

EFFECTO NEMATICIDA DE ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS DE LA FAMILIA LAMIACEAE SOBRE *MELOIDOGYNE INCOGNITA* (KOFOID & WHITE) CHITWOOD

Nematicidal effect of essential oils from Lamiaceae family against *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood

¹Oriela Pino Pérez¹, ¹Mayra G. Rodríguez¹, ¹Daine Hernández-Ochandía¹, ¹Roberto Enrique Regalado¹,
¹Beatriz Álvarez Pita¹, ¹Annie Rubio Ortega¹, ¹Yaima Sánchez Pérez¹, ¹María C. Travieso Novelles¹,
Cecil González Suárez¹, ¹Susana Gorrita Ramírez¹, ¹Belkis Peteira Delgado-Oramas¹, ¹Teresa M. Correa Vidal²,
²Rodny Montes de Oca Porto², Rafael Deroncelé Caignet³

¹Departamento de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA),
Apartado 10, San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba.

²Laboratorio Anti-Doping, Instituto de Medicina Deportiva, 100 y Aldabó, Boyeros, La Habana, Cuba.

³Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". Carretera Quivicán-Bejucal km 33½, Quivicán, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de ocho aceites esenciales, de plantas pertenecientes a la familia Lamiaceae, sobre *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. Los aceites esenciales se obtuvieron por hidrodestilación, en un equipo Clevenger, a partir de *Mentha arvensis* L., *Mentha piperita* L., *Mentha spicata* L., *Ocimum basilicum* var *genovese* L., *Ocimum gratissimum* L., *Rosmarinus officinalis* L. y *Thymus vulgaris* L. La actividad biológica sobre tres poblaciones del nematodo se evaluó mediante un bioensayo de inmersión en placas de 96 pocillos. La composición química los aceites se determinó por Cromatografía Gaseosa/Espectrometría de Masas (CG/EM). Los rendimientos de los aceites esenciales obtenidos estuvieron entre 0,65 y 0,10 % (v/m). Todos los aceites mostraron toxicidad sobre los juveniles de *M. incognita*; aunque, el número de aceites con efecto nematicida varió para cada población. Los nematodos tratados evidenciaron daños en sus estructuras internas: el sistema digestivo desorganizado, grandes espacios, a manera de vacuolas, a lo largo del cuerpo, intestino deformado y presencia de gránulos. Los aceites de *O. tenuiflorum* y *M. arvensis* se destacaron por causar elevados porcentajes de mortalidad en las tres poblaciones de *M. incognita* evaluadas. En la población proveniente de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la CL₅₀ del aceite de *M. arvensis* fue de 0,141 % (0,126-0,163) y para el de *O. tenuiflorum* el valor de CL₅₀ se estimó en 0,118 %, a las 24 horas. El análisis de las composiciones químicas por CG/EM reveló la presencia de monoterpenoides, sesquiterpenoides y fenilpropanoides en los aceites esenciales estudiados. Los componentes mayoritarios en los dos aceites con mayor actividad fueron: linalol (65,59 %), α-terpineol (10,42 %), eugenol (41,10 %), β-cariofileno (25,04 %) y β-elemeno (22,42 %). El efecto nematotóxico evidenciado por estos aceites, destacándose los de *O. tenuiflorum* y *M. arvensis*, proporciona las bases para el desarrollo de nuevos nematicidas y métodos alternativos para el manejo de nematodos en diferentes cultivos de importancia en la agricultura cubana.

Palabras Clave: nematodos agalleros, *Musa* spp., *Phaseolus vulgaris*, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT: The aim of this study was to determine the effect of eight essential oils from plants belonging to the Lamiaceae family on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. The essential oils were obtained from *Mentha arvensis* L., *Mentha piperita* L., *Mentha spicata* L., *Ocimum basilicum* var *genovese* L., *Ocimum gratissimum* L., *Rosmarinus officinalis* L., and *Thymus vulgaris* L. by hydrodistillation in a Clevenger equipment. The biological activity in three populations of the nematode was evaluated by a 96-microwell plate immersion bioassay. The chemical composition of the oils was determined by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). The yields of the essential oils obtained were between 0.65 and 0.10% (v/m). All oils showed toxicity on *M. incognita* juveniles although the number of them with nematicidal effect varied for each population. The treated nematodes showed damaged in internal structures: a disorganized digestive system, large vacuole-like spaces along the body, a deformed intestine, and the presence of granules. The oils from *O. tenuiflorum* and *M. arvensis* were notable for causing high mortality rates in the three *M. incognita* populations evaluated. In the population from tomato (*Solanum lycopersicum* L.), the LC₅₀ of the *M. arvensis* oil was 0.141% (0.126-0.163) and it was estimated as 0.118% for *O. tenuiflorum* after 24 hours. The analysis by GC/MS of the chemical composition of the essential oils studied revealed the presence of monoterpenoids, sesquiterpenoids and phenylpropanoids. The major components in the two oils with the highest activity were linalool (65.59%), α-terpineol (10.42%), eugenol (41.10%), β-caryophyllene (25.04%), and β-elemene (22.42%).

* Autor para correspondencia. E-mail: oriela@censa.edu.cu

Recibido: 25/06/2025

Aceptado: 20/07/2025

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración de Proyecto y Supervisión: Oriela Pino Pérez; Mayra G. Rodríguez Hernández. Investigación: Daine Hernández-Ochandía; Roberto Enrique Regalado; Beatriz Álvarez Pita; Annie Rubio Ortega; Yaima Sánchez Pérez; María C. Travieso Novelles; Cecil González Suárez; Susana Gorrita Ramírez; Teresa M. Correa Vidal; Rodny Montes de Oca Porto; Rafael Deroncelé Caignet. Conceptualización, Curación de datos, Adquisición de fondos, Administración de Proyecto, Supervisión: Belkis Peteira Delgado-Oramas.



