

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



IDENTIFICACIÓN DE NEMATODOS EN SOLANÁCEAS Y EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS VEGETALES PARA SU CONTROL.

Tesis

Que presenta ROBERTO RIOS VALADÉZ

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila

Julio 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



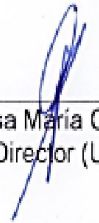
IDENTIFICACIÓN DE NEMATODOS EN SOLANÁCEAS Y EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS VEGETALES PARA SU CONTROL.


Tesis

Que presenta ROBERTO RIOS VALADÉZ

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA


Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Director (UAAAN)


Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Director Externo


Saltillo, Coahuila

Julio 2021


IDENTIFICACIÓN DE NEMATODOS EN SOLANÁCEAS Y EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS VEGETALES PARA SU CONTROL.

Tesis

elaborada por ROBERTO RIOS VALADÉZ como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



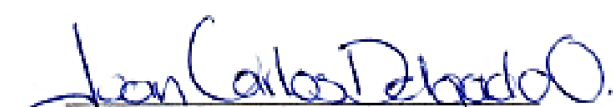
Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Asesor Principal




Dr. Ernesto Cerna Chávez
Asesor




Dr. Melchor Cepeda Siller
Asesor



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Asesor



Dr. Omegar Hernández Bautista
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimientos

A Dios, por encima de todas las cosas está siempre conmigo y me ha ayudado a sobrellevar las situaciones en las que tengo que desarrollarme.

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarnos la oportunidad de realizar los estudios para la obtención del Grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola, de igual manera al Departamento de Parasitología y a cada uno de los que en él se desarrollan.

A la empresa Culta por permitirme el uso de sus instalaciones y su capacitación constante para la realización de este proyecto.

A la Doctora Yisa María Ochoa Fuentes, por su apoyo incondicional, sabiduría y consejos para lograr desarrollarme profesionalmente y personalmente.

Al Doctor Ernesto Cerna Chávez, por inspirarme en momentos difíciles y mostrarme que los esfuerzos de hoy son las recompensas del futuro.

Al Doctor Melchor Cepeda Siller, por el apoyo a este proyecto y a su sabiduría brindada.

Al Doctor Juan Carlos Delgado Ortiz, por su entrega, disposición, y conocimiento compartido.

Al Doctor Omegar Hernández Bautista, por sus sabios consejos además de su apoyo y carisma ante las situaciones adversas.

A mis Padres, Roberto Rios Rodríguez y Natalia Valadéz Alvarado y Hermanas, Miryam y Karla por su apoyo, por su tiempo, por su cariño, gracias por alentarme siempre.

A Eugenio Aguilar Ramos y Ma. Ester Guerrero Domínguez, por su apoyo constante.

A mis compañeros y amigos del postgrado, por cada aventura que pasamos y nuevas experiencias que nos dieron la dicha de ser felices.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado especialmente para mi esposa Jazmín Janet Velázquez Guerrero y a mis hijas María Daniela Rios Velázquez y Diana Montserrat Rios Velázquez

“La flor que crece en la adversidad, es la más rara y hermosa de todas”

Carta de Aceptación de artículos



Texcoco, Estado de México, 14 de septiembre de 2020
Núm. Ref.: 2593-20

Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Universidad Autónoma
Agraria Antonio Narro
Presente

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: "Nematodos asociados al cultivo de Berenjena (*Solanum melongena* L) y densidad poblacional" del cual son autores (as): Roberto Ríos-Valadez , Melchor Cepeda-Siller, Ernesto Cerna-Chávez, Yisa María Ochoa-Fuentes, Anselmo Hernández-Pérez y Luis Mario Tapia-Vargas, fue aceptado para ser publicado en el volumen 13 número 7 2021 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dora Ma. Sangerman", written over a white background.

Dra. Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Editora en jefa de la Revista
Mexicana de Ciencias Agrícolas

ccp*Archivo
DMSJ/igap

Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coahuilcán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atna@yahoo.com.mx. Tel. 55-38-71-87-00 - Ext. 85353

#3845 Resumen

RESUMEN REVISIÓN EDICIÓN


Envío

Autores/as Roberto Rios Valadez, Yisa María Ochoa Fuentes, Ernesto Cerna Chávez, Jazmín Janet Velázquez Guerrero, Valeria Ortega Maldonado

Título EVALUACIÓN in vitro DE EXTRACTOS DE Artemisia annua, Brassica juncea Y Sinapis alba, PARA EL CONTROL DE Meloidogyne incognita.

Archivo original [3845-16690-3-SM.DOCX](#) 2021-06-12

Archivos comp. [AÑADIR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO](#)
[3845-16696-1-SP.PDF](#) 2021-06-12

Emisor/a Roberto Rios Valadez 

Fecha de envío junio 12, 2021 - 08:53

Sección Estudios sobre agroecosistemas

Editor/a Ninguno asignado/a

Comentarios del autor/a es un gusto poder saludarle,envió este escrito para su revisión gracias por a atenciónRoberto RV.

Estado

Estado Asignación en espera

Iniciado 2021-06-12

Modificado por última vez 2021-06-12

← [TSA] Envío recibido



Carlos A. SANDOVAL-CASTRO <revistaccba_boletines@correo.uady.mx>

Sáb 12/06/2021 08:54 PM

Para: Roberto Rios Valadez

Roberto Rios Valadez:

Gracias por enviarnos su manuscrito "EVALUACIÓN in vitro DE EXTRACTOS DE Artemisia annua, Brassica juncea Y Sinapis alba, PARA EL CONTROL DE Meloidogyne incognita." a Tropical and Subtropical Agroecosystems. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/author/submission/3845>

Nombre de usuario/o: ing_roberto-90

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Carlos A. SANDOVAL-CASTRO
Tropical and Subtropical Agroecosystems

Tropical and Subtropical Agroecosystems
<http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA>

INTRODUCCIÓN

La familia Solanaceae contiene aproximadamente 96 géneros y 2,300 especies, su distribución es amplia, tiene gran variedad de formas vegetativas y reproductivas, lo cual hace fácil su proliferación y su establecimiento en distintos tipos de entornos (Cuevas *et al.*, 2008), existen especies que son de gran importancia económica en distintos sectores de la industria, en la alimentaria incluyen los cultivos de berenjena, chile, papa, jitomate, en la industrial el tabaco, en la ornamental copa de oro, petunias y huele de noche (Sierra *et al.*, 2015). Los productos hortícolas como el chile y la berenjena, son productos vegetales que tienen importancia mundial y nacional, resultando como una opción de desarrollo económico, a nivel mundial el principal productor de chile es China con 19,007,248 t, seguido de México con 3,238,245 t y Turquía con 2,625 669 t, así mismo el principal productor de berenjena en el mundo es China con 35,555,562 t, seguido de India con 12,680,000 t, y Egipto con 1,180,240; México se encuentra en 14vo lugar con 185,234 t (Faostat, 2019). A nivel nacional para el caso de México la producción de chile verde es liderada por Sinaloa con 757,769 t, Chihuahua con 682,084 t y Zacatecas con 450,098 t, y la berenjena es producida principalmente en Sinaloa con 172,937 t, Nayarit con 5,221 t y Michoacán con 2,100 t (Siap, 2019), este último con un gran potencial para su exportación y comercialización en el extranjero.

El desarrollo y sustentabilidad económica de estos dos cultivos se puede ver comprometida debido a diversos factores como enfermedades y plagas de importancia económica como lo son los nematodos fitoparásitos, se estima que las pérdidas económicas generadas por estos parásitos de las plantas anualmente son de un 12.3% en la producción mundial, lo que representa 157 billones de dólares al año, y cerca de 500 millones de dólares al año son utilizados para el control de los mismos (Hassan *et al.*, 2013). Se conocen cerca de 4,150 especies de nematodos fitoparásitos, y algunos de ellos tienen hábitos de alimentación generales, lo que ayuda a su propagación y un control ineficiente de los mismos, trayendo consigo enfermedades en diferentes cultivos

hospederos, su parasitismo es descrito según las sintomatologías presentadas en tejidos aéreos (clorosis o marchites) (anexo Fig.1) y en raíz (ectoparásitos, endoparásitos sedentarios y semiendoparásito) (Valencia *et al.*, 2014). La relación que presentan cultivos como el chile y la berenjena con los nematodos que causan daños en su producción es estrecha, pues existen reportes de nematodos como: *Meloydogine incognita*, *Pratylenchus penetrans*, *Heterodera schachtii*, cuyas principales consecuencias en la aparición de estos nematodos causan bajos rendimientos de producción, deficiencias nutrimentales por parte de la planta hospedadora, debilitamiento de la planta (Shakeel *et al.*, 2012; Kim, *et al.*, 2016; Ayvar *et al.*, 2018).

Una de las alternativas que se emplean para el control de los nematodos es el uso de agentes químicos, los cuales ayudan a controlar la densidad de población de los nematodos, algunos de ellos son el Metam sodio, Cloropicrina, Diclоро propeno entre otros (Bakshi, 2005). El uso de los agentes químicos cada vez es mayor y en mayores dosis, aumentando la toxicidad al ambiente y a los operadores, las aplicaciones de los plaguicidas químicos, son causantes de muertes no solo en los nematodos sino también en las bacterias y hongos benéficos presentes en el suelo, además de intoxicaciones y decesos en los humanos, ya que pueden ingresar al organismo por inhalación, por adsorción tóxica o por las mucosas como la nariz, oídos, ojos y boca (Atreya *et al.*, 2012) y en correlación con la normatividad internacional, existen productos como fenamifos y bromuro de metilo que están prohibidos o son de uso restringido por sus efectos negativos (Epa, 2011).

Existen alternativas ecológicas, a modo de extractos vegetales, que contienen metabolitos secundarios con efectos nema tóxicos que pueden controlar las poblaciones de los mismos (Cerna *et al.*, 2019), algunos de los compuestos son: terpenos, alcaloides, esteroides, taninos y aceites esenciales, que se consideran de baja residualidad Handiseni *et al.*, (2017), demostró que los extractos combinados de mostaza como *Brassica juncea* y *Sinapis alba* redujeron considerablemente la población y la producción de huevos de nematodos del

género *Meloidogyne* sp, además de no mostrar efectos fitotóxicos en las plantas a las cual fue aplicado el tratamiento; Zasada *et al.*, (2009) analizó distintas combinaciones de mostazas y descubrió que las principales causantes de la disminución poblacional de los nematodos del género *Meloidogyne incognita*, radicaba en la implementación de dos especies de mostaza *Brassica juncea* y *Sinapis alba*. El uso de la planta de *Artemisia annua* y sus componentes fitoquímicos, también puede ser un gran candidato para el control poblacional de los nemátodos, D'Addabbo *et al.*, (2017) realizaron experimentos en la aplicación de tratamientos tipo enmiendas con los macerados de la planta artemisia, sobre el control de nematodos agalladores como *M. incognita*. y nematodos formadores de quistes como *Globodera rostochiensis*, logrando una supresión del 90% en el control de ambas especies, además de no demostrar efectos fitotóxicos en las plantas del experimento, sino al contrario, se beneficiaron con relación al crecimiento y rendimiento en su producción comparadas con el control.

Justificación

Debido al daño ecológico que ocasionan los nematicidas químicos, además de su constante aplicación durante el periodo de producción, es necesario brindar una alternativa eficaz, para el control de la población de nematodos perjudiciales al cultivo de Chile (*Capsicum annuum*) y Berenjena (*Solanum melongena*); mediante la evaluación de extractos vegetales sobre nematodos de interés económico.

Hipótesis

Los extractos de Mostaza (*Sinapis alba*, *Brassica juncea*) y Artemisia (*Artemisia annua*) contienen componentes fitoquímicos que tendrán un efecto nematicida capaz de reducir las poblaciones de nematodos.

Objetivo General

Identificar los nematodos presentes en el cultivo de Chile (*Capsicum annuum*) y Berenjena (*Solanum melongena*) y evaluar el efecto nematicida de los extractos vegetales crudos de *Sinapis alba*, *Brassica juncea* y *Artemisia annua*.

