga puede provocar una disminución en la calidad de los cultivos, amarillamiento del follaje, la entrada de enfermedades, agallas en el sistema radicular y hasta efectos similares a las deficiencias nutricionales (Abtahi y Bakooie, 2017).

A nivel global, los análisis sobre nematodos fitoparásitos asociados a plantas medicinales son escasos y la información disponible es limitada. No obstante, investigaciones realizadas en países como Vietnam, Irán, Brasil, India, Rusia, la antigua Yugoslavia y China, han reportado la presencia de algunos fitonematodos en cultivos de especies medicinales y aromáticas como té, tomillo, menta, geranio, albahaca, entre otras. En estos trabajos se han identificado nematodos pertenecientes a géneros de importancia agrícola como *Heterodera*, *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Tylenchus*, *Criconea*,

Hemicriconemoides, *Criconemoides*, *Rotylenchulus*, *Pratylenchus*, *Xiphinema* y *Aphelenchus*, entre otros (Abtahi y Bakooie, 2017; Gnanapragasam y Mohotti, 2005; Gupta y Mondal, 2018; Nars et al., 2015; Nguyen et al., 2019; Silva et al., 2020).

A pesar de que las plantas medicinales han adquirido gran importancia en nuestro país debido a sus diferentes principios activos para la salud y su uso para fabricar productos con propiedades curativas, no existe a la fecha, información respecto a los nematodos que podrían estar asociados a ellas. De ahí la necesidad de conocer esta interacción planta medicinal-nematodo.

Este estudio representa el primer esfuerzo por documentar la presencia de nematodos fitoparásitos en plantas medicinales en Costa Rica, un tema poco explorado hasta ahora. Sus hallazgos podrían tener implicaciones importantes para la producción y el uso de estas plantas con fines terapéuticos, especialmente considerando el crecimiento sostenido de este mercado a nivel global. Conocer qué nematodos pueden afectar estas plantas, así como comprender su posible impacto en su desarrollo, es fundamental para tomar decisiones acertadas, implementar medidas de control efectivas y avanzar en la búsqueda de estrategias sostenibles que garanticen la salud del cultivo y su aprovechamiento a largo plazo. Por lo anterior, el objetivo fue identificar los principales nematodos residentes a algunas plantas medicinales de uso común en Costa Rica.

Metodología

Selección de plantas medicinales

Se muestrearon un total de 60 plantas medicinales correspondientes a 16 especies según su frecuencia de uso, en las provincias de San José (n=5), Alajuela (7), Heredia (35), Cartago (11) y Guanacaste (2), en Costa Rica. Las plantas medicinales seleccionadas en esta investigación fueron las siguientes (Tabla 1).

Tabla 1.

Especies de plantas medicinales seleccionadas según sitio de procedencia, nombre común y familia botánica. 2023.

Provincia	Cantón	Nombre común	Nombre científico	Familia botánica	
Heredia	Barva, Santa Bárbara San Isidro	Sábila (4) *	<i>Aloe Vera</i> (L.) Burm. F.	Asphodelaceae	
	San Isidro	Lavanda (1)	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	Lamiaceae	
		Menta (1)	<i>Mentha piperita</i> L.		
		Tomillo (1)	<i>Thymus vulgaris</i> L.		
	Barva, Santa Bárbara, San Rafael	Hierba buena (4)	<i>Mentha citrata</i> Ehrn.		
	San Rafael, San Isidro	Albahaca (2)	<i>Ocimum basilicum</i> L.		
	Barva, Santa Bárbara, San Isidro, San Rafael	Romero (4)	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Acanthaceae	
	San Isidro, San Rafael	Tilo (3)	<i>Justicia pectoralis</i> Jacq.		
		Estragón (2)	<i>Artemisia dracunculus</i> L.		
	San Isidro	Ajenjo (1)	<i>Artemisia absinthium</i> L.		Asteraceae
		Llantén (2)	<i>Plantago mayor</i> L.		Plantaginaceae
		Melissa (1)	<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	
	Barva, Santa Bárbara	Juanilama (5)	<i>Lippia alba</i> (Mill.) n. e. Brown	Verbenaceae	
	San Isidro, Santa Bárbara	Orégano (2)	<i>Lippia graveolens</i> Kunth.		
	Santa Bárbara	Apazote/Epazote (1)	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.)	Amaranthaceae	
Galangal (1)		<i>Alpinia galanga</i> (L.)	Zingiberaceae		
San José	Curridabat	Sábila (1)	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. F.	Asphodelaceae	
	Puriscal	Jengibre (1)	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe.	Zingiberaceae	
	San José	Juanilama (1)	<i>Lippia alba</i> (Mill.) n. e. Brown.	Verbenaceae	
		Insulina (1)	<i>Justicia spicigera</i> Schltdl.	Rubiaceae	
		Romero (1)	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae	
Cartago	Oreamuno	Sábila (1)	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. F.	Asphodelaceae	
		Salvia piña (1)	<i>Salvia elegans</i> Vahl.	Lamiaceae	
		Salvia virgen (1)	<i>Buddleja americana</i> L.	Scrophulariaceae	
		Juanilama (1)	<i>Lippia alba</i> (Mill.) n. e. Brown.	Verbenaceae	
		Hierba luisa (1)	<i>Aloysia citrodora</i> Palau	Verbenaceae	
		Tomillo (1)	<i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiaceae	