The nematotoxic effect shown by these oils, especially those of *O. tenuiflorum* and *M. arvensis*, provides the basis for the development of new nematicides and alternative methods for nematode management in different crops of importance in Cuban agriculture.

Keywords: root knot nematodes, *Musa* spp., *Phaseolus vulgaris*, *Solanum lycopersicum*.

INTRODUCCIÓN

Los nematodos fitoparásitos están asociados con casi todos los cultivos agrícolas importantes y constituyen una limitación significativa para la seguridad alimentaria mundial; causan una disminución cuantitativa sustancial del rendimiento en cereales (5 % - 77 %), vegetales (5 % - 43 %), legumbres (6 % - 23 %), cultivos de semillas oleaginosas (7 % - 27 %), frutas (5 % - 80 %), entre otros (1-3). Además, estos organismos nocivos pueden involucrarse en complejos etiológicos y actúan como vectores de hongos, bacterias y virus fitopatógenos (1).

Los nematodos agallalleros (*Meloidogyne* spp.) se encuentran entre los géneros importantes, desde el punto de vista económico y científico, debido a su intrincada relación con las plantas que parasitan, amplia gama de hospedantes y el nivel de daño causado por la infestación (2, 4). En este género, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood representa una de las amenazas más devastadora para la producción de numerosos cultivos agrícolas (3, 4).

La mayoría de las prácticas aplicadas para reducir las poblaciones de nematodos fitoparásitos se basan en el uso de nematicidas químicos o en la resistencia de las plantas. Los compuestos químicos que se utilizan son nocivos para la microbiota de los suelos y aérea e, incluso, para los seres humanos (5). Adicionalmente, a pesar de la importancia de la resistencia genética, es difícil y costoso obtener un cultivar comercial con ese atributo; los cultivares resistentes disponibles en el mercado sólo previenen la infestación de unas pocas especies/razas y, debido al desarrollo de nuevas razas y las diferencias en las condiciones ambientales, la resistencia desaparece gradualmente con el tiempo (3, 5).

Existe un creciente interés por invertir en tecnologías verdes en muchos campos, incluido el manejo de plagas agrícolas. La búsqueda de métodos alternativos de manejo de nematodos apuesta por el uso de plantas y los compuestos químicos naturales que contienen, entre ellos, los aceites esenciales (5, 6). Estos productos se explotan por su potencial como plaguicidas, ya que existen muchos informes sobre sus actividades fungicidas, antimicrobianas e insecticidas; pero la investigación nematológica, sobre el uso de aceites esenciales, es un área bastante nueva que está en desarrollo (6).

En Cuba, diversos cultivos de importancia económica y para la seguridad alimentaria, como frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y plátanos/bananos (*Musa* spp.), son afectados por *M. incognita* (7, 8). Sin embargo, la literatura consultada no informa sobre estudios del efecto de aceites esenciales sobre poblaciones de *M. incognita* aisladas de suelos cubanos. Nuevos estudios se requieren para desarrollar opciones de manejo sostenible basadas en estos productos naturales; por ello, la presente investigación se propuso determinar el efecto nematicida de

ocho aceites esenciales, de plantas de la familia Lamiaceae, sobre *M. incognita*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta de material vegetal y obtención de aceites esenciales

Las especies *Mentha arvensis* L., *Mentha piperita* L., *Mentha spicata* L., *Ocimum basilicum* var *genovese* L., *Ocimum gratissimum* L., *Rosmarinus officinalis* L. y *Thymus vulgaris* L. se recolectaron en las casas de cultivo del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" (22°53'N; 82°23'W), ubicado en el municipio Quivicán, Provincia Mayabeque, Cuba. El suelo predominante es Ferralítico Rojo típico éutrico y las plantas recibieron las atenciones culturales establecidas para este tipo de cultivo. Mientras que, la recolecta de *Ocimum tenuiflorum* L. se realizó en el municipio Nueva Paz (-81.758122°45'48"N; 81°45'29"O), Provincia Mayabeque, donde las plantas crecieron a campo abierto sobre suelo Ferralítico Rojo típico éutrico. Cada especie botánica se recolectó en los periodos recomendados para la obtención de sus esencias. Para la obtención de los aceites esenciales se seleccionaron las hojas no dañadas. Para la especie *M. spicata* el material vegetal se procesó seco: mientras que, para el resto de las especies se procesó fresco.

Los aceites esenciales de las especies recolectadas se extrajeron por hidrodestilación con equipo Clevenger, según lo establecido en la norma ISO 6571:2008, durante un tiempo de tres horas (9). Cada aceite se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se almacenó a 4°C hasta su análisis. Se calculó el rendimiento del aceite esencial mediante la expresión: $R = (V \div M) \times 100$ donde: R: rendimiento (%), V: volumen del aceite esencial (ml) y M: masa del material vegetal (g).

Nematodos

Las tres poblaciones de *M. incognita*, utilizadas en los bioensayos, se aislaron de banano (*Musa* sp., grupo genómico AAA) cv. 'Gran Enano', frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar 'Triunfo 70' y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. 'Vyta'. Las dos últimas se mantienen en tomate y la primera en banano como poblaciones puras (10), en los aisladores biológicos del Departamento de Sanidad Vegetal del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (22°59'29.1"N; 82°09'12.3"W).