Objetivos Especifico

- 1.- Identificar la presencia de nematodos en los cultivos de Chile y Berenjena.
- 2.- Obtener extractos de las mostazas *Sinapis alba* y *Brassica juncea*, además de Artemisia (*Artemisia annua*).
- 3.- Identificar metabolitos nema tóxicos presentes en los extractos por medio de cromatografía líquida de alta eficacia HPLC.
- 4.- Evaluar los efectos los extractos obtenidos, sobre los nematodos a nivel laboratorio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Berenjena (*Solanum melongena*)

Importancia Económica

La berenjena es un producto de gran aceptación en países europeos, la producción de berenjena por región se distribuye en Asia con un 94.2%, África con 3.4%, Europa con 1.7% y América con 0.7%, siendo China el principal país productor con 35,555,562 de t, seguido por India con 12,680,000 t, y finalmente Egipto con 1,180,240 t producidas tan solo en 2019, la participación de México en la producción a nivel mundial es pequeña ya que ocupa el 14vo lugar con 185,234 t (Faostat,2019).

El consumo de la berenjena en México es escaso, por la falta de información acerca de las características y de su modo de consumo, sin embargo, esta hortaliza es una opción de potencial económico, debido a sus altos precios en el mercado internacional de algunas de sus variedades, solamente el estado de Sinaloa brinda el 95% de la producción que se exporta en el país (Muy *et al.*, 2002).

Tan solo en el año 2019, la derrama económica que género esta hortaliza fue de 67 millones de dólares en el mercado internacional y teniendo como principales socios comerciales a Estados Unidos de América, Canadá, Reino Unido de la Gran Bretaña, Alemania, Países Bajos, entre otros (Se, 2019). En México en el año 2019, se produjeron 185,233 t de berenjena, de las cuales 172 mil t fueron producidas en Sinaloa, 5,200 t en Nayarit y 2,100 t en Michoacán (Siap, 2019).

Características Morfológicas

Se caracteriza por tener un sistema radical fuerte, su longitud es de 50 cm; su tallo confiere a la planta un porte abierto; sus hojas son enteras, grandes y de peciolo largo, presentan espinas y tienen nervaduras rígidas su envés está protegido de una vellosidad de tono grisáceo; su flor es diversa en número de pétalos y oscila entre 6 y 9, los estambres son prominentes presentan de color amarillo que se encuentran abajo del estigma; su fruto es una baya globosa extensa, de color morado, negro, blanco jaspeado, de morado o verde (Díaz y Salas, 1995; Fornais, 2006).

Nematodos Asociados al Cultivo Berenjena

La berenjena es un cultivo que es muy susceptible a distintos ataques de organismos fitopatógenos como, hongos, bacterias, nematodos e insectos, particularmente es susceptible al ataque de nematodos lesionadores o agalladores, estudios revelan que los nematodos que suelen ser parásitos del cultivo son *Pratylenchus penetrans*, *Meloidogyne hapla*, *Nacobbus aberrans*, *Heterodera schachtii*, *Belonolaimus longicaudatus*, y *Hoplolaimus* sp, pero el nematodo agallador suele presentarse en poblaciones mayores al umbral económico sostenido por la berenjena (Bao y Neher, 2011; Usman y Siddiqui, 2012).

Tanto *Nacobbus* sp como *Meloidogyne* sp, son conocidos por las lesiones que ocasionan en la raíz; en el caso de *Nacobbus* sp en forma de rosario disperso en lo largo de la raíz (anexo Fig. 2 y Fig. 2.1) (Leyva *et al.*, 2013). En el caso del nematodo agallador *Meloidogyne* sp, es conocido por las lesiones que causa en las puntas de las raíces emergentes, en estados tempranos de la planta, en forma de agallas o protuberancias conocidas como células gigantes (anexo Fig.3), son las responsables del poco desarrollo de la planta lo que conlleva a una pobre producción y finalmente en una marchites del hospedero afectado, lo que reduce la productividad del cultivo entre el 50 y el 100% (Zhang *et al.*, 2020).

Chile (*Capsicum annum*)

Importancia Económica

La producción de chile a nivel mundial está distribuida de la siguiente manera, Asia con 68.3%, América con 13%, África con 9.5%, Europa con 9% y Oceanía con el 0.1%, siendo China el principal productor de chile con 18,978,027 t, seguido por México con 3,238,245 t, y Turquía con 2,625,669 t (Faostat, 2019).

En el caso del chile verde, es de gran importancia económica no solo para México si no que mundialmente es una de las hortalizas de alta demanda (Chavarro *et al.*, 2017), por su variedad de presentaciones ya sea fresco, cocido, o industrializado en encurtido, congelado, deshidratado o enlatado, su versatilidad ha logrado ser una parte importante de identidad nacional, así como de valor económico (Martínez, 2012).

En el año 2019 la producción de chile verde a nivel nacional dejó una derrama económica de 605 millones de dólares, teniendo como principales socios comerciales a Estados Unidos de América, Canadá, y Países Bajos (Se, 2019). En México la producción en el año 2019 fue de 3,238,245 t de las cuales se distribuyen en la producción nacional de la siguiente manera: Sinaloa con 757,000 t, Chihuahua con 682,000 t y Zacatecas con 450,000 t (Siap, 2019).

Características Morfológicas

Este cultivo se caracteriza por ser una planta herbácea de ciclo anual con un porte variable, su sistema radicular es pivotante con una profundidad de 5 a 40 cm, su tallo puede llegar a una altura de 70 a 120 cm; su hoja es plana de forma ovoide alargada o lanceoladas, su pedicelio es largo y pueden presentar vellosidades; su flor es perfecta, de color blanco y en ocasiones púrpura; su fruto es recto, ligeramente encorvado y en algunas ocasiones de forma cónica de cuerpo cilíndrico (Valadez, 1994; La, 2021).

Nematodos Asociados al Cultivo de Chile

El cultivo de chile verde es susceptible al ataque de *Meloidogyne* sp, *Nacobbus* sp, *Helicotylenchus* sp, *Pratylenchus* sp, *Rotylenchulus* sp, entre otras más especies (Badilla, 2018), sin embargo el nematodo que se encuentra estrechamente asociado a este tipo de cultivo y ocasiona, daños económicos altamente sustanciales es *Meloidogyne* sp. seguido por *Nacobbus* sp, esto es común en cultivares que se producen en lugares templados, subtropicales y tropicales, el nematodo falso agallador *Nacobbus* sp (anexo Fig. 4.1), también afecta de manera seria los cultivos de chile verde, provocando lesiones en forma de agallas las cuales asemejan a las generadas por de *Meloidogyne*, pero con la característica de que estas agallas están separadas unas de otras ocasionando así daño radicular e inclusive lesiones que pueden desencadenar bajos rendimientos hasta la muerte del hospedero (Lax *et al.*, 2016).

Los nematodos del género *Meloidogyne* sp son altamente infectivos por lo que los cultivos de chile también son susceptibles a este patógeno del suelo, los daños que llegan a ocasionar son muy importantes, la fase infectiva de este nematodo se centra en el juvenil fase 2 (J2), el cual es que busca principalmente las raíces para lograr alimentarse, penetrarlas y terminar su desarrollo dentro de ellas ocasionando así las ya características agallas o engrosamientos (anexo Fig. 3), atrofiándolas y generando crecimientos pobres en los cultivos, especies como *M. incognita*, son las más agresivas dada su alta capacidad de *reproducción* entre los ciclos de cultivo de tomate, chile y berenjena (Kihika *et al.*, 2017).

Nematodos Fitoparásitos

Los nematodos que afectan recurrentemente a los cultivos de solanáceas como berenjena o chile son los endoparásitos sedentarios, ejemplos de ellos son *Meloidogyne incognita*, *Nacobbus aberrans*, *Globodera rostochiensis* y *Heterodera glycines*, ellos causan daños de gran importancia económica en el cultivo, pues sus hábitos de alimentación atrofian a las raíces que parasitan produciendo enzimas y secreciones que provocan cambios en la célula causando hiperplasia e hipertrofia de las raíces (Khan, 2015). Los factores principales para la proliferación de estos agentes patógenos es la falta de rotación de cultivos y la continua siembra de cultivos como papa, tomate, chile, berenjena, etc., lo que a su vez crea las condiciones para mantener las poblaciones de estos en raíces y suelo (Renato *et al.*, 2007; Chaves *et al.*, 2011). Los nematodos agalladores, ocasionan pérdidas que rondan en los 157 billones de dólares y se estima que cerca de 500 millones de dólares al año son utilizados para el control de los mismos (Hassan *et al.*, 2013; Ngala *et al.*, 2016)

La dispersión de los nematodos se puede generar por almácigos restantes del ciclo anterior que actúan como reservorios de huevecillos, también por semilleros contaminados, el tipo de riego, o el mismo trabajo mecánico de labranza de suelo, aunado a esto factores abióticos como la temperatura en el suelo de entre 16 y 25 °C favorecen la proliferación y activación de los nematodos para su reproducción (Latorre, 1990).

Las sintomatologías principales para identificación de poblaciones de nematodos se pueden evidenciar a simple vista por zonas despobladas conocidas como manchones en el predio, clorosis en las hojas más viejas, retraso en su crecimiento o enanismo; los cuales una vez identificados y al analizar las raíces podemos identificar agallas características o nudos que se pueden agrupar en la base de la planta, situación que favorece el ataque de otros patógenos ocasionando pudriciones y debilitamiento de la planta (Talavera y Verdejo, 2015).

Meloidogyne sp

Se describe a *Meloidogyne* como el fitopatógeno de suelo más recurrente en cuanto a pérdidas económicas y de producción, esto dado por su alta adaptación como parásito obligado el cual puede infestar a más de 2000 especies de plantas vegetales, entre las que se encuentran desde frutales, ornamentales y hortalizas (Moens, *et al.* 2009).

Una vez establecidos en la planta afectada, ellos se alimentan de células modificadas llamadas células gigantes, las cuales se producen a consecuencia de secreciones generadas por los nematodos al penetrar la raíz con su estilete (Fig. 5); lo cual provoca varios síntomas tanto aéreos como en el sistema radicular (Khan, 2015). Factores como: la especie del nematodo, la planta hospedante y los niveles de población, influyen en la reproducción y el desarrollo óptimo de estos, causando así un alto número de generaciones en cada temporada del cultivo (Hernández *et al.*, 2012).

Las características particulares de las hembras de este género son: forma de pera, esféricas con un cuello relativamente corto, de color blanquecina, de hábito sedentario, su ano y vulva están localizados no distantes, su región peritica al ano presenta estriaciones similares al de una huella dactilar, también posee seis glándulas rectales con las cuales segrega material que recubre a los huevecillos que oviposita (anexos Fig.6, Fig.7); Para el caso de los machos sus características morfológicas se describen como: forma de gusano delgado alargado, con su cola retorcida y redondeada, ausente de bursa, cuenta con un estilete fuerte el cual puede llegar a medir 18-25 mm con grandes perillas basales (Fig. 8), y espículas un tanto delgadas (Hunt y Handoo, 2009).

Ciclo de Vida de *Meloidogyne* sp

Lo que conocemos del desarrollo de vida del nematodo *Meloidogyne* sp es que, comienza con la fase de huevo, seguido de cuatro estados larvarios llamados: juvenil uno, juvenil dos, juvenil tres y juvenil cuatro, y su fase adulta, no obstante, el tiempo que pasa de un estadio a otro hasta llegar a su fase adulta difiere de elementos como: la temperatura del ambiente donde se desarrolla, la humedad presente en el suelo y la planta que hospeda; *Hernández et al.*, (2012) desarrollaron un experimento en el cual, inocularon juveniles del segundo estadio de *M. incognita* en plantas de tomate para observar y contabilizar el ciclo de vida del nematodo, obtuvieron que a partir del día 6 al 14 se identificaron nematodos juveniles 2 (J2), del día 15 al 20 se identificaron juveniles del tercer estadio (J3) y del día 21 al 23 juveniles del cuarto estadio (J4) se identificaron, las primeras hembras adultas que presentaban una matriz gelatinosa con sus huevecillos dispuestos se observaron luego del día 24 y a partir del día 28 todas las hembras que fueron contabilizadas poseían masas con huevecillos (*Sharma y Trivedi*, 1992; *Khan et al.*, 2006; *Moens, et al.* 2009).