Alajuela	Turrialba/Oreamuno	Albahaca limón (1)	<i>Ocimum x citriodorum</i> Vis.	Lamiaceae
		Huacatay/chinchilla (1)	<i>Tagetes minuta</i> L.	Asteraceae
		Tilo (1)	<i>Justicia pectoralis</i> Jacq.	Acanthaceae
	San Ramón	Romero (2)	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae
		Insulina (1)	<i>Justicia spicigera</i> Schltdl.	Rubiaceae
		Juanilama (1)	<i>Lippia alba</i> (Mill.) n. e. Brown.	Verbenaceae
	Alajuela	Orégano (1)	<i>Lippia graveolens</i> Kunth.	Verbenaceae
		Romero (1)	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae
		Albahaca (1)	<i>Ocimum basilicum</i> L.	
		Tomillo (1)	<i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiaceae
		Yerba buena (1)	<i>Mentha citrata</i> Ehrh.	
Guanacaste	Liberia	Sábila (2)	<i>Aloe Vera</i> (L.) Burm. F.	Asphodelaceae

Nota: Número de muestras: 60

Fuente: Elaboración Propia

Recolecta de muestras

Las muestras de suelo se recolectaron al azar en cada sitio utilizando un barreno. En cada sitio, se extrajeron 20 submuestras a una profundidad de 25 cm, las cuales se mezclaron hasta obtener 1 kg de suelo. Luego, las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se etiquetaron con el nombre de la planta medicinal, el número de muestra y la ubicación geográfica. Posteriormente, se transportaron al Laboratorio de Nematología de la Universidad Nacional, donde se refrigeraron para su posterior procesamiento.

Extracción de nematodos

Las muestras de suelo se procesaron mediante el método de tamizado y centrifugación en solución azucarada (Caveness y Jensen, 1955). Esta técnica consistió en utilizar 100 g de suelo por muestra, el cual se colocó en una cubeta y se remojó con agua a presión para disolver las partículas del suelo. Después de dejar reposar el suelo durante 30 segundos, se decantó en tamices de 100 y 400 μm y se repitió el proceso de lavado a presión con el material restante en la cubeta. La fracción de suelo retenida en el tamiz de 400 μm se trasladó a un

tubo de centrifugación de 50 mL y con una pizeta con agua se llenó hasta los $\frac{3}{4}$ de la capacidad y se centrifugó durante aproximadamente tres minutos. Una vez finalizada la centrifugación, se decantó el sobrenadante de agua y se dejó el suelo compactado en el fondo. A continuación, se agregó solución de azúcar saturada con una densidad específica de 1.18, se agitó y se volvió a centrifugar durante otros un minuto. Posteriormente, se decantó el azúcar que contenía los nematodos en una criba de 500 μm y se lavó para eliminar el exceso de azúcar. Finalmente, los nematodos recuperados en la criba de 500 μm , se colocaron en una caja Petri cuadrículada de 5 cm para donde se procedió al conteo de los nematodos.

Identificación de nematodos

Los nematodos se identificaron morfológicamente hasta el nivel de género y en algunos casos, a nivel de especie con la ayuda de claves pictóricas y dicotómicas (Mai y Lyon, 1975; Canto, 1986). Se utilizó un microscopio compuesto invertido con aumentos de 20x y 40x lo que facilitó la observación y la identificación de los nematodos fitoparásitos.

Análisis de composición y estructura de comunidades de nematodos

Luego de realizar la identificación de nematodos, se determinó la diversidad y abundancia total en 100 g de suelo lo que permitió calcular la frecuencia de ocurrencia (FO), la densidad promedio y máxima total según las siguientes fórmulas:

- a. **Frecuencia de ocurrencia (FO%):** Cantidad de veces (%) que se encontró un género/especie de nematodo en una muestra.

$$FO(\%) = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100$$

Donde:

n_i = número de muestras en las que aparece el taxón (aunque fuera con un solo individuo),

N = número total de muestras analizadas.

Además del cálculo de la frecuencia de ocurrencia (FO), se evaluó el estatus de dominancia de cada género o especie mediante el índice C, el cual permitió clasificar su comportamiento dentro de la comunidad. Esta clasificación, propuesta por Skwiercz (2012), consideró el porcentaje de ocurrencia como indicador de qué tan común o relevante es un taxón en las muestras analizadas.

Según este índice, los nematodos (géneros y especies) se clasificaron en tres categorías, según su frecuencia de ocurrencia (FO) en las muestras recolectadas:

- **Dominantes (D):** FO superior al 50%, lo que indicó una presencia constante y posiblemente un papel importante en la dinámica del suelo.
- **No dominantes (ND):** FO entre el 25% al 49% con una presencia intermedia influenciada quizás por condiciones edafoclimáticas y del cultivo.
- **Ocasionales (O):** FO inferior al 25%, cuya presencia fue puntual o estuvo limitada a ciertas condiciones particulares.

b. **Densidad promedio de la población de nematodos (DP):** número promedio de nematodos por unidad de muestra.

$$DP = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

x_i = número de nematodos en la muestra i ,

n = número total de muestras analizadas.

c. **Máximo total de nematodos:** El número máximo de individuos para un taxón en una muestra determinada.

$$N_{\text{máx}} = \max(n_1, n_2, n_3, \dots, n_k)$$

Donde:

- N_{max} : el máximo número de nematodos del taxón en una muestra de 100 g de suelo.
- $n_1, n_2, \dots, n_k$: los conteos de ese taxón en cada muestra de 100 g.
- $\max$: indica que se toma el valor más alto entre los conteos de cada muestra

Para medir la diversidad y cantidad de nematodos, se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H') de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$$

Donde:

- H' es el índice de diversidad de Shannon-Wiener
- S es el número total de especies
- p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos
- $\ln$ es el logaritmo natural (base e)

Además, para evaluar la dominancia de estos géneros y especies en relación con el total de individuos de la comunidad, se aplicó el índice de Simpson (D):

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

- D = índice de Simpson (varía entre 0 y 1; a $> D$, menor diversidad)
- S es el número total de especies
- n_i = número de individuos de la especie i
- N = número total de individuos de la muestra
- $p_i = \frac{n_i}{N}$ = proporción de la especie i

Finalmente, para analizar las relaciones entre los nematodos fitoparásitos y las plantas medicinales asociadas, se aplicó un Análisis de Correspondencias (AC). Se realizaron tablas de contingencia para determinar la existencia de asociación significativa ($p < 0,05$) entre las

variables “familias de las plantas medicinales” y “géneros/especie de nematodos fitoparásitos”. Luego, se desagregó la estructura de la tabla de contingencia en factores principales. La ejecución del análisis se realizó utilizando el software estadístico InfoStat ® (Di Rienzo et al., 2020), el cual permitió tanto la obtención de los ejes principales como la construcción de un gráfico de correspondencias.

La interpretación del gráfico de correspondencias se basó en las distancias y agrupamientos observados en el plano factorial, según la proximidad o lejanía entre los géneros/especies de nematodos y las plantas medicinales. Posteriormente, los resultados se representaron mediante un gráfico biplot, el cual permitió identificar patrones de afinidad y diversidad entre los nematodos residentes a las distintas plantas, destacando las principales asociaciones y la variabilidad explicada por los ejes principales del análisis.

Resultados y discusión

Se identificaron un total de 15 géneros y tres especies de nematodos fitoparásitos residentes en las 23 especies de plantas medicinales incluidas en este estudio. Los nematodos identificados fueron *Meloidogyne*, *Tylenchus*, *Aphelenchus*, *Helicotylenchus*, *Aphelenchoides*, *Rotylenchulus*, *Hemicycliophora*, *Criconema*, *Mesocriconema*, *Crossonema*, *Pratylenchus*, *Trichodorus*, *Scutellonema*, *Xiphinema*, *Rotylenchus*, *Mesocriconema sphaerocephalum*, *Hemicriconemoides strictathecatus* y *Longidorus laeviscapitatus* (Tabla 2).

Estatus de dominancia y frecuencia de ocurrencia (FO)

Según el estatus de dominancia (índice C), seis géneros de los 15 identificados fueron clasificados como dominantes (D), lo que representó el 33% del total de nematodos. Los géneros *Meloidogyne* (92% FO), *Tylenchus* (87%), *Aphelenchus* (78%), *Helicotylenchus* (77%), *Aphelenchoides* (68%) y *Rotylenchulus* (52%) presentaron FO superiores al 50 %, con presencia en más de la mitad de las muestras analizadas, lo que evidenció su amplia distribución en los sitios muestreados. Se identificaron tres géneros (16%) como no

dominantes (ND): *Hemicycliophora* (43%), *Criconema* (30%) y *Mesocriconema* (28%) (Tabla 2). Estos géneros, aunque se clasificaron como ND, la presencia en altas densidades en ciertas plantas y su capacidad de incrementar poblaciones bajo condiciones favorables, podrían convertirse en potenciales plagas secundarias, especialmente por cambios en el manejo agronómico, la cobertura vegetal o al desequilibrio de la comunidad edáfica (Sánchez-Moreno y Navas, 2007).

Finalmente, seis géneros y tres especies de nematodos (50%) fueron clasificados como ocasionales (O) al presentar una FO inferior al 25%. Los nematodos fueron *Pratylenchus* (20%), *Trichodorus* (20%), *Scutellonema* (17%), *M. sphaerocephalum* (10%), *Crossonema*, *Rotylenchus*, *Xiphinema* (7%) cada uno, *H. strictathecatus* (5%), y *L. laevicapitatus* (3%), (Tabla 2). Si bien estos nematodos se clasificaron como ocasionales (O) según su estatus de dominancia, cualquiera de ellos al ser residente de estas especies medicinales, pueden potencialmente representar una amenaza ante algún cambio que propicie condiciones adecuadas para su reproducción. Su baja frecuencia no debería interpretarse como irrelevante, ya que, en sistemas agroecológicos, incluso poblaciones pequeñas de nematodos pueden causar daño si coinciden algunas variables entre ellas la susceptibilidad de un hospedero y condiciones ambientales propicias (Koenning y Wrather, 2010).

Tabla 2.