Los juveniles de segundo estadio (J_2) de *M. incognita* se obtuvieron de bolsas de huevos extraídas de las raíces y mantenidas en una cámara de eclosión a 26°C por 24 horas. Transcurrido este período, la suspensión que contenía los juveniles se vertió en un tamiz de malla de 0,025 mm y se transfirió a una probeta graduada, con la ayuda de una pipeta, que contenía agua destilada (11).

Bioensayo para determinar actividad de los aceites sobre juveniles de *M. incognita*

La actividad nematocida de los ocho aceites esenciales, sobre J_2 de *M. incognita*, se evaluó mediante un ensayo de inmersión, según la metodología descrita por Choi *et al.* (12). Los aceites esenciales se disolvieron en agua destilada que contenía acetona - Tween 20 (4 % - 0,2 %). El bioensayo se realizó en placas de 96 pocillos (Costar®, Sigma-Aldrich); en cada uno, se añadieron secuencialmente agua destilada (100 μ l que contenían 10 - 12 J_2 del nematodo) y la solución de aceite esencial (100 μ l, concentración final en el pocillo 1 %). Transcurridas 24 y 48 horas de exposición, se contó el número de J_2 muertos en cada pocillo, utilizando un microscopio binocular invertido (Zess®). Los nematodos se definieron como muertos si sus cuerpos estaban rectos, se observó la falta total de movimientos durante 10 segundos y no se movían después de ser estimulados mecánicamente con una aguja.

Se utilizaron un total de 8 pocillos (réplicas) para cada variante experimental (aceite esencial o control). Se utilizó como control, una solución acuosa de una mezcla de acetona-Tween 20 (2 % - 0,1 %).

La CL_{50} se define como la concentración de un material tóxico letal al 50 % de los organismos de la prueba. Las CL_{50} de aceites esenciales seleccionados se determinaron a partir de la evaluación del efecto de cinco concentraciones de cada aceite, obtenidas mediante diluciones seriadas con agua destilada que contenía acetona - Tween 20 (4 % - 0,2 %).

Determinación de la composición química de los aceites esenciales por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG/EM)

La composición química de los aceites esenciales se determinó por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG/EM). Los análisis de CG/EM se realizaron con un cromatógrafo de gases Agilent 6890 con un inyector del tipo "split splitless" (relación de split 20:1), acoplado con un espectrómetro de masas de la serie Agilent 05973; ambos provenientes de la firma Agilent Technologies.

Se utilizó una columna capilar SPB-5 (L= 15 m; DI= 0,25 mm; $f=$ 0,10 μ m). La temperatura del horno se programó: 60°C (2 min isotérmicos), seguido de una rampa de calentamiento hasta 100°C a razón de 4°C/min, otra rampa de 10°C/min desde 100°C hasta 250°C donde, finalmente, permaneció durante 5 min isotérmicos. Se utilizó helio como gas portador con un flujo constante de 1,0 ml/min. Las muestras de los aceites puros se diluyeron con n-hexano en una proporción 1/500 y el volumen de inyección fue de 0,5 μ l. El espectrómetro de masas trabajó en modo scan de adquisición a 70 eV. Se utilizó un analizador cuadrupolar a 150°C de temperatura del cuadrupolo, el detector trabajó en un rango de masas de 40 - 800 uma, las temperaturas de la interfase y de la fuente fueron 280°C y 230°C, respectivamente.

La identificación de los compuestos se llevó a cabo por comparación de la similitud de los espectros de masas resultantes con los de la literatura (13) y bases de datos automatizadas (NBS-NISTASCI y Wiley 275).

La serie de alcanos (C8 - C30) se analizó en las mismas condiciones cromatográficas; posteriormente, con la información obtenida se calcularon los índices de retención para cada compuesto (13). Los alcanos se diluyeron en una proporción 1/100 en n-hexano y se inyectó igual volumen. Se calcularon los índices de retención experimentales (IR_e) y se compararon con los informados en la literatura (IR_t) (13).

Análisis estadístico

Los rendimientos de la destilación de los aceites esenciales se procesaron estadísticamente mediante un análisis de varianza simple, y las medias se compararon mediante la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$), usando el paquete estadístico InfoStat/L versión de 2016. Los datos de mortalidad se analizaron estadísticamente mediante una comparación múltiple de proporciones, por el método de Wald para un nivel de confianza de 0,05 y se utilizó el Software Estadístico CompaProWin 2.0.1. (14). Los resultados de los ensayos de concentración múltiple se ajustaron a las curvas logarítmicas de dosis / mortalidad Probit y los valores de LC_{50} , así como los límites de confianza del 95 %, se calcularon mediante análisis Probit, SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de los ocho aceites esenciales obtenidos estuvieron entre 0,65 y 0,10 % (v/m) (Tabla 1). Estos valores fueron iguales o superiores a 0,1 %, rendimiento considerado como límite mínimo para proponer la explotación comercial de un aceite (15).