Control de los Nematodos Fitoparásitos

Control químico

El uso de productos químicos para el control de los nematodos, en cierta manera, es uno de los más utilizados por los productores, cuando las alternativas culturales no ayudan a resolver los problemas de altas poblaciones de nematodos, el uso de agroquímicos puede ser una solución rápida para recuperar la rentabilidad de un cultivo comprometido en su producción; la implementación de estos recursos en general es bastante costoso, pero su uso en cultivos rentables como el tomate o chile hacen que su desarrollo en la industria sea cada vez más redituable (Revilla y Palomo, 2016; Chavarro *et al.*, 2017)

Dentro de los productos químicos que se utilizan como nematicidas existen dos grupos: fumigantes y no fumigantes. Los fumigantes son aquellos que son en si volátiles en los que se incluyen el D-D (Dicloro propeno) y 1-3-D (1-3-Dicloropropeno) además de algunos plaguicidas de uso general como: bromuro de metilo, cloropicrina y metil-isocianato. En el caso de los productos no fumigantes, se caracterizan por ser productos no volátiles como fenamifos, oxamilo, aldicarb y carbofuran, (Andre, 2002; Navarro, 2016)

Es una realidad que el uso de plaguicidas agrícolas es excesivo, lo que conlleva a consecuencias que evidencian un peligro potencial para el medio ambiente; además resultan tóxicos para los mismos productores que realizan su manipulación y aplicación por tener contacto directo con estos productos recurrentemente y sin dejar a un lado la posibilidad de que residuos lleguen al consumidor final (Damian, 2016; Maldonado *et al.*, 2020).

Alternativas para el Control de Los Nematodos

Extractos Vegetales

Ante la búsqueda de alternativas que ayuden a la producción alimentaria, la sustentabilidad ecológica y la inocuidad alimentaria para la protección de la salud humana, se ha investigado el cómo las plantas de manera natural logran defenderse de los ataques de los organismos fitopatógenos, se ha identificado que existen compuestos fitoquímicos o metabolitos secundarios que las mismas plantas producen (Garrido *et al.*, 2014). La peculiaridad de estos compuestos es que por ser de origen vegetal tienen la ventaja de no ocasionar daño al medio ambiente y a la salud humana en comparación con sus homólogos sintéticos y generalmente son considerados de baja residualidad (Salazar y Gúzman, 2014).

Ante esta situación se ha desarrollado el estudio y evaluación de distintas plantas, donde se utilizan semillas, raíces, tallos y hojas en forma de extracto (anexo Fig. 9), o en técnicas culturales como lo son las enmiendas, esto por las propiedades nematocidas que se asocian con ciertos compuestos que resultan tóxicos para los nematodos como: alcaloides, fenoles, taninos, terpenos esteroides y aceites esenciales, los cuales sus mecanismos de acción son variables. (Reina *et al.*, 2002; Aballay, 2005).

Extractos de *Artemisia annua*

La planta *Artemisia annua* pertenece a la familia Asteraceae, su nombre común es ajeno chino o ajeno dulce, esta planta es originaria del continente asiático; su distribución abarca desde Europa central y en algunos sitios de América del norte como Canadá y Estados Unidos (Pulice et al., 2016). Se caracteriza por ser una planta herbácea de porte erecto y de tallo único, alcanza una altura de entre 70 a 160 cm, sus hojas inferiores son alternas de 2.5 a 5 cm de longitud, las hojas medias son pecioladas y sus hojas superiores son pinatipartidas, su inflorescencia forma panículos compuestos, sus flores están compuestas por capítulos de 2 a 3 mm de diámetro de coloración amarilla, y su polinización es cruzada (Huang, 2021).

Antecedentes

La planta de *Artemisia annua* ha sido utilizada como una planta medicinal en el país de China, tradicionalmente es consumida en forma de infusión para calmar los escalofríos y fiebre, bajo esta premisa se ha investigado el perfil químico de la planta enunciando distintos tipos de sesquiterpenoides, principalmente lactonas sesquiterpénicas que son únicas para *A. annua*, una de ellas a la cual se le atribuyen sus propiedades terapéuticas es la artemisinina, la cual es producida en la glándulas secretoras de sus tricomas ubicadas en de las partes aéreas de la planta, este compuesto es de interés por su aplicación terapéutica en el tratamiento tradicional de casos leves como severos de malaria (Li et al., 2000, Al et al., 2003; D'Addabbo et al., 2013).

El compuesto artemisinina (anexo Fig.10) es poco soluble en agua, es estable en disolventes neutros, además de ser termo resistente incluso a temperaturas de 150 °C, bajo este antecedente es que se cree tiene un gran potencial para el su uso en la agricultura, además de las plantas de las familias Asteraceae y Brassicaceae han sido utilizadas por sus propiedades nematocidas al ser incorporadas a suelo a manera de enmiendas y por la liberación de compuestos al degradarse en el mismo (Ntalli y Caboni 2012; Carbonara et al., 2012).

Casos de Estudio de *Artemisia annua*

Potencial Nematicida de *Artemisia annua* y sus Principales Metabolitos.

Se evaluó *in vitro* el efecto nematicida del extracto acuoso de *Artemisia annua*, así como algunos de sus componentes: ácido clorogénico (ácido 5-cafeoilquinico, 5-CQA), la artemisinina, el artesunato y el ácido cafeico para el control de los nematodos *Globodera rostochiensis*, *Xiphinema index*, *Meloidogyne incognita* y sus huevecillos, donde los juveniles de *G. rostochiensis*, *X. index* y *M. incognita* fueron expuestos y evaluados en soluciones de 125, 250 y 500 µl/ml durante 2, 4, 8 y 24 h (D'Addabbo *et al.*, 2013).

Para el caso de los huevecillos *G. rostochiensis*, *X. index* y *M. incognita* fueron expuestos solamente al extracto acuoso de *A. annua* durante un periodo de 24, 48, 96 h y 1 o 2 semanas; los resultados obtenidos indicaron que extractos acuosos de *A. annua* fueron eficaces en los juveniles de *G. rostochiensis* en un tiempo de exposición de 4 horas, para el caso de *M. incognita*, se logró obtener un cerca de un 90% de mortalidad en tiempos de exposición de 24 horas, para *X. index* solo las dosis más altas y los tiempos de exposición de 24 horas resultaron efectivos (Li *et al.*, 2006).

En la de eclosión de huevecillos, *M. incognita* presentó resultados efectivos en todas sus dosis y en tiempos de exposición, a diferencia de *G. rostochiensis* en el cual su efecto fue mínimo; el ácido clorogénico y el ácido cafeico no influyeron en los juveniles de *M. incognita*, pero resultaron altamente eficaces con las hembras de *X. index*, incluso en dosis bajas y en periodos cortos de exposición (O'Neill *et al.*, 2010).

Para el compuesto artesunato la mortalidad en *X. index* fue baja y en *M. incognita* casi no se presentó, a diferencia de los juveniles de *G. rostochiensis*; en los bioensayos realizados se logró comprobar la efectividad nematicida de cada compuesto, pero en diferente especie, y el extracto de *A. annua* y sus principales compuestos parecen resultar eficaces para el control de diversas especies de nematodos (Davies y Curtis, 2011).

Manejo Fitoquímico del Nematodo del Nudo de la Raíz (*Meloidogyne incognita*) Kofoid y Chitwood Blanco por *Artemisia* sp. en Tomate (*Lycopersicon esculentum* L.)

Investigación de diferentes especies de *Artemisia* sp fueron desarrollados para conocer su eficacia en contra de *M. incognita* en el tomate, se evaluaron compuestos presentes en *Artemisia elegantissima* y *A. incisa*, utilizando como control positivo un producto químico como carbofuran; se valoró la actividad nematocida de los compuestos contra la inhibición de eclosión de huevos y la mortalidad de juveniles (J2) en un periodo de tiempo de 24, 48, y 72 horas de incubación a concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3 mg/mL *in vitro*, lo que demostró que los compuestos Isoscoptetin, Apigenin y el compuesto químico Carbofuran, exhibieron la mortalidad de los juveniles en un 90% y la inhibición de eclosión de los huevos en un 96% con una concentración de 0.3 mg/mL (Khan *et al.*, 2020; Naz *et al.*, 2013).

En el caso del desarrollo de la planta, los compuestos fitoquímicos, mejoraron el crecimiento y desarrollo de la planta al reducir el número de agallas por planta y las masas de huevecillos en el tomate bajo condiciones de invernadero; donde se presentaron los siguientes resultados por tratamiento de Isoscoptetin: el índice de agallas fue de una agalla, el total de juveniles presentes fue de cuatro; los índices de crecimiento de la planta fueron de 28.48 cm, el peso fresco fue de 72.13 g y el peso seco fue de 35.99 g, el peso de la raíz fresco fue de 6.58 g y el peso seco de raíz 1.43 g todo lo anterior es evidencia de que los compuestos obtenidos de *Artemisia* sp tienen efectos nematocidas y pueden incorporadas al esquema de manejo integrado de plagas (Seo *et al.*, 2010; Kolapo *et al.*, 2009; Chin *et al.*, 2018).

Extractos de *Brassica juncea* Y *Sinapis alba*

Brassica juncea

Es una planta herbácea anual, erecta y poco ramificada, de un tamaño aproximado de 30 a 130 cm de alto, su tallo es ramificado, tiene hojas alternas, de base cuenada, su inflorescencia es de racimo sencillo de hasta 30 cm de largo, sus flores son de 1.2 cm de diámetro, con pétalos de color amarillo claro, sus frutos son pedicelos delgados, sus semillas son globulares de 1.5 a 2 mm en diámetro de color café oscuro con un dibujo tipo reticulado, su raíz es de tipo pivotante, su distribución en México es dispersa abarcando casi todo el territorio nacional (Al Shehbaz, 2010).

Sinapis alba

Es conocida como la mostaza comercial, su comercialización va desde la venta de semilla para fomentos e infusiones medicinales, es una hierba anual, de porte erecto y ramificado y por lo regular hispida, su tallo tiene ramificaciones en la parte superior, su tamaño va desde 30 a 130 cm, su hojas son pecioladas, con el margen dentado, su tipo de inflorescencia es un racimo sencillo, sus flores son sépalos divergentes, con pétalos amarillos claros, sus semillas son de color amarillo pardo de 2 a 3 mm, su raíz es delgada y pivotante, y dentro de sus características especiales es que tiene sabor y olor a mostaza al estrujarse (Al Shehbaz, 2010).

Antecedentes

Dentro de los estudios de las interacciones entre los nematodos y las plantas, la primera que se desarrolló fue la de mostaza y su interacción con el nematodo *G. rostochiensis*, lo cual la curiosidad por descubrir los efectos que causaba la mostaza en el nematodo, llevó a descubrir que el principal compuesto en el aceite de mostaza negra (*Brassica nigra*) era el isotiocianato de alilo, ella lograba inhibir la eclosión de los huevecillos de *G. rostochiensis* en concentraciones muy bajas; en el caso de *S. alba* contiene un compuesto llamado isotiocianato de 2-feniletilo

que se relaciona con el isotiocianato de alilo, el cual en experimentos de laboratorio logró la inhibición de la eclosión de huevecillos a una concentración de 50 µg/mL, además de mejorar el rendimiento de papas en experimentos realizados en campo (Ellenby, 1951; Chitwood, 2002).

El estudio de estos compuestos, los isotiocianatos y su efecto nematocida se ha desarrollado para lograr emular a los nematocidas más eficientes como lo es el metam sodio, el cual se degrada en el suelo para producir isotiocianato de metilo; una de las características que llama la atención del isotiocianato de alilo es que no es tan volátil, pero no se mueve tan bien dentro del suelo, por lo que estrategias como un equipo de inyección y una cobertura de membranas en el suelo puede aumentar su efectividad (Jhonson y Feldemesser, 1987; Mitarai, *et al.*,1997; Chitwood, 2002).

Casos de Estudio de *Brassica juncea* y *Sinapis alba*

Residuos de Semillas de Brasicáceas como Enmiendas del Suelo para Suprimir los Nematodos Parásitos de las Plantas *Pratylenchus penetrans* y *Meloidogyne incognita*.