Parámetros poblacionales de nematodos fitoparásitos y de vida libre (VL) asociados a plantas medicinales utilizadas en este estudio. 2023

Géneros / Especies	Hábito alimenticio*	Estatus de dominancia (Índice C)	FO%	DP%	Máximo total	Planta medicinal hospedera
<i>Meloidogyne sp.</i>	2(s)	D	92	43	274	Romero, hierba buena, Salvia piña, Salvia virgen, Tilo, Jengibre, Menta, Melissa, Sábila, Albahaca, Hierba luisa, Lavanda, Albahaca limón
<i>Tylenchus sp.</i>	4	D	87	25	409	Insulina, Ajenjo, llantén, Juanilama
<i>Aphelenchus sp.</i>	4	D	78	8	33	Albahaca limón
<i>Helicotylenchus sp.</i>	1 (m)	D	77	23	272	Hierba buena, Apazote, Sábila
<i>Aphelenchoides sp.</i>	4	D	68	8	92	Tilo
<i>Rotylenchulus sp.</i>	3 (s)	D	52	11	201	Sábila, Orégano
<i>Hemicycliophora sp.</i>	1 (s)	ND	43	8	129	Albahaca, Apazote, Chincho, hierba luisa
<i>Criconema sp.</i>	1 (s)	ND	30	18	288	Tomillo, Chincho, Estragón, Galanga
<i>Mesocriconema sp.</i>	1 (s)	ND	28	22	692	Albahaca limón, Estragón, Romero, Tomillo, Salvia virgen
<i>Pratylenchus sp.</i>	2 (m)	O	20	2	48	Lavanda
<i>Trichodorus sp.</i>	1 (m)	O	23	1	25	Estragón, Chincho, Salvia Virgen, Orégano
<i>Scutellonema sp.</i>	1 (m)	O	17	3	84	Romero, Salvia
<i>Mesocriconema sphaerocephalum</i>	1 (s)	O	10	7	255	Juanilama, Galanga
<i>Crossonema sp.</i>	1 (m)	O	7	1	2	Juanilama, Albahaca limón,
<i>Rotylenchus sp.</i>	1 (m)	O	7	1	9	Juanilama, Salvia piña
<i>Xiphinema sp.</i>	1 (m)	O	7	1	3	Llantén, Albahaca limón, Sábila
<i>Hemicriconemoides strictathecatus</i>	1 (s)	O	5	1	9	Hierba buena, Sábila, Juanilama
<i>Longidorus laeviscapitatus</i>	1 (m)	O	3	1	1	Hierba buena
VL	-	D	100	100	307	—
Índice de Shannon-Wiener			2.11			
Índice de Simpson			0.82			

*Hábito alimenticio: 1: ectoparásito, 2: ectoparásito, 3: semiendoparásito, 4: No fitoparásito / micófago/ VL.

(m: migratorio, s: sedentario). Elaboración propia.

Densidad promedio de la población de nematodos (DP)

Con respecto a la densidad promedio (DP), *Meloidogyne* fue el género más abundante (43%), seguido por *Tylenchus* (25%) y *Mesocriconema* (22%). Aunque el género *Tylenchus* presentó el segundo mayor porcentaje de dominancia dentro de la comunidad de nematodos identificada, su comportamiento alimentario sigue siendo objeto de debate (Panahandeh et al., 2016; Qing y Bert, 2019). La mayoría de los géneros pertenecientes a la familia Tylenchidae aún no han sido completamente caracterizados en cuanto a sus hábitos y preferencias alimenticias. Algunos informes apuntan a que estos nematodos tienen la habilidad facultativa de alimentarse de pelos radicales o células epidérmicas (Siddiqi, 2000), así como de hifas y esporas de hongos (Okada et al., 2005). Esta capacidad podría generar daños estructurales y fisiológicos importantes en las plantas (Čerevková et al., 2020; McSorley et al., 1999).

Los nematodos con mayor número total de individuos identificados por cada 100 g de suelo en una muestra fueron *Mesocriconema* (692 individuos), *Tylenchus* (409), *Criconema* (288), *Meloidogyne* (274), *Helicotylenchus* (272) y *M. sphaerocephalum* (255). Las altas densidades poblacionales de ciertos géneros sugieren que, independientemente de su hábito alimenticio, existe una afinidad o especialización ecológica de estos nematodos hacia algunas plantas hospedantes. Este patrón se evidencia en plantas medicinales como romero, hierba buena, tilo, salvia piña, salvia virgen, jengibre, entre otras, que parecen ofrecer condiciones favorables para el establecimiento y reproducción de nematodos convirtiéndose en una amenaza fitosanitaria. Estos nematodos muestran una notable capacidad de adaptación a diversos hospederos y condiciones edafoclimáticas. Esta versatilidad les permite establecerse con facilidad en distintos sistemas agrícolas y eventualmente, provocar afectaciones significativas en el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y el vigor general de las plantas (Castillo y Vovlas, 2007; Karuri et al., 2017; Moens et al., 2009).

En el caso específico del género *Meloidogyne*, se considera uno de los más importantes a nivel mundial por su capacidad de infectar una amplia variedad de plantas vasculares y las plantas medicinales no son la excepción (Hassan et al., 2013; Jones et al.,

2013; Moens et al., 2009). Diversos estudios han documentado su presencia en este tipo de cultivos, lo que confirma que muchas especies medicinales pueden actuar como hospederas y en consecuencia, verse afectadas por estos fitonematodos (Atas et al., 2021; Baida et al., 2011; Bellé et al., 2019; Funk et al., 2019; Gao et al., 2016; Pan et al., 2024; Park et al., 2004; Tariq et al., 2007;). En esta caracterización, se detectó la presencia de estos nematodos en diferentes especies medicinales con las siguientes frecuencias de ocurrencia: salvia piña (77%), jengibre (69%), salvia virgen (61%), tilo (60%), menta (47%), melissa (46%), albahaca (32%), sábila (27%), hierba luisa (21%) lavanda (20%), romero (19%), albahaca limón (17%) y hierba buena (5%).