Tabla 1. Rendimientos del proceso de destilación de aceites esenciales obtenidos a partir de Lamiáceas cubanas / Yields of the distillation process of essential oils obtained from Cuban Lamiaceae

Aceites esenciales	Rendimiento (% (v/m))
<i>Mentha arvensis</i>	0,55 \pm 0,07 a
<i>Mentha piperita</i>	0,25 \pm 0,03 c
<i>Mentha spicata</i>	0,25 \pm 0,00 c
<i>Ocimum basilicum</i> var. <i>genovese</i>	0,13 \pm 0,00 d
<i>Ocimum gratissimum</i>	0,65 \pm 0,03 a
<i>Ocimum tenuiflorum</i>	0,10 \pm 0,00 d
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,11 \pm 0,02 d
<i>Thymus vulgaris</i>	0,40 \pm 0,00 b

*Letras distintas en la columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En general, los rendimientos pueden variar desde unas décimas del 1 % de la biomasa de una planta hasta, aproximadamente, el 1 % (16). Diversos factores influyen en la variabilidad del rendimiento de los aceites esenciales. Entre ellos, las variaciones genéticas, condiciones edafoclimáticas del medio (tipo de suelo, altitud, lluvias, temperatura, entre otros), manejo del cultivo, época de recolección, edad, parte y estado fenológico de la planta recolectada, manejo y almacenamiento del material vegetal (seco, fresco) y técnica de obtención del aceite (17).

Resulta de gran importancia tener en consideración el rendimiento del proceso de obtención del aceite, cuando se prevé su producción y aplicación práctica a mayor escala;

estos datos contribuirán a un análisis final de factibilidad técnico-económica para el desarrollo del candidato y permitirán establecer un indicador específico (determinación del rendimiento) para el control de la calidad del proceso. Estas plantas son reconocidas como fuente de aceites esenciales que se comercializan a nivel mundial (18); como parte de investigaciones futuras es importante establecer la influencia que, en cada caso, pueden tener diferentes factores (materia prima, manejo agrotécnico, método de extracción, entre otros) y determinar las condiciones en que cada especie exprese sus mayores potencialidades como productora de aceites.

Se evidenció toxicidad de los aceites sobre las tres poblaciones evaluadas de *M. incognita*; aunque, el número de aceites con efecto nematicida varió para cada población. (Tabla 2)

Todos los aceites esenciales evaluados provocaron mortalidades en los juveniles de la población aislada de banano que difirieron del control, transcurridas 48 horas de exposición (Tabla 2). Los aceites esenciales de *M. arvensis*, *M. spicata*, *T. vulgaris* y *O. tenuiflorum* se destacaron por su elevada toxicidad letal a las 24 h de evaluación, causando la muerte de más del 95 % de los J₂. Los aceites de *M. piperita*, *O. basilicum* var *genovese*, *O. gratisimum* y *R. officinalis*, provocaron valores de mortalidad en los J₂ que se incrementaron con el tiempo pues, a las 48 h, fueron

superiores a los observados a las 24 h. Los dos aceites de especies de *Ocimum* alcanzaron el 100 % de mortalidad; mientras que, el aceite de *M. piperita* fue el menos tóxico.

Los juveniles de *M. incognita*, de la población proveniente de frijol, fueron susceptibles a la exposición a todos los aceites esenciales estudiados; se registró una mortalidad de 100 %, después de 24 h (Tabla 2). Solo los aceites esenciales de *O. tenuiflorum* y *M. arvensis* fueron tóxicos a los juveniles de *M. incognita*, pertenecientes a la población aislada de tomate (Tabla 2).

La observación, bajo el microscopio, de los nematodos tratados con los aceites evidenció daños en sus estructuras internas: el sistema digestivo desorganizado, grandes espacios, a manera de vacuolas a lo largo del cuerpo (Figura 1a), intestino deformado, en especial de la mitad del cuerpo hacia la cola, con presencia de gránulos y zonas globosas que pueden ser de gas o líquido (Figura 1b); en todos los casos, la cutícula se mantiene intacta. En el tratamiento control los juveniles mostraron vitalidad con el movimiento de “anguila” típico de sus cuerpos, se vieron en buen estado las estructuras internas como el estilete, el aparato digestivo y el recto dilatado; además, se observaron más oscurecidos los dos tercios posteriores, debido a que poseen reservas lipídicas en esa zona del sistema digestivo (Figura 1c).

Tabla 2. Efecto nematicida de aceites esenciales de Lamiáceas cubanas sobre poblaciones de *Meloidogyne incognita* / Nematicidal effect of essential oils from Cuban Lamiaceae against *Meloidogyne incognita* populations

Aceite Esencial	Mortalidad (%) en población proveniente de:					
	banano		frijol		tomate	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
<i>Mentha arvensis</i>	100 a	100 a	100 a	100 a	92,68 a	97,53 a
<i>Mentha piperita</i>	0 d	34,15 c	100 a	100 a	1,19 b	1,19 b
<i>Mentha spicata</i>	100 a	100 a	100 a	100 a	1,23 b	1,23 b
<i>Ocimum basilicum</i> var <i>genovese</i>	0 e	100 a	100 a	100 a	0 b	0 b
<i>Ocimum gratisimum</i>	10,98 d	100 a	100 a	100 a	0 b	0 b
<i>Ocimum tenuiflorum</i>	95,89 a	97,56 a	100 a	100 a	100 a	100 a
<i>Rosmarinus officinalis</i>	69,88 b	85,54 b	100 a	100 a	0 b	0 b
<i>Thymus vulgaris</i>	100 a	100 a	100 a	100 a	2,38 b	2,38 b
Control	0 e	0 d	0 b	0 b	0 b	0 b

*Letras desiguales en la columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