Se realizó la comparación de la capacidad de mortalidad de diferentes variedades de harinas de semillas de mostaza obtenidas de *Brassica napus*, *B. juncea* y *Sinapis alba*, en contra de poblaciones de *M. incognita* de segundo estadio (J2), y de estadios mixtos de juveniles de *Pratylenchus penetrans* (Zasada *et al.*, 2009). Los tratamientos se aplicaron en concentraciones de 0.5 y el 10% en peso seco incorporados al suelo en ensayos de laboratorio, de igual manera se incluyó un control no enmendado; los resultados expresaron que *B. juncea* fue la harina que suprimió en mayor cantidad a los nematodos con más del 90% con un 0.6% de concentración de harina incorporada al sustrato; en el caso de *S. alba* sus efectos fueron del 90% de supresión con el 1% y 5% de harina de mostaza para *M. incognita* y *P. penetrans* respectivamente; y finalmente para *B. napus* el 90% de supresión se obtuvo con el .25% de harina de mostaza para *M. incognita* y 2.5% para y *P. Penetrans* (Cohen *et al.*, 2005). El tamaño de partícula también es importante para el control de estos organismos, pues la harina de semillas de *S. alba* dio lugar a una supresión de nematodos con valores de supresión de 93% de *P. penetrans* en comparación con la harina de *S. alba* granulada que fue de 37 al 46%, por tal motivo la partícula de las harinas juega un papel importante en la degradación para la obtención de los compuestos de interés, de igual manera no todas las variedades logran tener una buena efectividad, por lo que se debe elegir con cautela una fuente de harina de semillas de mostaza % (Zasada y Ferris, 2003).

Uso de Extractos de Harina de Semillas de Brassicáceas para el Manejo del Nematodo del Nudo de la Raíz en el Pasto Bermuda.

Se evaluó el efecto de los extractos de harina de mostazas para determinar la efectividad en el control del nematodo *M. graminis* en el pasto tipo bermuda, se llevaron a cabo experimentos en laboratorio como en campo donde se evaluó la eficiencia de *B. juncea*, *B. napus* y *S. alba*; en el ensayo en el laboratorio el suelo infestado con juveniles de *M. graminis* se redujo significativamente en comparación con el testigo, de tal manera que los extractos de *B. juncea* fueron los que mayor supresión demostraron seguidos por *S. alba* y *B. napus* (Handiseni *et al.*, 2017).

Los resultados en campo demostraron que las dosis altas de los extractos en proporciones de 90 o 120 g de harina de semillas por litro redujeron las poblaciones de juveniles en el pasto bermuda en comparación con el testigo no tratado; la mostaza *B. juncea* a 90 o 120 g de harina de semillas/L, suprimió los nematodos sin fitotoxicidad y demostró que tiene potencial para su uso recurrente contra de *M. graminis* (Handiseni *et al.*, 2011).

Referencias:

- Andre, M. F. 2002. Estrategias en el control y manejo de nematodos fitoparasitos. *Ciencia y Medio Ambiente*, 221–227.
- Al-Banna, L., Darwish, R. M., & Aburjai, T. 2003. Effect of plant extracts and essential oils on root-knot nematode. *Phytopathologia Mediterranea*, 42, 123–128.
- Aballay, E. 2005. Uso de plantas antagónicas para el control de nematodos fitoparásitos en vides. Santiago de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/19.html).
- Al Shehbaz, I.A. 2010. Brassicaceae. En: Flora of North America Editorial Committee (Eds.). 1993+. Flora of North America North of Mexico, Vol. 7. Oxford University Press, New York, Oxford. consultado: 3 de junio 2021 Disponible en: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=10120&key_no=6
- Atreya, K., Johnsen, F., & Sitaula, B. 2012. Health and environmental costs of pesticide use in vegetable farming in Nepal. *Environment Development and Sustainability*, 14(August), 477–493. <https://doi.org/10.1007/s10668-011-9334-4>
- Ayvar, S., Díaz, J., Alvarado, O., Velázquez, I., Peláez, A., & Tejeda, M. 2018. Actividad nematocida de extractos botánicos contra *Meloidogyne incognita* (KOFOID Y WHITE) EN OKRA (*Hibiscus esculentus* L. Moench). *Biotechnia*, 20(1), 13–19.
- Badilla Jiménez, F. A. 2018. Identificación de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en las principales zonas productoras de Costa Rica Fernando. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA FACULTAD.
- Bao, Y., & Neher, D. A. 2011. Survey of lesion and northern root-knot nematodes associated with vegetables in vermont. *Nematropica*, 41(1), 100–108.
- Bakshi, R.H.K. 2005. Integrated pest management: means for sustainable Agricultural development in the developing countries. *Pakistan Journal. Social Science*. 3, 603–613.

- Carbonara, T., Pascale, R., Argentieri, M. P., Papadia, P., Fanizzi, F. P., Villanova, L., & Avato, P. 2012. Phytochemical analysis of a herbal tea from *Artemisia annua* L. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 62, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.01.015>
- Cerna-Chávez, E., Alejandro-Rojas, G., Ochoa-Fuentes, Y. M., Aguirre-Uribe, L., Landeros-Flores, J., & Hernández-Bautista, O. 2019. Evaluación in vitro de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia Fungorum*, 49(February 2018), e1245. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1245>
- Chavarro-Carrero, E. A., Valdovinos-Ponce, G., Gómez-Rodríguez, O., Nava-Díaz, C., Aguilar-Rincón, V. H., & Valadez-Moctezuma, Y. E. 2017. Respuesta de la línea 35-3 de chile tipo huacle (*capsicum annuum*) a dos poblaciones de *nacobbus aberrans*. *Nematropica*, 47(1), 74–85.
- Chaves, C. G., Marcillo, E. M., & Gonzalez, C. S. 2011. Susceptibilidad de genotipos de *Solanum* spp. al nematodo causante del nudo radical *Meloidogyne* spp. (chitwood). *Acta Agronómica*, 60(1), 50–67.
- Chin, S., Behm, C. A., & Mathesius, U. 2018. Functions of flavonoids in plant–Nematode interactions. *Plants*, 7(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants7040085>
- Chitwood, D. J. 2002. Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 221–249. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045>
- Cohen, M. F., Yamasaki, H., & Mazzola, M. 2005. *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of *Rhizoctonia* root rot. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(7), 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.027>
- Cuevas-Arias, C. T., Vargas, O., & Rodríguez, A. 2008. Solanaceae diversity in the state of Jalisco, Mexico Diversidad de la familia Solanaceae en el estado de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(1), 67–79.
- D’Addabbo, T., Argentieri, M. P., Radicci, V., Grassi, F., & Avato, P. 2017. *Artemisia annua* compounds have potential to manage root-knot and potato cyst nematodes. *Industrial Crops and Products*, 108(March), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.025>
- D’Addabbo, T., Carbonara, T., Argentieri, M. P., Radicci, V., Leonetti, P., Villanova, L., & Avato, P. 2013. Nematicidal potential of *Artemisia annua* and its main metabolites. *European Journal of Plant Pathology*, 137(2), 295–304. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0240-5>

- Damián, G. J. 2016. Manejo Integrado de Nematodos en la Agricultura Protegida. Sesión del Quinto Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Intagri-Universidad de Almería. Gto., México. -Tello, M. J. C. 2016. Los Nematodos. Sesión del Quinto Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Intagri-Universidad de Almería. Gto., México.
- Davies, K. G., & Curtis, R. H. C. 2011. Cuticle Surface coat of plant-parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 135–156.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-121310-111406>
- Días, TR; Salas, J. 1995. Producción de hortalizas. 2 ed. Maracay, Venezuela, Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Lara. 208 p. (Serie B).
- Environmental Protection Agency, Fenamiphos; Amendment To Use Deletion and Product Cancellation Order, 2011, Federal Register [EPA–HQ–OPP–2003–0200; FRL–8888–4], / Vol. 76, No. 193 / Wednesday, October 5, 2011.
- ELLENBY, C. 1951. Mustard Oils and Control of the Potato-Root Eelworm, *Heterodera Rostochiensis* Wollenweber: Further Field And Laboratory Experiments. *Annals of Applied Biology*, 38(4), 859–875.
[doi:10.1111/j.1744-7348.1951.tb07856.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1951.tb07856.x)
- Faostat. 2019. Top 10 Country Producción of Berenjenas 2019. consultado 1 de junio 2021, disponible en:
http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity
- Fornais, G. J. 2006. ‘Características de la planta’, in *Conjunto Tecnológico para La Producción De Berenjena*, pp. 9–11. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2012.03.001>.
- Garrido Cruz, F., Cepeda Siller, M., Hernández Castillo, F. D., Ochoa Fuentes, Y. M., Cerna Chávez, E., & Margarita, D. M. A. 2014. Efectividad biológica de extractos de *Carya illinoensis*, para el control de *Meloidogyne incognita*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1317–1323.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.876>
- Handiseni, M., Brown, J., Zemetra, R., & Mazzola, M. 2011. Herbicidal Activity of Brassicaceae Seed Meal on Wild Oat (*Avena fatua*), Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*), Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus*), and Prickly Lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Technology*, 25(1), 127–134.
<https://doi.org/10.1614/wt-d-10-00068.1>
- Handiseni, M., Cromwell, W., Zidek, M., Zhou, X. G., & Jo, Y. K. 2017. Use of brassicaceous seed meal extracts for managing root-knot nematode in bermudagrass. *Nematropica*, 47(1), 55–62.
- Hassan, M. A., Pham, T. H., Shi, H., & Zheng, J. 2013. Nematodes threats to global food security. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 63(5), 420–425.

<https://doi.org/10.1080/09064710.2013.794858>

- Hernández Ochandía, D., Arias, Y., Gómez, L., Peteira, B., Miranda, I., & Rodríguez, M. G. 2012. Elementos del ciclo de vida de población cubana de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Solanum lycopersicum* L. *Revista de Protección Vegetal*, 27(3), 188–193.
- Huang Hua Hao, *Artemisia annua* Linnaeus, Sp. Pl. 2: 847. 1753, consultado el: (6, junio, 2021) disponible en: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200023164
- Hunt, D. J., & Handoo, Z. A. 2009. Taxonomy, Identification and Principal Species. In R. N. Perry, M. Moens, & J. L. Starr (Eds.), *Root-knot nematodes* (pp. 55–88). CABI. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511753275.017>
- Johnson A.W., Feldmesser J. 1987. Nematicides a historical review. In *Vistas on Nematology*, ed. JA Veech, D. W Dickson, pp. 448–54. Hyattsville, MD: Soc. Nematol.
- Khan, M. R. 2015. Nematode Diseases of Crops in India. In *Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases* (Springer, pp. 182–224). Springer India 2015. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2571-3_1
- Khan, R., Naz, I., Hussain, S., Khan, R. A. A., Ullah, S., Rashid, M. U., & Siddique, I. 2020. Phytochemical management of root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) kofoid and white chitwood by artemisia spp. in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Brazilian Journal of Biology*, 80(4), 829–838. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.222040>
- Khan, T. A., Ashraf, M. S., & Hasan, S. 2006. Pathogenicity and life cycle of *Meloidogyne javanica* on balsam (*Impatiens balsamina*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 39(1), 45–48. <https://doi.org/10.1080/03235400500181345>
- Kihika, R., Murungi, L. K., Coyne, D., Ng'ang'a, M., Hassanali, A., Teal, P. E. A., & Torto, B. 2017. Parasitic nematode *Meloidogyne incognita* interactions with different *Capsicum annum* cultivars reveal the chemical constituents modulating root herbivory. *Scientific Reports*, 7(1), 4–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02379-8>
- Kolapo, A. L., Okunade, M. B., Adejumbi, J. A., & Ogundiya, M. O. 2009. Phytochemical Composition and Antimicrobial Activity of *Prosopis africana* Against Some Selected Oral Pathogens. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 90–93. <http://www.worldagroforestrycentre.org/>
- Kim, D. H., Cho, M. R., Yang, C. Y., Kim, H. H., Kang, T. J., & Yoon, J. B. 2016. Host range screening of the sugar beet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. *Korean journal of applied entomology*, 55(4), 389-403.