Aunque *Meloidogyne* spp. es ampliamente reconocido por su impacto en cultivos agrícolas, los resultados de investigaciones recientes y de este trabajo de campo indican que también existen otros géneros de nematodos fitoparásitos que pueden representar una amenaza a algunas plantas medicinales. Por ejemplo, Eapen y Pandey (2018) reportaron a *Pratylenchus thornei*, *Tylenchorhynchus vulgaris*, *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* como nematodos de importancia económica en cultivos como pimienta negra, jengibre y cúrcuma. Asimismo, los datos obtenidos en este estudio indican que *Discocriconemella limitanea* y *Helicotylenchus*, podrían tener un rol patógeno relevante, dada su alta frecuencia y densidad poblacional en las muestras analizadas.

Respecto al género *Helicotylenchus* se encontró en asocio con hierba buena (60 %), sábila (23%), apazote (21%), albahaca (18%), albahaca limón (15%) y romero (13%), sugiriendo también su potencial impacto económico. Por su parte, *Rotylenchulus* se asoció a orégano (27%) y sábila (21%) (Tabla 2). Estos hallazgos concuerdan con reportes previos que resaltan la importancia de estos géneros en cultivos medicinales (Castillo y Vovlas, 2007; Karuri et al., 2017; Moens et al., 2009). Por otro lado, géneros como *Mesocriconema* cuya FO fue del 28% se observó en densidades poblacionales altas en algunas plantas como estragón (40%), romero (35%), tomillo (26%), albahaca limón (43%) y salvia virgen (26%) lo que podría indicar un potencial patogénico subestimado. Ciertas especies de nematodos de la familia *Criconeematidae* a la que pertenece *Mesocriconema*, pueden aumentar bajo condiciones favorables, particularmente en suelos con bajo disturbio agronómico (Oliveira et al., 2020; Sánchez-Moreno y Navas, 2007).

Se cuantificaron en promedio 100 nematodos de vida libre (VL) por cada 100 g de suelo, con un máximo de 307 individuos en una muestra de albahaca. Otras plantas que también registraron altas densidades en muestras individuales fueron hierba buena (300), orégano (272), estragón (264) y galangal (233), lo que demuestra la implementación de buenas prácticas de manejo, posiblemente asociadas al uso de enmiendas orgánicas que favorecen la presencia de estos nematodos beneficiosos. Estos resultados refuerzan el valor de los VL como indicadores positivos de calidad y salud del suelo (Neher, 2001).

La presencia continua y abundante de este grupo funcional resalta su importancia en los procesos ecológicos del suelo, especialmente en agroecosistemas de plantas medicinales, donde el uso reducido de insumos químicos contribuye a conservar y favorecer la biodiversidad biológica. El valor ecológico de estos nematodos benéficos radica en su participación en la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la regulación de otros organismos del suelo. Por lo tanto, su abundancia puede interpretarse como un signo de equilibrio funcional del sistema edáfico (Khanum et al., 2021).

El índice de Shannon-Wiener (2.11) indicó una diversidad moderadamente alta, con una comunidad diversa en riqueza de géneros y algunas especies. Sin embargo, el valor del índice de Simpson (0.82) reflejó que pocos géneros fueron notablemente más abundantes que otros, lo que evidencia una distribución menos equitativa entre las poblaciones. Esta combinación de resultados indica que, aunque existe una diversidad importante, la comunidad no está completamente equilibrada en términos de abundancia, lo que podría evidenciar una mayor vulnerabilidad de ciertas especies medicinales frente a algunos fitonematodos dominantes (Yeates y Coleman, 1982). Este aspecto es relevante, ya que una distribución desigual puede afectar la resiliencia del ecosistema frente a enfermedades y plagas incluidas los nematodos (Ferris et al., 2001).

La concordancia entre el valor del índice de Simpson y la alta ocurrencia de ciertos géneros dominantes sugiere que la comunidad nematológica está estructurada alrededor de unos pocos taxones altamente adaptados al entorno. Esta dominancia puede estar influenciada por factores como las condiciones edáficas, el tipo de cultivo hospedero y las prácticas de manejo agrícola aplicadas (Barker y Koenning, 1998; Coyne et al., 2018; Yeates et al., 1993). Esta situación podría señalar la necesidad de estrategias de manejo específicas,

como el monitoreo continuo de los nematodos más dominantes y el uso de prácticas de control que mitiguen el impacto de géneros particularmente dañinos como *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* y *Rotylenchulus*.