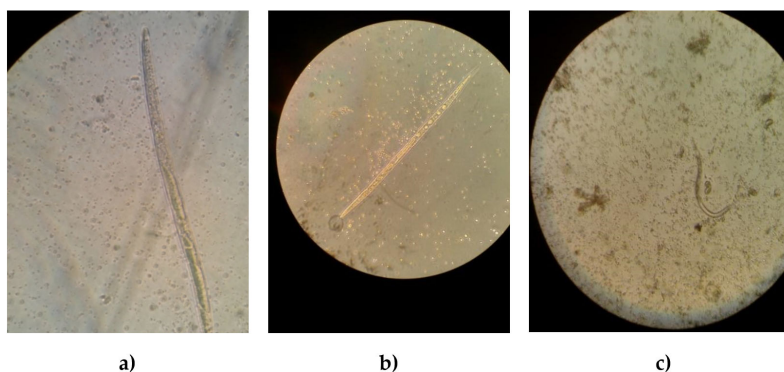


Figura 1. Alteraciones causadas en juveniles de segundo estadio de *M. incognita* por aceites esenciales de Lamiáceas cubanas. a) Daños producidos por el aceite esencial de *Ocimum tenuiflorum*; b) Daños producidos por el aceite esencial de *Ocimum gratisimum* y c) Control / Alterations caused on second stage juveniles of *M. incognita* by essential oils from Cuban Lamiaceae. a) by *Ocimum tenuiflorum* oil, b) by *Ocimum gratisimum* oil, c) control.

Futuras investigaciones deberán ejecutarse para comprender mejor los mecanismos de acción de los aceites esenciales sobre los nematodos. La información generada será valiosa para determinar cómo se pueden utilizar estos nematocidas en la agricultura; y a la vez, reducir la posibilidad de desarrollo de resistencia a partir de la aplicación de productos con diversos modos de acción.

El rango de mortalidad de *M. incognita*, causado por aceites obtenidos en la India, a partir de las tres especies de *Mentha* estudiadas, estuvo entre 68 y 35 % a una concentración de 1000 ppm transcurridas 24 h; el mayor valor se registró para el aceite de *M. arvensis* (19). En el presente estudio se encontró un orden de toxicidad similar y se confirma este aceite como el más nematotóxico.

La actividad nematocida del aceite esencial de *M. piperita* se informó previamente sobre *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood y *Meloidogyne graminicola* Golden & Birchfield; mientras que, la acción del aceite de *M. spicata* se constató con anterioridad sobre *M. arenaria*, *Meloidogyne javanica* (Trueb) Chitwood, *Rotylenchulus reniformis* Linford y Olivera, *Criconemella* spp. y *Hoplolaimus* spp. (6). En la literatura consultada no se encontraron otros antecedentes del efecto nematocida del aceite de *M. arvensis* sobre juveniles de *M. incognita*; debido a su sobresaliente eficacia, sería recomendable evaluar el efecto de este aceite sobre otras especies de nematodos.

El aceite esencial de *O. tenuiflorum* de la India causó la muerte del 100 % de los juveniles de *M. incognita* a 200 mg.L⁻¹; también, su acción nematotóxica (EC₅₀ 282,53 mg.L⁻¹ a 72 h) sobresalió en un estudio ejecutado en Sudáfrica (20). Los hallazgos del presente trabajo son similares a los de estas investigaciones y refuerzan el potencial de esta especie como nematocida. El aceite esencial de *O. basilicum* de la India fue altamente tóxico para *M. incognita*, incluso en concentraciones más bajas (499 y 149 ppm) (19); los resultados obtenidos en el presente estudio con la variedad *genovese* concuerdan en lo referente al efecto sobre esta especie de nematodos.

Los aceites esenciales de *T. vulgaris* y *R. officinalis*, evidenciaron su acción sobre *M. incognita* y otras especies de nematodos fitoparásitos. Así, *R. officinalis* afectó a *M. javanica*, *Pratylenchus brachyurus* Godfrey, *Pratylenchus vulnus* Allen & Jensen, *Xiphinema index* Thorne & Allen; mientras que, *T. vulgaris* tuvo acción sobre *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle, *Ditylenchus dipsaci* Kuhn, *Criconemella* spp., *Hoplolaimus* spp., *R. reniformis* (6). Las esencias investigadas en el presente trabajo, obtenidas de las especies cultivadas en Cuba, provocaron un efecto tóxico que confirma el potencial como nematocidas de estos aceites.

Los aceites de *O. tenuiflorum* y *M. arvensis* causaron elevados porcentajes de mortalidad en las tres poblaciones; por ello, se seleccionaron como los más promisorios y se evaluaron diferentes concentraciones de estos aceites para la determinación de los valores de CL₅₀ y CL₉₉ en la población proveniente de tomate.

El aceite de *M. arvensis*, se destacó por la rapidez de su acción, causó la muerte de todos los individuos transcurridas 6 horas de exposición. La CL₅₀ y CL₉₉ del aceite *M. arvensis*, para *M. incognita*, fueron de 0,141 % (0,126 - 0,163) y

0,241 % (0,206 - 0,312), respectivamente. El aceite de *O. tenuiflorum* a una concentración de 0,25 % mató al 100 % de los individuos expuestos; los valores de sus CL₅₀ y CL₉₉ se estimaron en 0,118 y 0,274 % a las 24 horas. Evaluaciones posteriores, con diluciones menores de este aceite, serán necesarias para el cálculo de los intervalos de confianza correspondientes.

Composición química de los aceites esenciales bioactivos

Los perfiles cromatográficos de los aceites esenciales estudiados se presentan en la Figura 2; se identificaron 77 componentes, lo que representó más del 90 % del contenido de los aceites. El análisis de las composiciones químicas reveló la presencia de monoterpenoides, sesquiterpenoides y fenilpropanoides; los componentes mayoritarios de los aceites esenciales estudiados incluyeron compuestos oxigenados como alcoholes, cetonas, éteres y fenoles (Fig. 3).