- La Jiao, *Capsicum annum* Linnaeus, Sp. Pl. 1: 188. 1753, consultado el (6, junio, 2021) disponible en:
http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200020513
- Lax, P., Rondan Dueñas, J. C., Ramos, D., Doucet, M. E., Braga, R., & Kobori, R. 2016. Host suitability of peppers to the false root-knot nematode *Nacobbus aberrans*. *Crop Protection*, 79, 15–19.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.024>
- Latorre BA. 1990. Plagas de las hortalizas. Manual de manejo integrado. FAO, 522 p. Lecarpentier C, Umaña G, Vega G. 1977. Estudio hidroclimático de la región del Caribe colombiano. *Bull. Inst. Fr. Etudes Andin.* 1(2):7-41.
- Leyva-Mir, S. G., González-Solano, C. M., Rodríguez-Pérez, J. E., & Montalvo-Hernández, D. 2013. Comportamiento de líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(3), 301–313.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.070>
- Li, Y., Huang, H., Wu, Y-L. 2000. Qinghaosu (*Artemisinin*)—A fantastic antimalarial drug from a traditional Chinese medicine. In Liang & Fang (Eds.), *Medicinal chemistry of bioactive natural products*. Wiley, pp. 183–256.
<https://doi:10.1002/0471739340>
- Martínez Frías Juan Carlos, 2012, Propagación y técnicas de cultivo del Chile verde (*Capsicum frutescens*). *Revista Vinculando*.
<https://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-del-chile-verde-capsicum-frutescens.html>
- Maldonado Ortega, V., Ochoa Fuentes, Y. M., & Cerna Chavez, E. 2020. Determinación de plaguicidas organofosforados a trabajadores de control de plagas del estado de Coahuila , México Determination of organophosphate pesticides to pest control workers of the state of Coahuila , México Determinação de pesticidas organofosfor. *Horizonte Sanitario*, 19(2).
<https://doi.org/10.19136/hs.a19n2.3640>
- Mitarai M, Sicut JCV, Uchida Y, Okada Y, Nigata M. 1997. Effect of AITC on the control of nematodes and its optimum application method. *Bull. Fac. Agric. Miyazaki Univ.* 44:35–44.
- Muy-Rangel, D., Siller-Cepeda, J., García-Estrada, R., & Báez-Sañudo, M. 2002. Caracterización Poscosecha De Berenjenas Producidas En Sinaloa, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, VIII(02), 171–176.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2000.11.073>
- Navarro G. M. 2016. Manejo Integrado de Nematodos en Cultivos Hortícolas. FMC. Guadalajara, Jalisco, México. 186 p

- Naz, I., Saifullah, & Khan, M. R. 2013. Nematicidal activity of nonacosane-10-ol and 23a-homostigmast-5-en-3 β -ol isolated from the roots of *fumaria parviflora* (*fumariaceae*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(24), 5689–5695. <https://doi.org/10.1021/jf401309r>
- Ntalli, N. G., & Caboni, P. 2012. Botanical nematicides: a review. *Journal of food and agricultural chemistry*, 60, 9929–9940. <https://doi.org/10.1021/jf303107j>
- Ngala, B. M., Valdes, Y., dos Santos, G., Perry, R. N., & Wesemael, W. M. L. (2016). Seaweed-based products from *Ecklonia maxima* and *Ascophyllum nodosum* as control agents for the root-knot nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne hapla* on tomato plants. *Journal of Applied Phycology*, 28(3), 2073–2082. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0684-4>
- O'Neill, P. M., Barton, V. E., & Ward, S. A. 2010. The molecular mechanism of action of artemisinin - The debate continues. *Molecules*, 15(3), 1705–1721. <https://doi.org/10.3390/molecules15031705>
- Pulice, G., Pelaz, S., & Matías-Hernández, L. (2016). Molecular farming in *Artemisia annua*, a promising approach to improve anti-malarial drug production. *Frontiers in Plant Science*, 7(MAR2016), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00329>
- Reina, Y.; Crozzoli, R. y Greco, N. 2002. Efecto nematicida del extracto acuoso de hojas de algodón de seda *Calotropis procera*, sobre diferentes especies de nematodos fitoparasíticos. *Fitopatología Venezolana*. 15:44-49.
- Renato, C., Perichi, G., Lugo, Z., Medina, R., & Castellano, G. 2007. Nematodos fitoparasíticos asociados a cultivos de importancia agrícola en el estado Falcón y estrategias de control de *Meloidogyne* spp. en melón (*Cucumis melo*). *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas*, 20(1), 21.
- Revilla Cervantes, P., & Palomo Herrera, A. A. 2016. Comportamiento con Diferentes Enmiendas Orgánicas del Nematodo del Nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919), *Chitwood1949*, en Pimiento Paprika (*Capsicum annum* L.). 77(2), 212–217.
- Salazar, W., & Gúzman, T. 2014. Efecto nematicida de extractos de *Quassia amara* y *Brugmansia suaveolens* sobre *Meloidogyne* sp. asociado al tomate en nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 111–119. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v25n01_111.pdf
- Seo, S. M. I., Junheon, K., Eunae, K., Park, H. M. I., Kim, Y. J., & Park, I. L. K. 2010. Structure-Activity relationship of aliphatic compounds for nematicidal activity against pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1823–1827. <https://doi.org/10.1021/jf902575f>
- Shakeel, Q., Javed, N., Y. Iftikhar, Y., Haq2, I. U., Khan, S. A., & Ullah, Z. 2012. ASSOCIATION OF PLANT PARASITIC NEMATODES WITH FOUR VEGETABLE CROPS. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 24(2), 143–148.

- Sharma, A., & Trivedi, P. C. 1992. Studies on the life cycle of *Meloidogyne incognita* in two cultivars of trigonella *Foenum-graecum*. *Nematology Mediterranean*, 20, 2015–2216.
- SECRETARIA DE ECONOMÍA, 2019, datos de exportación nacional, consultado: 3 de junio del 2021, disponible en: <http://www.economia-snci.gob.mx/>.
- Sierra-Muñoz, J. C., Siqueiros-Delgado, M. E., Flores-Ancira, E., Moreno-Rico, O., & Arredondo-Figueroa, J. L. 2015. Riqueza y distribución de la familia solanaceae en el estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 97–117. <https://doi.org/10.17129/botsci.63>
- SIAP, 2019, Cierre de la producción agrícola, consultado: 6 de junio del 2021, disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Talavera, M., & Verdejo-Lucas, S. 2015. Gestión de nematodos fitoparásitos. In *Horticultura* (Vol. 316, pp. 16–21).
- Usman, A., & Siddiqui, M. A. 2012. Effect of some fungal strains for the management of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on eggplant (*Solanum melongena*). 8(1), 213–218.
- Valadez, L. A. 1994. Producción de hortalizas, ed. Limusa 4a edición, México.
- Valencia Serna, R. A., Guzmán Piedrahita, Ó. A., Villegas Estrada, B., & Castaño Zapata, J. 2014. Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano dominico hartón (Musa AAB simmonds). *Luna Azul*, 39, 165–185. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.11>
- Zasada, I. A., & Ferris, H. 2003. Sensitivity of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans* to isothiocyanates in laboratory assays. *Phytopathology*, 93(6), 747–750. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.6.747>
- Zasada, I. A., Meyer, S. L. F., & Morra, M. J. 2009. Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 41(3), 221–227.
- Zhang, C. M., Xu, M. J., Gong, Y., Li, X. W., Huang, J. J., Zhou, S. F., Xing, K., & Qin, S. 2020. Identification and characterization of nematicidal activity of organic volatiles from a Pseudomonad rhizobacterium. *Rhizosphere*, 16(August), 100244. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100244>

ARTÍCULOS

Nematodos asociados al cultivo de Berenjena (*Solanum melogena*) y densidad poblacional.

Roberto Rios Valadez¹

Melchor Cepeda Siller¹

Ernesto Cerna Chávez¹

Yisa María Ochoa Fuentes^{1§}

Anselmo Hernández Pérez²

Luis Mario Tapia Vargas²

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola Calzada Antonio Narro 1923, Cp. 25315, Buenavista, Coahuila, México. Teléfono +52 844 411 0209.

²Campo Experimental Uruapan-INIFAP. Avenida Latinoamericana No. 1101, Colonia Revolución, Uruapan, Michoacán, México. ³Campo Experimental Valle de Apatzingán, Carretera Apatzingán cuatro caminos km 17.5, Antúnez, Parácuaro, Michoacán, Cp. 60781.

ing.roberto.rios@hotmail.com, melchoresraza2010@hotmail.com, jabaly1@yahoo.com, yisa8a@yahoo.com, hernandez.anselmo1@gmail.com, mariotv60@hotmail.com

[§]Autor de correspondencia: yisa8a@yahoo.com

RESUMEN

La berenjena es un cultivo de gran desarrollo y oportunidad de crecimiento económico a nivel mundial, por lo anterior se puede ver comprometido por plagas y enfermedades fitopatógenas que afecten el rendimiento en la producción del cultivo, el objetivo de la investigación fue la identificación de nematodos asociados al cultivo de la berenjena (*Solanum melogena*) y su densidad poblacional. el muestreo se realizó en el estado de Aguascalientes en la comunidad de Cañada Honda (LAT 22,002254, N 22°0'8,11584'', LON -102,192580, W 102°11'33,2862'') en

el año 2019, la técnica utilizada de extracción de nematodos filiformes, fue la de tamizado y fluctuación por medio de centrifuga con solución de sacarosa. Las claves para la identificación de nematodos, fueron las propuestas por Cid del Prado (2009), las claves de Nickle (1991), Eisenbach (1985) y Hunt & Handoo (2009); para las muestras de raíz se realizó la disección de las agallas para la obtención de los posibles nematodos existentes en la raíz, de igual manera se realizó un análisis visual de cada raíz y se clasificó el daño causado por agallas en raíz. El promedio de nematodos en cada muestra de suelo analizada fue de 85 nematodos en 100g de suelo, el índice de daño a las raíces demostró un valor de 5 a 6 según la escala de Bridge y Page, Se identificó cuatro géneros: *Nacobbus* spp, *Rhabditis* spp, *Psilenchus* spp, *Dorylaimus* spp.

Palabras clave: Agallas, *Nacobbus*, Solanaceae.

Abstract

Eggplant is a highly developed crop and an opportunity for economic growth worldwide, this business opportunity can be compromised by pests and phytopathogenic diseases that affect the yield in the production of the crop, the intention of this research is to know the density population and identification of phytopathogenic nematodes present in the cultivation of eggplant (*Solanum melogena*), the sampling was carried out in the state of Aguascalientes in the community of Cañada Honda (LAT 22,002254, N 22 ° 0'8,11584'', LON -102,192580, W 102 ° 11'33,2862'') in 2019, the filiform nematode extraction technique used was sieving and fluctuation by centrifuge with sucrose solution. The keys for the identification of nematodes were those proposed by Cid del Prado (2009), the keys by Nickle (1991), Eisenbach (1985) and Hunt & Handoo (2009); For the root samples, the dissection of the galls was carried out to obtain the possible nematodes existing in the root, in the same way a visual analysis of each root was carried out and the damage caused by root galls was classified. The average number of nematodes in each soil sample analyzed was 85 nematodes in 100 g of soil, the root damage index showed a value of 5 to 6 according to the Bridge and Page scale. Four genera were identified: *Nacobbus* spp, *Rhabditis* spp, *Psilenchus* spp, *Dorylaimus* spp.

Key words: Galls, *Nacobbus*, Solanaceae.

La berenjena es un cultivo de gran desarrollo y oportunidad de crecimiento económico a nivel mundial, tan solo en el año 2017 su producción mundial fue liderada por China con un volumen de 32 908 763 ton seguido por India con 12 500 00 ton y Egipto con 510 000 ton, México ocupa el lugar número 13 a nivel mundial con una producción de 184 872 ton. (FAOSTAT, 2017). En el año 2018 el principal estado productor fue Sinaloa con 178 586 ton, seguido de Yucatán con 4 426 ton y Sonora con 1 433 ton (SIAP, 2018).

Las ganancias que manifiesta la exportación de la berenjena a nivel nacional en el año 2018 fueron en promedio de 4 684 658 de dólares y su valor más alto se ve reflejado durante el mes de marzo con un valor de 10 097 391 de dólares, por lo que podemos observar una oportunidad de negocio si se logra llegar a más países (SE, 2018). Esta oportunidad de negocio, se puede ver comprometida por plagas y enfermedades fitopatógenas que afecten el rendimiento en la producción del cultivo, como los nematodos; conocidos como organismos vermiformes o filiformes (Medina *et al.*, 2018), además de que existen pocos estudios realizados con relación a los nematodos y el cultivo de la berenjena.