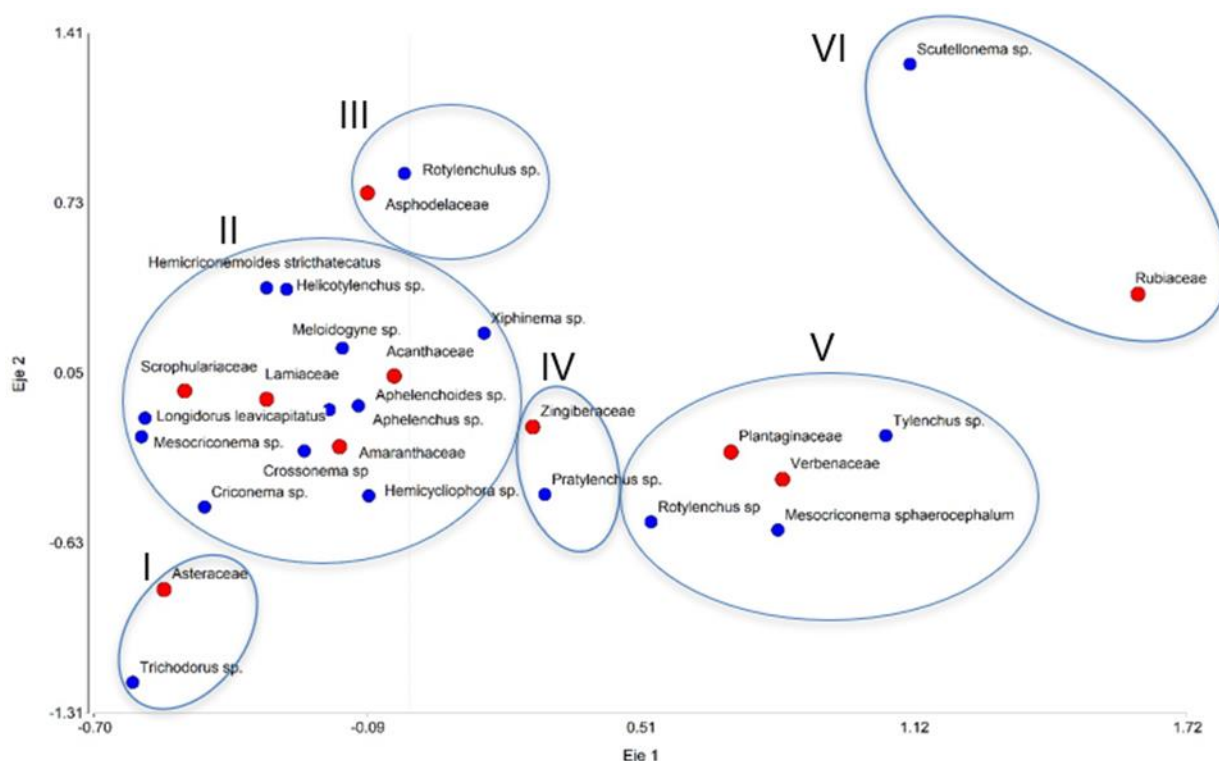


Figura 1. Agrupamiento entre nematodos fitoparásitos y familias de plantas medicinales según el análisis de correspondencias (AC). Elaboración propia.

En el grupo V se encontró a *Rotylenchulus* y *M. sphaerocephalum* relacionados directamente con hierba luisa (*Aloysia citrodora* - Verbenaceae) y llantén (*Plantago major* - Plantaginaceae). Entre las pequeñas asociaciones se observó que *Pratylenchus* (grupo IV) mostró relación con jengibre (*Zingiber officinale* - Zingiberaceae), *Trichodorus* (grupo I) con árnica (*Ageratina ligustrina* - Asteraceae), *Rotylenchulus* (grupo III) con sábila (*Aloe vera* - Asphodelaceae). Finalmente, una relación más distante, tanto entre grupos como con la planta medicinal se observó entre *Scutellonema* (grupo VI) con insulina (*Justicia spicigera* - Rubiaceae) lo que podría sugerir una ausencia de interacciones directas entre planta y

nematodo (Figura 1). En conjunto, las asociaciones de una u otra manera, evidencian posibles patrones de especificidad en la relación entre nematodos y plantas medicinales, lo que constituye un importante descubrimiento que permitiría el diseño de estrategias de manejo más precisas y sostenibles en este tipo de especies vegetales.

Conclusiones

La diversidad de nematodos fitoparásitos encontrada en las plantas medicinales evidencia que estos sistemas agrícolas no están exentos del ataque de patógenos radiculares. En particular, el género *Meloidogyne* se destacó por su alta frecuencia y densidad en las muestras analizadas, demostrando su relevancia como posible limitante para la sanidad y productividad de estas especies. La presencia constante y significativa de este nematodo representa un posible riesgo agronómico subestimado para los cultivos de plantas medicinales.

La interacción entre *Meloidogyne* y otros nematodos con diversas especies vegetales subraya la necesidad de profundizar en investigaciones que permitan evaluar su impacto real en el rendimiento, así como establecer umbrales económicos que sirvan como base para definir momentos clave de intervención. Además, es importante contar con análisis costo-beneficio que orienten decisiones más eficientes y sostenibles en el manejo de nematodos.

Los hallazgos resaltan la urgencia de implementar programas de monitoreo fitosanitario permanente, así como enfoques integrados que consideren la dinámica del sistema suelo-planta. Prácticas como la rotación de cultivos, la incorporación de enmiendas orgánicas y el uso de agentes de control biológico podrían no solo reducir la presión de nematodos fitoparásitos, sino también favorecer la recuperación de comunidades benéficas como los nematodos de vida libre, esenciales para mantener la funcionalidad ecológica del suelo.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer toda la ayuda brindada al Ingeniero Agrónomo Jefferson Araúz Badilla.