En el aceite de *M. arvensis* prevalecieron los alcoholes monoterpénicos; el linalol estuvo presente con 65,59 % de abundancia; seguido por el α -terpineol con un 10,42 %. Los constituyentes de mayor contribución en el aceite esencial de *M. piperita* fueron las cetonas: pulegona (48,87 %) e isomentona (11,70 %). En el aceite de *M. spicata* prevaleció el óxido de piperitenona como el componente más abundante con un 69,66 %, acompañado por la L-carvona presente en un 11,23 %.

La acción nematotóxica superior del aceite esencial de *M. arvensis* podría estar asociada a su elevado contenido de linalol. Este alcohol evidenció una gran eficacia sobre *Meloidogyne* spp. en experimentos en laboratorio y condiciones semicontroladas, los resultados indican que los compuestos que presentan grupos hidroxilo (-OH), como el linalol exhibieron, con mayor frecuencia, acción nematocida (21).

La esencia de *O. basilicum* var *genovese* se caracterizó por el predominio del fenilpropanoide metilchavicol (45,79 %) y el alcohol alifático linalol (28,78 %). El monoterpenoide fenólico timol, es el que más aporta al aceite de *O. gratissimum* desde el punto de vista cuantitativo con un 48,03 % de abundancia relativa; también, se destacaron el ρ -cimeno (13,28 %), el γ -terpineno (16,62 %) y en menor medida el α -tuyeno (4,85 %).

La composición del aceite esencial de *O. tenuiflorum* se caracterizó por la presencia de eugenol (41,10 %), β -cariofileno (25,04 %) y β -elemeno (22,42 %). En estudios precedentes, se informó la acción nematocida sobre *M. incognita*, de aceites esenciales que contienen estos compuestos y de eugenol puro (20); su presencia en el aceite de *O. tenuiflorum* puede ser responsable de la actividad observada sobre las tres poblaciones evaluadas.

Los constituyentes principales identificados en el aceite de *T. vulgaris* fueron el timol (58,88 %) y sus precursores biosintéticos γ -terpineno (15,56 %) y ρ -cimeno (10,64 %). En el aceite esencial de *R. officinalis* los componentes mayoritarios fueron α -pineno (16,56 %), alcanfor (15,86 %) y L-borneol (12,38 %); en cantidades relativas menores estuvieron presentes los compuestos oxigenados 1,8-cineol (8,49 %), verbenona (8,12 %) y linalol (5,50 %).