Los nematodos ocasionan daños en las raíces, dificultando la absorción de agua y nutrientes, además del entorpecimiento de la translocación de minerales y el mal desarrollo de la fotosíntesis, a consecuencia de estas deficiencias la planta no se desarrolla satisfactoriamente disminuyendo su rendimiento (Anwar y Mckenry, 2010). Algunos géneros de nematodos son extremadamente agresivos tal es el caso de *Pratylenchus* spp., *Ditylenchus* spp. *Psilenchus* spp., y el falso agallador, *Nacobbus* sp. en conjunto con *Meloidogyne* spp., este último está compuesto por 98 especies dentro de las cuales la especie *chitwood*, *incognita*, *arenaria*, *hapla*, *javanica* y *arenaria*, son las responsables de ocasionar pérdidas económicas de entre un 12 a un 20 % en los cultivos donde se presentan (Jones *et al.*, 2013; Karssen, *et al.*, 2013; Hussey y Janssen, 2002). Por lo anterior es necesario conocer los géneros de nematodos asociados al cultivo de berenjena y su densidad poblacional.

El muestreo se realizó en el estado de Aguascalientes en la comunidad de Cañada Honda (LAT 22,002254, N 22°0'8,11584'', LON -102,192580, W 102°11'33,2862'') en el año 2019 en el cultivo de berenjena; se obtuvieron un total de 25 muestras compuestas de suelo en un perfil de 0-30 cm de profundidad, se recolectaron 200 a 400 g de suelo; se tomaron 25 muestras de raíz, las muestras fueron procesadas de forma individual, se realizó el cálculo de la población de nematodos de cada punto de muestreo con el objetivo de conocer la variación en la población y al final se promedió el total de nematodos extraídos de los 25 puntos para determinar la densidad de nematodos encontrados en el cultivo con base a 100 g de suelo por muestra, La técnica utilizada de extracción de nematodos filiformes, fue la de tamizado y fluctuación por medio de centrífuga con solución de sacarosa (Jenkins, 1964). Las claves para la identificación de nematodos, fueron las propuestas por Cid del Prado (2009), las claves de Nickle (1991), Eisenbach (1985) y Hunt & Handoo (2009); las muestras de raíz se realizó la disección de las agallas y un análisis visual de cada raíz y se clasificó el daño causado por agallas en raíz en referencia a Bride and Page (1980). El promedio de nematodos encontrados en cada muestra de suelo analizada fue de 85 individuos en 100g de suelo, contabilizando como valor mayor por unidad de muestra de 178 nematodos en 100g de suelo y como valor menor 9 nematodos en 100g de suelo analizado. El límite de tolerancia así como el umbral económico de los nematodos, son valores que debemos de conocer para lograr obtener altos rendimientos en nuestra cosecha, autores como Shurtleff, *et al.* (1997) y Ferris (1981) indican que la densidad poblacional de nematodos que compromete a la productividad de un cultivo debe ser mayor de 30 nematodos por 100g de suelo, así mismo el límite de tolerancia está por debajo de los 20 nematodos por 100g de suelo, más sin embargo, según sea el género presente en nuestro cultivo, el límite de tolerancia y el umbral económico se puede ver modificado por los hábitos y voracidad de los nematodos presentes.

Los generos de nematodos identificados en el predio analizado fueron los siguientes: *Nacobbus* spp: Se identificó el género *Nacobbus* spp en las muestras de raíz observando un notable dimorfismo sexual, con estilete y bulbo medio bien definido, hembras adultas de forma fusiforme

y de aspecto hinchado, globoso, con un solo ovario y una vulva ubicada en la parte casi al final de cuerpo con o sin masas de huevecillos; en el caso de los machos estos se encontraron en el suelo aunado a la raíz, de forma vermiforme en sus estadios juveniles, de forma alargada y delgada de aspecto curvo en su región ventral, de cola redondeada, estilete y bulbo medio bien desarrollado (Cid del Prado, 2009; Manzanilla-López, *et al.*, 2002). Este nematodo altamente infectivo de hábitos ectoparásitos durante todos sus estadios juveniles tanto machos como hembras y solamente las hembras maduras permanecen sedentarias, este nemátodo está relacionado con el género *Meloydogine* spp. ya que presenta sintomatologías muy similares en las raíces formando agallas en forma esférica y continua (Perry y Moens, 2006).

Rhabditis spp: Se identificó el género *Rhabditis* spp, tanto hembras como machos son de forma vermiforme, este nematodo presenta una cavidad bucal en forma tubular bien definida al microscopio, manifiesta ausencia de estilete bien definido, su válvula cardia presenta forma de mariposa, en las hembras su vulva se encuentra ubicada al 57% de la longitud de la misma, presenta fasmidios en la región caudal, su cola tiene variantes entre redondeada como filiforme; este nematodo se alimenta de bacterias en el suelo así como de esporas de hongos, esto puede ocasionar un efecto negativo en la producción de las hortalizas, sus hábitos de alimentación degradan la materia orgánica, en el caso del predio analizado, tener una alta densidad poblacional del género ya mencionado ocasiona una falta de nutrientes en el suelo (Cepeda, 2016).

Psilenchus spp: Se identificó el género *Psilenchus*, el cual es de forma vermiforme, su cola presenta la característica de ser filiforme con una terminación en forma de gota, presenta estilete elongado, se puede presentar con sin nódulos basales, este nematodo es ectoparásito, se alimenta de pelos radicales generando necrosis y atrofia radicular, una longitud aproximada de 1 a 1.12 mM. (Cepeda, 2016; Espinosa, *et al.*, 2004; Ferris, 1999)

Dorylaimus spp: Se identificó el género *Dorylaimus* spp, su característica principal es su faso estilete y su cola con una terminación pequeña o mucro, su esófago demuestra una expansión gradual en forma de botella, la vulva en las hembras de este género está ubicada al 60% de la

longitud, de un tamaño considerable de 3 a 5 mm, y con hábito alimenticios muy amplios, en raíz ocasiona lesiones de dejan a la misma con forma de escobilla atrofiando así el sistema radicular (Cepeda, 2016; Shafqat, *et al.*, 1991).

De la población de nematodos obtenida se logró la incidencia de cada género siendo *Nacobbus* spp. el mayor con un 40%, seguido del género *Rhabditis* con un 35%, *Psilenchus* con 20% y *Dorylaimus* con un 5%. El índice de daño a las raíces evidenciado por la formación de agallas fue catalogado con un valor de 5 a 6 según la escala de Bridge y Page (1980), de igual manera dentro de la raíz disectada se encontraron hembras del género *Nacobbus* spp parasitando la planta además de huevecillos a su alrededor. La referencia de los valores establecidos por Bridge y Page (1980) nos indican que el 50% de la raíz esta infestada reduciendo su sistema radical, el valor 6 indica que el sistema radical esta infestado más del 50% y está presente en sus raíces principales, estos valores son preferentemente al género *Meloidogyne* spp, sin embargo se puede interpretar un daño similar al ocasionado por el género *Nacobbus* spp, la densidad de agallamiento puede ser representado con estos valores; el género *Meloidogyne* spp al igual que el género *Nacobbus* spp, son hospederos de solanáceas, por lo tanto se puede representar un valor determinado al daño evidenciado por agallas (Velázquez, 2001).

Conclusión

Se identificaron los géneros de nematodos fitoparásitos como: *Nacobbus* spp en un 40% de incidencia además de una invasión de 50 a 60 % en las raíces de las plantas de berenjena, afectando el rendimiento del cultivo; el nematodo *Rhabditis* spp, en un 30% sin embargo al ser de vida libre no afecta directamente al cultivo; *Psilenchus* spp, y *Dorylaimus* spp, se encontraron de manera conjunta con un 20% y 5% respectivamente.

Literatura citada

Anwar, S.A., Mckenry, M.V. 2010. Incidence and reproduction of *Meloidogyne incognita* on vegetable crop genotypes. Pakistan. *Journal of Zoology* (42):135 – 141.

Bridge, J. & Page, S. L. J. 1980. Estimation of Root-knot Nematode Infestation Levels on Roots Using a Rating Chart, *Tropical Pest Management*. United Kingdom. *International Journal of Pest Management* 26(3):296-298. Doi:10.1080/09670878009414416.

Cepeda Siller, M. 2016. *Nematología Agrícola*. ed. Trillas. 2da Edición. 304 p.

Cid del Prado Vera, I Tovar Soto, A; Hernández, J. A. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. (19):32-39 pp.

Cid del Prado Vera, I. 2009. Claves Taxonómicas y diagnosis de familias y géneros Orden Tylenchida suborden: Tylenchina y Criconematina y Orden Aphelenchida: suborden Aphelenchina: subfamilias Aphelenchoidinae y Rhadinaphelenchinae. Disponible en: <http://nemaplex.ucdavis.edu/Courseinfo/Curso%20en%20Espanol/Claves%20de%20suborden%20Tylenchina.pdf>.

Esienbcach, J.D. 1985. Diagnostic characters useful in the identification of the four most common species of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *In: An advanced treatise on Meloidogyne*. Ed. By J.N Sasser and C.C. Carter. North Carolina State University Graphics. North Carolina, United States. 422 p.

Espinosa Manuel R. Fuentes Ketty C. Juan D. Jaraba. Lozano. Zayda E. 2004. Nematodos Fitoparásitos Asociados Al Cultivo De Papaya (*Carica Papaya* L.) En Córdoba. *Temas Agrarios*. (9):13 – 20.

Ferris, H. 1981. Dynamic action thresholds for diseases induced by nematodes. United States. *Annual Review of Phytopathology*. (19):427-436. Doi: 10.1146/annurev.py.19.090181.002235.

- Hunt, D., y Handoo, Z. 2009. Taxonomy, identification and principal species. London, UK. Journal Root-knot Nematodes. (10):55-97. Doi: 10.1079/9781845934927.0055.
- Hussey, R. S. y Janssen, G. J. W. 2002. Root-knot nematodes: Meloidogyne Species. In: Plant resistance to parasitic nematodes. Starr, J.L., Cook, R. & B r i d g e, J. (e d s). C A B International Bioscience, ed. Egham, United Kingdom. 43-70 pp. Doi: 10.1079/9780851994666.0043.
- Jenkins, W. 1964. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. United States. Plant disease. (48): 692.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-Lopez, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L. and Perry, R.N. 2013. Top 10 plant – parasitic nematodes in molecular plant pathology. UK. Molecular Plant Pathology 14(9): 946-961. Doi: 10.1111/mpp.12057.
- Karssen, G., Wesemael, W. and Moens, M. 2013. Root-knot Nematodes. In: Plant Nematology. Perry, R.N. and Moens, M. (eds) 2nd edition. C A B International, ed. Wallingford, United kingdom. 73- 108 pp. Doi: 10.1079/9781845930561.0000.
- Lima Medina, I. Bravo Rosario, Y. and Aguilar Gómez, M. I. 2018. Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de Maíz (*Zea mais* L.) en las regiones de Puno y Cusco. Peru. Journal of High Andean Research. (20): 31 – 38. Doi: 10.18271/ria.2018.328.
- Manzanilla-López, R. H., M. A. Costilla, M. Doucet, J. Franco, R. N. Inserra, P. S. Lehman, I. V. Cid Del Prado, R. M. Souza, and K. Evans. 2002. The genus *Nacobbus* Thorne and Allen, 1944 (Nematoda: Pratylenchidae): systematics, distribution, biology and management. Nematropica 32:149-227.
- Nickle, W. R. 1991. Manual of Agricultural Nematology. Dekker, CRC ed. Beltsville, Maryland EE.UU. 552p.

Perry, R.N. and Moens, M. 2006. Plant Nematology. CAB International, ed. Wallingford, United Kingdom. 26, 27 pp

SE. 2018. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Fracción. Estadísticas Mensuales. 2018. 07093001. Disponible en: <http://www.economia-snci.gob.mx/>. [Última consulta: 15 de octubre del 2019]

Shurtleff, M.C. and Averre, C.W. III. 1997. The Plant Disease Clinic and Field Diagnosis of Abiotic Diseases. USA. The American Phytopathological Society, St. Paul, 245 pp.