Referencias

- Abtahi, F., y Bakooie, M. (2017). Medicinal plant diseases caused by nematodes. in M. Ghorbanpour (Ed.), *Medicinal plants and environmental challenges* (pp. 328-344). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68717-9_18
- Ataş, H., Uysal, G., Gözel, Ç., Özalp, T., Gözel, U., y Devran, Z. (2021). First report of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on calendula in Turkey. *Journal of Nematology*, 53, 1-5. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-041>
- Baida, F. C., Santiago, D. C., Vidal, L. H. I., Baida, L. C., y Stroze, C. T. (2011). Medicinal plants' hosting ability for nematode *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Nematropica*, 41(1), 150-153. https://www.researchgate.net/publication/289596423_Medicinal_plants'_hosting_ability_for_nematode_Meloidogyne_javanica_and_M_incognita#fullTextFileContent
- Barker, K. R., y Koenning, S. R. (1998). Developing sustainable systems for nematode management. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 165-205. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.165>
- Bellé, C., Ramos, R. F., de Brida, A. L., y Kaspary, T. E. (2019). First report of *Meloidogyne javanica* (Nematoda: Meloidogynidae) infecting *Scoparia dulcis*, a medicinal plant in Brazil. *Journal of Nematology*, 51, 1-3. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2019-072>
- Canto, M. (1986). *Clave para la identificación de los nematodos parásitos de las plantas* (p. 85). Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Castillo, P., y Vovlas, N. (2007). *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management. Brill Academic Publishers. <https://brill.com/display/title/13449?language=en>
- Caveness, F., y Jensen, H. (1955). Modification of the centrifugal flotation technique for the isolation and concentration of the nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 22(2), 87-89. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19550801328>
- Čerevková, A., Miklisová, D., Bobul'ská, L., y Renčo, M. (2020). Impact of the invasive plant *Solidago gigantea* on soil nematodes in a semi-natural grassland and a temperate broadleaved mixed forest. *Journal of Helminthology*, 94, e51, 1-14. <https://doi.org/10.1017/S0022149X19000324>
- Chávez Herrera, I. (2023). Identificación preliminar y comportamiento de *Meloidogyne* sp. en *Zingiber officinale* Roscoe en Pichanaqui, Chanchamayo, Junín [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6029>
- Clavero-Camacho, I., Ruiz-Cuenca, A. N., Cantalapiedra-Navarrete, C., Archidona-Yuste, A., Giannakou, I., Kormpi, M., Palomares-Rius, J. E., Castillo, P., y Tzortzakakis, E. A. (2023). First reports of *Hemicycliophora poranga*, *Helicotylenchus dihystra*, and *Tylenchorhynchus zae* (Tylenchomorpha) from Greece and further records of four other nematode species. *Journal of Nematology*, 55(1), 1-8. <https://doi.org/10.2478/jofnem-2023-0044>
- Coyne, D. L., Nicol, J. M., y Claudius-Cole, B. (2018). *Practical plant nematology: A field and laboratory guide* (2nd ed.). SP-IPM/International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2020). InfoStat (Versión 2020). [Software]. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Eapen, S. J., y Pandey, R. (2018). Nematode parasites of spices and medicinal plants. In R. A. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann, & P. Timper (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (3rd ed., pp. 755-771). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786391247.0755>
- Ferris, H., Bongers, T., y de Goede, R. G. M. (2001). A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 18(1), 13-29. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4)
- García, N. (2021). Los beneficios de las plantas medicinales en tiempos de cuarentena. *Revista Pesquisa Javeriana*. <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/las-bondades-de-las-plantas-medicinales-en-tiempos-de-cuarentena/>
- Gnanapragasam, N., y Mohotti, K. (2005). Nematode parasite of tea. In M. Luc (Ed.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (p. 581). CABI Publishing. https://www.researchgate.net/publication/236985095_Plant_Parasitic_Nematodes_in_Subtropical_and_Tropical_Agriculture_2nd_Edition
- Gupta, S. K., y Mondal, S. (2018). Study on nematodes associated with medicinal plants in West Bengal. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 409-419. <https://www.entomoljournal.com/archives/?ArticleId=3599&issue=3&vol=6&year=2018>
- Hassan, M. Z. Y., Sultana, V., Ara, J., y Ehteshamul-Haque, S. (2013). Pathogenicity of *Meloidogyne javanica* on medicinal plants and its biocontrol using plant-based nematicides. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15(6), 1153-1157.

- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L., y Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9), 946-961. <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>
- Karuri, H. W., Olago, D., Neilon, R., Mararo, E., y Villinger, J. (2017). A survey of root-knot nematodes and resistance to *Meloidogyne incognita* in sweet potato varieties from Kenyan fields. *Crop Protection*, 92, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.020>
- Khanum, T. A., Mahmood, N., y Khatoon, N. (2021). Nematodes as biological indicators of soil quality in agroecosystems. In N. Khatoon (Ed.), *Nematodes – Recent advances, management and new perspectives* (pp. 1-17). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99745>
- Koenning, S. R., y Wrather, J. A. (2010). Guide for interpreting nematode assay results (Publication C834). University of Georgia Extension. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C834>
- Mai, W. F., y Lyon, H. H. (1975). Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes (4th ed.). Cornell University Press.
- Maldonado, C., Paniagua, N., Bussmann, R., Zenteno, F., y Fuentes, A. (2020). La importancia de las plantas medicinales, su taxonomía y la búsqueda de la cura a la enfermedad que causa el coronavirus (COVID-19). *Ecología en Bolivia*, 55, 1-5. http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v55n1/v55n1_a01.pdf
- McSorley, R., y Frederick, J. (1999). Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *Journal of Nematology*, 31, 37-44.