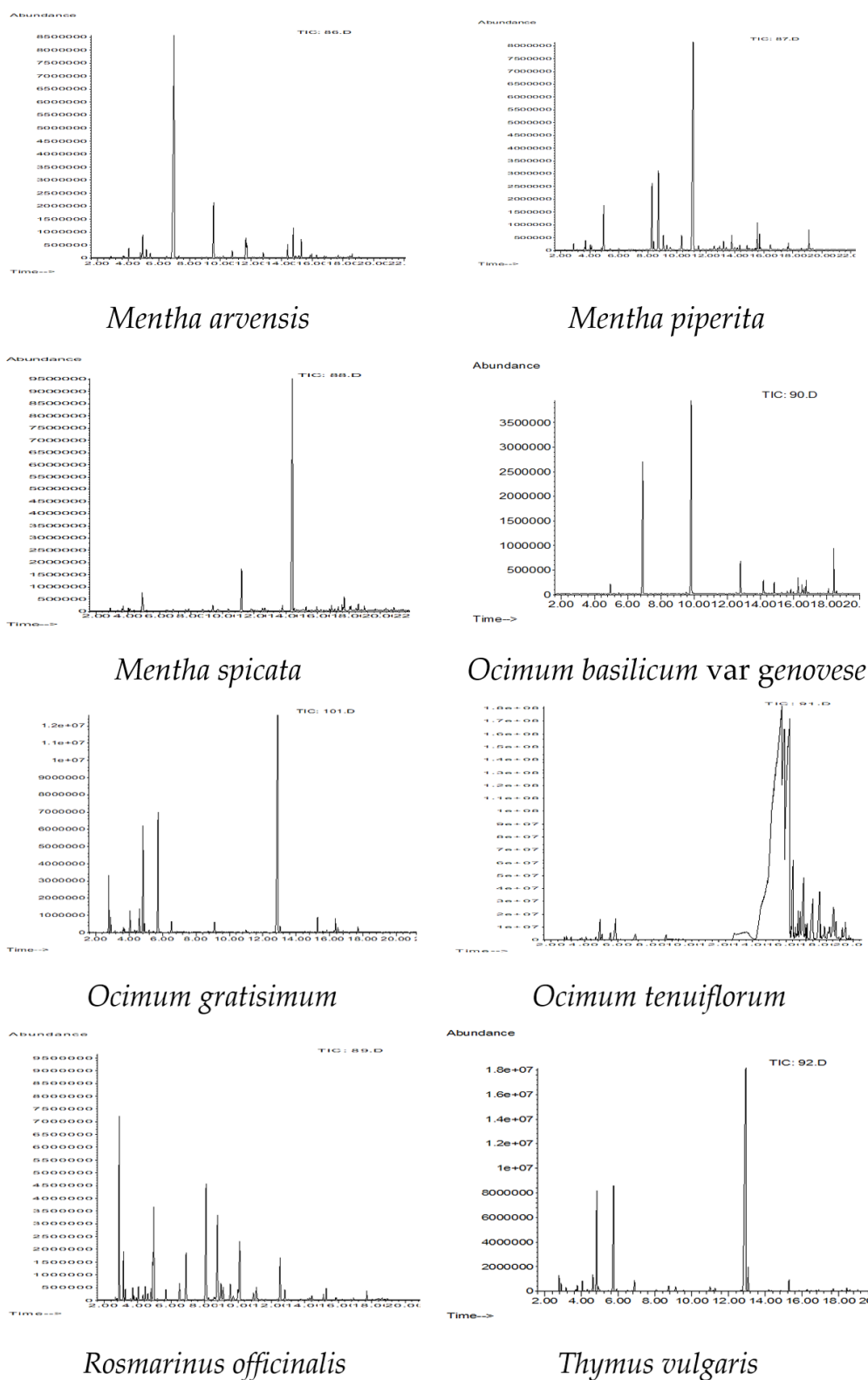


Figura 2. Perfiles cromatográficos por CG/EM de los aceites esenciales de *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. spicata*, *O. basilicum* var *genovese*, *O. gratissimum*, *O. tenuiflorum*, *R. officinalis* y *T. vulgaris* / CG/EM Chromatographic profiles of essential oils of *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. spicata*, *O. basilicum* var *genovese*, *O. gratissimum*, *O. tenuiflorum*, *R. Officinalis*, and *T. vulgaris*

La investigación de las relaciones composición química-actividad biológica que regulan los efectos de los aceites esenciales sobre estos fitoparásitos es un tema clave para su aplicación como productos nematocidas, ya que su nematotoxicidad depende, estrictamente, de su

composición cuantitativa y cualitativa y de sus efectos sinérgicos o antagónicos debido a las interacciones entre los componentes presentes (21). Además de los compuestos mayoritarios detectados en los aceites bioactivos, otros componentes minoritarios pueden contribuir a la actividad.

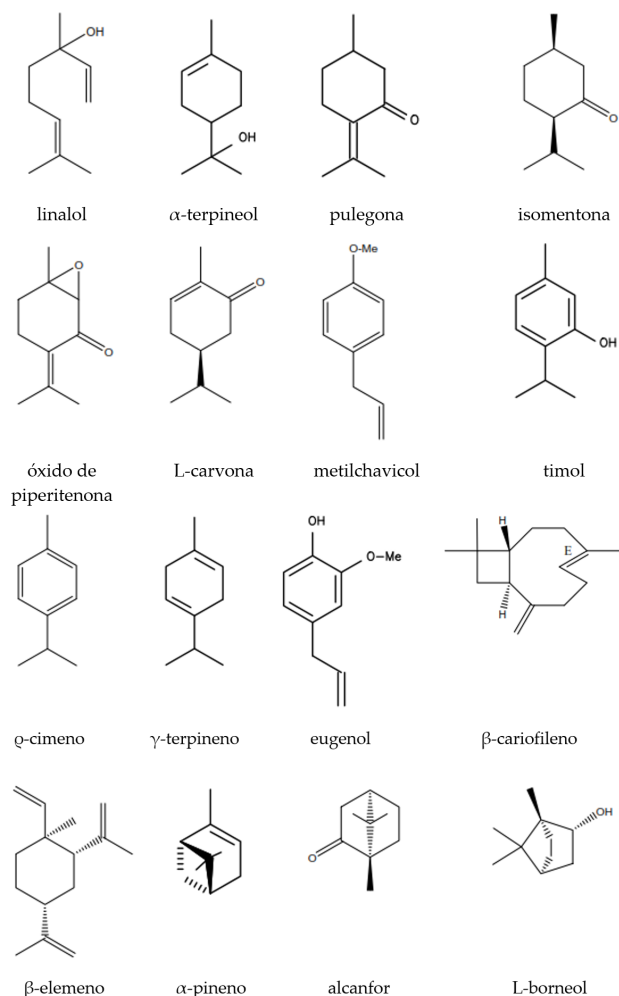


Figura 3. Componentes mayoritarios de los aceites esenciales de *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. spicata*, *O. basilicum* var *genovese*, *O. gratissimum*, *O. tenuiflorum*, *R. officinalis* y *T. vulgaris* / Major components of essential oils from *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. spicata*, *O. basilicum* var *genovese*, *O. gratissimum*, *O. tenuiflorum*, *R. officinalis*, and *T. vulgaris*

El estudio de la actividad nematocida de los aceites esenciales de estas plantas aromáticas, ejecutando al unísono los bioensayos y el análisis químico de su composición, se aborda por primera vez en Cuba; y contribuye a esclarecer su potencial para el desarrollo de nuevos plaguicidas.

Para ser nematocidas eficientes, los aceites esenciales aplicados deben trasladarse y difundirse a cada parte del suelo y las plantas en una concentración efectiva. Por lo tanto, para el uso práctico de los aceites esenciales y sus componentes como nuevos nematocidas, se necesita corroborar la eficacia de los aceites bioactivos en la reducción de las poblaciones de *M. incognita* en condiciones de sistemas de producción protegida y a campo abierto. La acción nematotóxica evidenciada por estos aceites, destacándose los de *O. tenuiflorum* y *M. arvensis*, proporciona las bases para el desarrollo de nuevos nematocidas y métodos alternativos para el manejo de nematodos en diferentes cultivos de importancia en la agricultura cubana.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de los proyectos “BioC (Re-cycling of biomass nutrients and carbon for advanced organic fertilization in an ecosmart and climate positive agriculture on Cuba)” (Bio-C); H2020 Project 727624 “Microbial uptakes for sustainable management of major banana pests and diseases” (MUSA 2020) y “Productos basados en aceites esenciales para el control de plagas en semillas de interés económico”; financiados por la Unión Europea, SNSF Suiza, FONCI y el Programa Sectorial de Salud Animal y Vegetal, del MINAG, Cuba.