SIAP. 2018. Avance de Siembras y Cosechas Resumen Nacional por Cultivo. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do. [Última consulta: 24 de octubre del 2019]

Velásquez Valle, Rodolfo. 2001. Nematodos Agalladores Afectando Hortalizas y otros Cultivos en el Norte Centro de México. México. Revista Mexicana de Fitopatología. (19): 107- 109 pp

EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS DE *Artemisia annua*, *Brassica juncea* Y *Sinapis alba*, PARA EL CONTROL DE *Meloidogyne incognita*.

in vitro EVALUATION OF EXTRACTS OF *Artemisia annua*, *Brassica juncea* AND *Sinapis alba* FOR CONTROL OF *Meloidogyne incognita*.

Roberto Rios Valadéz¹, Yisa María Ochoa Fuentes^{2*}, Ernesto Cerna Chávez², Jazmín Janet Velázquez³ Guerrero, Valeria Ortega Maldonado¹

¹Estudiante de Postgrado en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. e-mail: ing.roberto.rios@hotmail.com, valepolanco567@gmail.com

²Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. e-mail: yisa8a@yahoo.com*, jabaly1@yahoo.com.

³Culta S.A. de C.V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez 1700, C.P. 89880 Col. Altavista, Cd Mante, Tamaulipas, México. Telefono + 52 831 234 2839. e-mail: jazzguerrero@hotmail.com

*Corresponding autor

SUMMARY

One of the phytopathogenic pests that are difficult to control are the phytopathogenic nematodes, depending on their population density, which can affect vegetable production. There are ecological alternatives such as the use of plant extracts, which have nematode-toxic effects and can control these phytopathogenic organisms. Materials such as *Brassica juncea* mustard seed, *Sinapis alba* and the plant *Artemisia annua* have a nema toxic effect which is able to reduce the populations of *M. incognita*. The effect of extracts of *Artemisia annua*, *Brassica juncea* and *Sinapis alba* were analyzed *in vitro* for the control of the nematode *Meloidogyne incognita*. The extracts that presented the highest percentage of mortality were *S. alba* and *B. juncea* with 90.83%, followed by the Abamectin treatment with 87.91% and finally the treatment that had the least effect on the mortality of the individuals evaluated was *A. annua* with 85.41%. Extracts of *S. alba*, *B. juncea* showed a nema-toxic effect on *M. incognita*.

Key words: Sinigrin, *Meloidogyne incognita*, plant extracts, evaluation.

RESUMEN

Una de las plagas fitopatógenas que es difícil de controlar son los nematodos fitopatógenos, según su densidad poblacional pueden afectar la producción de hortalizas. Existen alternativas ecológicas como el uso de extractos vegetales de plantas, que tienen efectos nema tóxicos y pueden lograr el control de estos organismos fitopatógenos. Materiales como la semilla de mostaza de la variedad *Brassica juncea*, *Sinapis alba* y la planta *Artemisia annua* tienen un efecto nema toxico el cual es capaz reducir las poblaciones de *M. incognita*. Se analizó *in vitro* el efecto de los extractos de *Artemisia annua*, *Brassica juncea* y *Sinapis alba*, para el control del nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. Los extractos que presentaron un mayor porcentaje de mortalidad fueron *S. alba* y *B. juncea* con un 90.83%, seguido del tratamiento Abamectina con un 87.91% y finalmente el tratamiento que tuvo un menor efecto en la mortalidad de los individuos evaluados fue *A. annua* con un 85.41%. Los extractos de *S. alba*, *B. juncea* presentaron un efecto nema toxico en los juveniles de *M. incognita*.

Palabras clave: Sinigrina, *Meloidogyne incognita*, extractos vegetales, evaluación

Introducción

Una de las plagas fitopatógenas que es difícil de controlar son los nematodos fitopatógenos, los cuales son organismos multicelulares de forma filiforme o globosa, que parasitan a las plantas y según su densidad poblacional pueden afectar la producción de hortalizas (Castro *et al.*, 2010). Las pérdidas ocasionadas por estos agentes acumulan cerca de 157 millones de dólares al año, los nematodos agalladores son responsables en gran medida de esta situación, *Meloidogyne* sp es uno de los principales géneros a considerar por su presencia en distintos cultivos (Wesemael *et al.*, 2011), al ser un patógeno localizado en suelo, daña

principalmente la raíz de las plantas, causando deformaciones en forma de agallas (células gigantes) y lesiones que dificultan la absorción de agua y nutrientes, estas heridas hacen susceptible a la planta del ataque de otros organismos fitopatógenos como hongos y bacterias, que provocan en conjunto un daño superior e inclusive la muerte de la planta (Ayvar *et al.*, 2018).

El uso de productos sintéticos para el control de los nematodos, es la opción más común, aunque esto conlleva a diversos problemas de fitotoxicidad como: contaminación del suelo, contaminación de mantos acuíferos y del medio ambiente (Ibrahim *et al.*, 2014), a tal grado que algunos nematicidas como fenamifos y bromuro de metilo han sido prohibidos o son de uso restringido por dependencias internacionales (EPA, 2011). Ante esta situación existen alternativas ecológicas como el uso de extractos vegetales de plantas, que tienen efectos nema tóxicos que pueden lograr el control de estos organismos fitopatógenos (Cerna *et al.*, 2019).

Los extractos de algunas especies de brasicáceas, han tomado importancia en el control de agentes fitopatógenos, estos extractos suministrados en forma de enmienda, liberan sustancias nematicidas como: glucosianatos, isotiocianatos, tiocianatos, nitrilos y distintos compuestos nitrogenados, los cuales también estimulan el desarrollo de microbiota benéfica en el suelo, generando un efecto antagonista nocivo para los nematodos (Zasada y Ferris, 2003, Cohen *et al.*, 2005). El uso de variedades de semilla de *Brassica juncea* y *Sinapis alba* son fuente de estudio para el control de nematodos del género: *Belonolaimus* (Cox *et al.*, 2006), *Pratylenchus* (Zasada, Meyer y Morra, 2009) y *Meloidogyne* (Henderson *et al.*, 2009, Singh *et al.*, 2020), donde el macerado de estas plantas incorporadas al suelo como enmienda, tuvo un efecto nema tóxico, utilizando bajas concentraciones porcentuales en relación peso / peso en suelo seco al sustrato, en el caso de *S. alba* 2.5% y 10 % para lograr la inhibición y proliferación de los nematodos *Meloidogyne incognita* y *Pratylenchus penetrans* y en el caso de *B. juncea* solo se necesitó el 0.5% para la inhibición al 100% de ambos nematodos (Zasada *et al.*, 2009).

El ajeno dulce o *Artemisia annua* es una planta que contiene propiedades curativas por su compuesto artemisinina, *A. annua* presenta un gran potencial para su uso como nematicida, debido a su alto número de fitoquímicos bioactivos como: sesquiterpenos, lactonas y ácidos fenólicos clorogénicos, los cuales se encuentran distribuidos en la planta, se han efectuado análisis *in vitro* de extractos a base agua y se observó efectos nema tóxicos en géneros como *Meloidogyne incognita*, presentando un efecto de hasta el 95% de inhibición de eclosión de huevos y una disminución del 30% en el daño a la raíz *por* juveniles del 2do estadio (Carbonara *et al.*, 2012, D'Addabbo *et al.*, 2013).

El objetivo de esta investigación es analizar *in vitro* el efecto nematicida de los extractos etanólicos obtenidos de *Artemisia annua*, *Brassica juncea* y *Sinapis alba*, para el control del nematodo agallador *Meloidogyne incognita*.

Materiales y Métodos

Obtención de Nematodos

De raíces de berenjena y chile con síntomas de agallamiento, se extrajeron masas de huevos del nematodo *Meloidogyne* sp, utilizando una solución de hipoclorito de sodio, de igual manera se recolectaron los juveniles de segundo estadio presentes en la raíz, utilizando la técnica de flotación centrifugación (Volcy, 1980).

Identificación de nematodos

Para la identificación de los nematodos se realizaron preparaciones sobre porta objetos para su observación al microscopio, de igual manera se realizaron cortes perianales de las hembras globosas para su visualización y comparación con las claves para la identificación de nematodos, propuestas por Cid del Prado (2009), las claves de Hunt and Handoo (2009).

Obtención de extractos

Para la obtención del extracto de *A. annua* se obtuvo material vegetal de la planta, se trituraron hojas y tallo con un molino de mano hasta obtener una partícula de tamaño menor a 1 cm, se colocó dentro de una bolsa de polietileno de primer uso y se almacenó en refrigeración para su posterior uso, para la obtención de los

extractos de *S. alba* y *B. juncea* se obtuvo semilla de ambas variedades, las cuales fueron maceradas con un mortero de porcelana hasta obtener un polvo homogéneo, el cual se recolectó en una bolsa de polietileno de primer uso y se mantuvo en refrigeración para su uso posterior.

Para la obtención de los extractos se pesaron 10 g del material vegetal y semilla de cada variedad por separado, cada caso se colocó dentro de papel filtro a manera de saco, el cual fue colocado dentro del sifón del equipo de Soxhlet. Se vertieron 100 mL de etanol al 70% de concentración en un matraz de fondo plano y se acopló al equipo Soxhlet. Para el montaje del equipo, se ajustó el refrigerante sobre el sifón y este a su vez sobre el matraz de fondo plano, se colocó encima de una parrilla de calentamiento y se fijó con pinzas para bureta a un soporte universal, se conectaron las mangueras de entrada y salida de agua al refrigerante, se llenó una tarja con agua la cual se enfrió con bolsas de gel refrigerante y se colocó una bomba de circulación de agua dentro de la tarja. Acondicionado el equipo para su uso, se encendió la parrilla de calentamiento a 90°C y se prendió la bomba de circulación de agua, una vez iniciada la evaporación y condensación del solvente permaneció por cuatro horas, completado el tiempo se apagó todo y se recolectó el producto obtenido en un frasco ámbar, finalmente se recuperó el solvente en un rotavapor a 15 libras de presión y con una temperatura de 43°C, el extracto obtenido fue almacenado en un frasco ámbar hasta su evaluación (Reyes *et al.*, 2015).

Identificación de metabolitos por medio de HPLC

Los extractos obtenidos fueron evaluados por separado mediante la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), donde se inyectaron muestras de 20 µl, las cuales pasaron por una columna de marca Varian® C18, 150 x 4,6 mm a la velocidad de flujo de .5 ml/min, utilizando acetonitrilo como fase móvil, y una longitud de onda ajustada de luz ultravioleta visible de 254 nm.

Evaluación *in vitro*

Se evaluaron los extractos previamente obtenidos, de 0% hasta el 100% de concentración para determinar su ventana biológica aproximada de cada compuesto, conocido este intervalo, se realizaron bioensayos siguiendo la metodología de Cristóbal *et al.* (2006) en un ambiente controlado. Se evaluó la actividad biológica de los tres extractos, bajo 7 tratamientos y un control como testigo, utilizando como solvente agua destilada, con ocho repeticiones cada uno; y como unidad experimental se utilizaron tubos de marca Eppendorf de 1.5 mL con 30 individuos J2 de *M. incognita*, la preparación de las concentraciones, se realizó por diluciones a partir de una solución madre de cada extracto en vasos de precipitado de 50 mL respectivamente, una vez obtenidas las concentraciones se agregó 1 mL de cada concentración a cada tubo junto con los juveniles, para observar la respuesta de mortalidad. Las dosis del extracto de *A. annua* fueron de 27%, 29%, 31%, 33%, 35%, 37% y 39%, para el caso del extracto de *B. juncea* y *S. alba* las concentraciones fueron de 9%, 11%, 13%, 15%, 17%, 19%, y 21%, y abamectina a 3%, 5%, 6%, 9%, 11%, 13%, 15%, como control químico, las evaluaciones se realizaron a las 24 horas y se consideró como organismos muertos a los individuos que no respondían al estímulo de un alfiler entomológico, en el caso de presentar mortalidad en los testigos, se realizó la corrección de mortalidad mediante la fórmula de Abbot (1925), de los resultados obtenidos, se realizó un análisis Probit para obtener la concentración letal media (CL50) por medio del uso del programa estadístico SAS 9.0, así como un análisis de varianza con una comparación de medias por el método de Tukey elaborado por el programa estadístico R versión 4.0.2.