- Moens, M., Perry, R. N., y Starr, J. L. (2009). *Meloidogyne* species – a diverse group of novel and important plant parasites. In R. N. Perry, M. Moens, & J. L. Starr (Eds.), *Root-knot nematodes* (pp. 1-17). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845934927.0001>
- Nars Esfahani, M., Dababat, A., Motieeyan, L., y Helelat, N. (2015). The diversity of plant parasitic nematodes on medicinal plants in Isfahan, Iran. ResearchGate.
- Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 33(4), 161-168. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620512/>
- Nguyen, T., Nguyen, D., Le, H., Nobleza, N., y Trin, P. (2019). Diversity of plant-parasitic nematodes on medicinal plants in Melinh Station for biodiversity. *Academia Journal of Biology*, 19-24. <https://core.ac.uk/download/pdf/286549102.pdf>
- Okada, H., Harada, H., y Kadota, I. (2005). Fungal-feeding habits of six nematode isolates in the genus *Filenchus*. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 1113-1120. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.010>
- Palacios Lozada, E. (2014). Economía y plantas medicinales. *Pensamiento Crítico*, 3, 1-13. <https://doi.org/10.15381/pc.v3i0.9048>
- Panahandeh, Y., Pourjam, E., y Pedram, M. (2016). Data on some species of the genus *Coslenchus Siddiqi*, 1978 (Rhabditida, Tylenchidae) from Iran. *Journal of Nematology*, 48(4), 268-279. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-035>
- Park, S. D., Kim, J. C., y Khan, Z. (2004). Host status of medicinal plants for *Meloidogyne hapla*. *Nematropica*, 34(1), 39-43. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69685>

- PROCOMER. (2021). Extractos naturales: ingredientes que atienden las demandas de sabor, salud y bienestar. PROCOMER. <https://www.procomer.com/extractos-naturales-ingredientes-que-atienden-las-demandas-de-sabor-salud-y-bienestar/>
- Qing, X., y Bert, W. (2019). Family Tylenchidae (Nematoda): An overview and perspectives. *Organisms Diversity & Evolution*, 19(3), 391-408. <https://doi.org/10.1007/s13127-019-00404-4>
- Ramírez Morera, K. (2020). Tendencias en productos de valor agregado a partir de extractos de plantas (pp. 1-60). PROCOMER. <https://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/Tendencias%20e%20innovaciones%20en%20la%20industria%20alimentaria.pdf>
- Rosales-López, C., Arnáez-Serrano, E., Moreira-González, I., Garro-Monge, G., Agüero-Hernández, A. L., Jiménez-Quesada, K., Abdelnour-Esquivel, A., y Calvo-Castro, L. (2019). Investigaciones en plantas con potencial bioactivo. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(9). <https://doi.org/10.18845/tm.v32i9.4621>
- Sánchez-Brenes, R., y Arboleda-Julio, E. (2019). Disponibilidad de productos agropecuarios de la Feria del Agricultor de San Ramón, Alajuela, Costa Rica. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 17(33), 37-57. <https://doi.org/10.15359/prne.17-33.2>
- Schippmann, U., Leaman, D. J., y Cunningham, A. B. (2002). Impact of cultivation and gathering of medicinal plants on biodiversity: Global trends and issues. En *Biodiversity and the ecosystem approach in agriculture, forestry and fisheries* (pp. 1-21). FAO. <https://www.fao.org/4/AA010E/AA010e00.htm>
- Siddiqi, M. R. (2000). Tylenchida: Parasites of plants and insects (p. 833). CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Silva, J. A. T., Kumar, P., y Mukhija, M. (2020). Medicinal plants and nematodes: A neglected intersection. *Plant Archives*, 20(Supplement 2), 45-50.

- Skwiercz, A. T. (2012). Nematodes (Nematoda) in Polish forests. I. Species inhabiting soils of nurseries. *Journal of Plant Protection Research*, 52(1), 169-179. <https://doi.org/10.2478/v10045-012-0026-3>
- Tariq, M., Firoza, K., y Shahina, F. (2007). Medicinal plants as new hosts of root-knot and other nematodes from Hamdard University, Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Nematology*, 25(1), 165-172. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20073043885>
- Ulloa Leitón, E. (2017). Caracterización del sector productivo de plantas medicinales en Costa Rica (p. 63). PROCOMER. https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Materiales/caracterizacion-sector-productivo-plantas-medicinales2020-01-02_22-32-09.pdf
- Xiao, S., Hou, X. Y., Cheng, M., Deng, M. X., Cheng, X., y Liu, G. K. (2018). First report of *Meloidogyne enterolobii* on ginger (*Zingiber officinale*) in China. *Plant Disease*, 102(1), 684. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-17-1477-PDN>
- Yang, Y., Islam, M. S., Wang, J., Li, Y., & Chen, X. (2020). Traditional Chinese medicine in the treatment of patients infected with 2019-new coronavirus (SARS-CoV-2): A review and perspective. *International Journal of Biological Sciences*, 16(10), 1708-1717. <https://doi.org/10.7150/ijbs.45538>
- Yeates, G. W., y Coleman, D. C. (1982). Role of nematodes in decomposition. En D. W. Freckman (Ed.), *Nematodes in Soil Ecosystems* (pp. 55-80). University of Texas Press. <https://doi.org/10.7560/755260-00>
- Yeates, G. W., Bongers, T., De Goede, R. G. M., Freckman, D. W., & Georgieva, S. S. (1993). Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25(3), 315-331.