REFERENCIAS

1. Khan MR. Plant nematodes, an underestimated constraint in the global food production. In: Khan MR, Quintanilla M (editors). *Nematode Diseases of Crops and Their Sustainable Management*. Academic Press; 2023. p. 3-26.
2. Desaeger J, Khan MR, Silva EHC. Nematode problems in tomato, okra, and other common vegetables, and their sustainable management. In: Khan MR, Quintanilla M (editors). *Nematode Diseases of Crops and Their Sustainable Management*. Academic Press; 2023. p. 223-50.
3. Briar SS, Khan MR, Zwart R. Nematode problems in pulse crops and their sustainable management. In: Khan MR, Quintanilla M (editors). *Nematode Diseases of Crops and Their Sustainable Management*. Academic Press; 2023. p. 183-204.
4. Bernard GC, Egnin M, Bonsi C. The impact of plant-parasitic nematodes on agriculture and methods of control. In: Shah MM, Mahmood M (editors). *Nematology - Concepts, Diagnosis and Control*. 1st ed. Rijeka, Croatia: InTech; 2017. p. 121-51.
5. Silva M de F, Paulo Campos V, Barros AF, Pereira da Silva JC, Pedroso MP, Silva F de J, *et al.* Medicinal plant volatiles applied against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Crop Prot.* 2020; 1;130:105057.
6. Catani L, Manachini B, Grassi E, Guidi L, Semprucci F. Essential Oils as Nematicides in Plant Protection-A Review [Internet]. *Plants.* 2023; 12: 1418. Available from: <https://doi.org/10.3390/plants12061418>
7. Fernández-González E, Gandarilla-Basterrechea H, González J, Draguiche JM, Pérez A, Casanueva-Medina K, *et al.* Nematodos de importancia económica en banano, plátano, tubérculos y raíces comestibles en Cuba. *Nematropica.* 2015; 45(2):31.
8. Rodríguez Hernández MG. Principales aportes al estudio de fitonematodos en Cuba realizados por grupos del Ministerio de Educación Superior. I: Diagnóstico, interacciones y enfermedades complejas. *Rev Protección Veg* [Internet]. 2024;39(17). Available from: <https://cu-id.com/2247/v39e14>
9. International Standardization Organization (ISO). ISO 6571:2008 Spices, condiments and herbs - Determination of volatile oil content (hydrodistillation method) [Internet]. 2nd ed. 2008. 1-15 p. Available from: <https://www.iso.org/standard/41299.html>

10. Hartman K, Sasser J. Identification of *Meloidogyne* species by differential host test and perineal pattern morphology. In: Sasser J, Carter C (editors). An advanced treatise on *Meloidogyne*; Vol II Methodology International *Meloidogyne* Project. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina; 1985. p. 69-77.
11. Neves WS, Freitas LG, Fabry CFS, Dallemole-Giaretta R, Ferreira PA, Ferraz LO, et al. Ação nematicida de óleo, extratos vegetais e de dois produtos à base de capsaicina, capsainóides e alil isotiocianato sobre juvenis de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood. Nematol Bras Piracicaba Bras. 2008; 93-100.
12. Choi I-H, Park J-Y, Shin S-C, Kim J, Park I-K. Nematicidal activity of medicinal plant essential oils against the pinewood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). Appl Entomol Zool. 2007; 42(3):397-401.
13. Adams RP. Identification of essential oil components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. 4th ed. Allured Publishing. 2017. 809 p.
14. Castillo Duvergel Y, Miranda I. COMPAPROP: Sistema para comparación de proporciones múltiples. Rev Protección Veg. 2014; 29(3):231-4.
15. Joulain D. Investigating new essential oils: rationale, results and limitations. Parfum Flavorist. 1996; (21):1-10.
16. Gibson M. Lipids, oils, fats, and extracts. In: Gibson M, Newsham P (eds). Food science and the culinary arts. 1st ed. Elsevier Inc.; 2018. p. 323-40.
17. Schmidt E. Production of essential oils. In: Baser KHC, Buchbauer G (eds). Handbook of essential oils: science, technology and applications. Second Ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC CRC Press. 2016. p. 127-64.
18. Inanoglu S, Goksen G, Nayik GA, Mozaffari Nejad AS. Essential oils from Lamiaceae family (rosemary, thyme, mint, basil). In: Nayik GA, Ansari MJ (eds). Essential oils: extraction, characterization and applications. Academic Press. 2023. p. 309-24.
19. Pandey R, Kalra A, Tandon S, Mehrotra N, Singh HN, Kumar S. Essential oils as potent sources of nematicidal compounds. J Phytopathol. 2000; 148:501-2.
20. Kodjo Eloho, Kafui Kpegba, Nicola Sasanelli, Honoré Kossi Koumaglo PC. Nematicidal activity of some essential plant oils from tropical West Africa. Int J Pest Manag. 2019; 1-11.
21. Sarri K, Mourouzidou S, Ntalli N, Monokrousos N. Recent advances and developments in the nematicidal activity of essential oils and their components against root-knot nematodes. Agronomy [Internet]. 2024 Jan 1 [cited 2025 Jan 7];14(213). Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy14010213>