Resultados

El nematodo identificado de las muestras fue de la especie *M. incognita*, con base a su morfología identificada en el corte perianal realizado. En el caso de los juveniles, se identificaron tanto machos como hembras de la misma especie, diferenciados principalmente por las espículas presentes en la parte distal los machos, además de su región hialina en su parte posterior y cola redondeada.

Se obtuvieron tres extractos acuosos con base etanol al 70% de cada uno de los materiales vegetales, del extracto de *Artemisia annua* de tallo y hojas secas se identificó el compuesto Artemisinina por medio de HPLC bajo las condiciones antes mencionadas, para los extractos obtenidos de semilla macerada de *Sinapis alba* y *Brassica juncea*, el compuesto identificado por medio de HPLC fue Sinigrina, de igual manera bajo las condiciones antes mencionadas (Tabla 1).

Tabla 1. Identificación de compuestos por medio del equipo HPLC

Extracto	Compuesto	Tiempo de retención	Referencia
<i>A. annua</i>	Artemisinina	4.177 min.	4.205 min. (Christen y Veuthey, 2012)
<i>S. alba (m. blanca)</i>	Sinigrina	3.91 min.	3.72min (Herzallah y Holley, 2012)
<i>B. juncea (m. amarilla)</i>	Sinigrina	3.84 min.	

Los resultados obtenidos en la comparación de medias del porcentaje de mortalidad, demuestran que se logró un porcentaje de 25% hasta 90.83% de mortalidad de individuos analizados en los bioensayos correspondientes, es de mencionar que existió mortalidad en los tratamientos testigos y se procedió a corregir la mortalidad.

Los extractos que presentaron un mayor porcentaje de mortalidad fueron *S. alba* y *B. juncea* con un 90.83%, seguido del tratamiento Abamectina con un 87.91% y finalmente el tratamiento que tuvo un menor efecto en la mortalidad de los individuos evaluados fue *A. annua* con un 85.41% además de usar una mayor concentración, el porcentaje más bajo de mortalidad fue del tratamiento *S. alba* con un 25% (Tabla 2).

Con respecto a los valores de CL50, el extracto que presentó el menor valor fue *B. juncea* con 12.87 % y un valor de CL90 de 19.76 %, el extracto que presentó mayor similitud en los valores de CL50 fue *S. alba* el cual presentó una CL50 de 13.19 % y un valor de CL90 de 19.95%, el extracto *A. annua* también logró obtener un efecto nematocida, aunque su concentración porcentual de CL50 fue de 31.19% y su CL90 38.22%, finalmente la Abamectina resultó tener un valor CL50 de 6.69% y una CL90 de 17.50 % (Tabla 3).

Tabla 2. Comparación del porcentaje medias de mortalidad de los extractos evaluados contra J2 de *M. incognita*.

Conc. %	<i>A. annua</i>	Conc. %	<i>S. alba</i>	<i>B. juncea</i>	Conc. %	Abamectina
39	85.41 a	21	90.83 a	90.83 a	15	87.91a
37	78.33 b	19	81.25 b	85 b	13	75 b
35	69.58 de	17	69.04 cd	79.04 cd	11	61.66 ef
33	58.75 fg	15	57.91 fg	57.91 fg	9	48 gh
31	53.7 5gh	13	48.75 h	47.91 h	7	42.33 hij
29	40.83 ijk	11	37.08 klm	37.08 klm	5	39.16 jkl
27	31.25 lm	9	25 m	30.83 m	3	25.41 m

Las letras similares no demuestran diferencia significativa

Discusión:

Con base a la disección de la raíz se identificó dentro de la misma, hembras en forma de pera sin protuberancia terminal, en el corte perianal de las hembras se visualizaron los patrones perianales ovaes a redondeados, con estriaciones onduladas, ausente de campos laterales y un arco dorsal cuadrado (Cid del Prado, 2009). En el caso de los juveniles se identificaron las regiones hialinas en la parte posterior (6-11µm), además de su comparación con las medidas morfométricas descritas por Hunt and Handoo (2009) donde el tamaño de la cola (40–53 µm) y el tamaño del estilete (18-21 µm) corresponden con las descritas por el autor.

Christen y Veuthey (2012), describen que el tiempo de retención del compuesto artemisinina bajo las condiciones similares antes descritas es de 4.205 min, en el extracto de *A. annua*, logramos identificar el compuesto artemisinina en un tiempo de retención de 4.177 min utilizando acetonitrilo como fase móvil, el tiempo de retención se encuentra cerca de rango, lo cual demuestra la estabilidad de este compuesto y su obtención por método soxhlet puede ser eficaz. El uso principal de la *A. annua* es conocido desde tiempos antiguos en china, donde el metabolito artemisinina es usado en la medicina y la industria, esto por el efecto que demuestra en contra de la malaria (Guo, 2016), en adición a este efecto se ha demostrado que la planta *A. annua* tiene un efecto nema toxico en el control de nematodos agalladores de raíz, la presencia de este metabolito se ha logrado representar en hasta un 0.12% en preparaciones de 20, 50, 100 y 200gr de hoja seca en un litro de agua hirviendo (D'Addabbo *et al.*, 2017).

Herzallah y Holley (2012), identificaron el compuesto sinigrina en un tiempo de retención de 3.72 en los extractos de *S. alba*, y *B. juncea*, de igual manera poder corroborar que los tiempos de retención para este compuesto son similares el compuesto identificado mediante HPLC, Sinigrina, se identificó a un tiempo de retención de 3.91 min y 3.84 min respectivamente con el uso de acetonitrilo como fase móvil, ambos tiempos de retención son comparables con el compuesto Sinigrina, la presencia de este compuesto ha demostrado estar presente en diferentes variedades de mostaza, sin embargo las variedades como *B. juncea* y *S. Alba* demuestran contener este compuesto en grandes cantidades. El compuesto Sinigrina es una sal que se encuentra significativamente en las semillas de mostaza, sin embargo la interacción con ciertas enzimas como la mirosinasa, ayudan a hidrolizar la Sinigrina obteniendo compuestos como el alil-isotiocianato, compuesto que tiene efectos tóxicos en nematodos parásitos de plantas, esta sal al ser incorporada como enmienda en forma de semilla o cáscara de semilla de mostaza al suelo, logra hidrolizarse y transformarse en alil-isotiocianato el cual resulta toxico para generos de nematodos como *Meloidogyne hapla* (Dahlin y Hallmann, 2020).

Tabla 3. Comparación de la concentración media letal de los extractos evaluados contra J2 de *M. incognita*.

Tratamiento	CL50	LFI	LFS	CL90	Ec. predicción	P. valor
<i>A. annua</i>	31.19	30.84	31.53	38.22	$Y = -21.68724988 + 14.515198382$	0.971
<i>S. alba</i>	13.19	12.88	13.49	19.95	$Y = -7.988367462 + 7.1304668534$	0.8662
<i>B. juncea</i>	12.87	12.56	13.18	19.76	$Y = -7.64606166 + 6.889110435$	0.4218
Abamectina	7.135	6.698	7.581	17.50	$Y = -2.806387466 + 3.2883292373$	0.0027

El potencial nema toxico de *Artemisia annua* ha sido estudiada por D'Addabbo *et al.* (2013) donde realizó bioensayos *in vitro* contra juveniles de *Xiphinema index*, *M. incognita* y *Globodera rostochiensis* con tratamientos de 125 µl por ml, 250 µl por ml y 500 µl por ml, logrando el 91.2%, 92.6%, y 96.8% respectivamente a las 24 horas de exposición a *M. incognita* y 100% en el caso se *X. index*, posteriormente en 2017 se evaluó efectividad biológica de *A. annua* en especies de *M. incognita*, *M. hapla* bajo los tratamientos de enmiendas y extractos acuosos evaluados en composición de 5,10,20,40 g por kg y 25, 50,100, y 200 g por respectivamente, dichas enmiendas y extractos en concentraciones de 40g por kg y 200g por litro lograron disminuir significativamente las poblaciones de huevecillos y J2 de *M. incognita* (D'Addabbo *et al.*, 2017), lo cual concuerda con los valores obtenidos en este estudio, dado que para lograr un efecto similar mayor del 90% en extracto crudo a las 24 horas de exposición fue necesario utilizar dosis mayores al 30% del extracto *A. annua*.

Cox *et al.* (2006), evaluaron el potencial nema tóxico de varios extractos de plantas para el control del nematodo *Belonolaimus longicaudatus*, donde materiales como cascarilla de semilla de mostaza, flor de noche buena (*Poinsettia* sp), la maleza spurge manchada entre otras, demostraron un efecto de mortalidad de 99%, 50% y 40% respectivamente en un periodo de exposición de 24 horas, evidenciando el efecto tóxico que tienen los extractos a base de brasicáceas sobre los nematodos fitoparásitos. Zasada, Meyer y Morra (2009) demostraron que el uso del residuo de cascarilla de semilla de mostaza como enmiendas en el suelo, ayuda al control de nematodos fitoparásitos, la descomposición de estos residuos de mostaza en el suelo, ayudan a degradar compuestos presentes en la brasicáceas como la sinigrina, que a su vez se transforma hidrolizándose en el suelo como alil isotiocianato, sin embargo, existe diferencia entre variedades de mostaza y su efectividad en la mortalidad de los nematodos como *M. incognita* y *Pratylenchus penetrans*.

El efecto que tienen las variedades mostaza sobre los nematodos fitoparásitos es evidente, pues Handiseni *et al.* (2017), lograron analizar extractos de mostaza en concentración de 30 g/L, 60g/L y 90g/L y con tiempos de exposición de tres, siete y diez días, con lo cual, demostraron que la variedad de mostaza *B. juncea* es la que mejor efecto causó en la mortalidad de los nematodos *M. graminis* en concentraciones de 25 g/L, a lo cual podemos corroborar con nuestra investigación evidenciando que con concentraciones menores a 25 g/L podemos tener un efecto sobre la mortalidad de los juveniles de *Meloidogyne* sp. ya con una dosis de 19% de concentración en un extracto obtenido por medio de soxhlet a una proporción de 10g de macerado en 100 ml, logramos afectar la mortalidad del 90% de los individuos de *M. incognita* evaluados *in vitro*.

Conclusión

Los extractos obtenidos de *Sinapis alba*, *Brassica juncea*, y *Artemisia annua* por medio de soxhlet demuestran que los compuestos que tienen un efecto nema tóxico, pueden ser concentrados y son resistentes a tratamientos térmicos para su obtención; materiales como la semilla de mostaza de la variedad *Brassica juncea* y *Sinapis alba* demostraron tener un efecto nema tóxico sobre los juveniles *Meloidogyne incognita*, sin embargo los extractos de *Artemisia annua* necesitaron de una mayor dosis en comparación con los de *Brassica juncea* y *Sinapis*

Agradecimientos

Se extiende el siguiente agradecimiento al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo otorgado durante los estudios de Doctorado en Parasitología Agrícola a Roberto Rios Valadéz

Bibliografía

- Abbott WS. A method of computing the effectiveness of an insecticide. 1925. J Am Mosq Control Assoc. 1987 Jun;3(2):302-3. PMID: 3333059.
- Ayvar, S., Díaz, J., Alvarado, O., Velázquez, I., Peláez, A., & Tejeda, M. 2018. Actividad nematicida de extractos botánicos contra *Meloidogyne incognita* (KOFOID Y WHITE) EN OKRA (*Hibiscus esculentus* L. Moench). *Biotecnia*, 20(1), 13–19.
- Carbonara, T., Pascale, R., Argentieri, M. P., Papadia, P., Fanizzi, F. P., Villanova, L., & Avato, P. 2012. Phytochemical analysis of a herbal tea from *Artemisia annua* L. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 62, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.01.015>
- Castro, L., Flores-Sánchez, L., & Uribe, L. 2010. Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 21–32. <https://doi.org/10.15517/rac.v35i2.6676>
- Cerna-Chávez, E., Alejandro-Rojas, G., Ochoa-Fuentes, Y. M., Aguirre-Urbe, L., Landeros-Flores, J., & Hernández-Bautista, O. 2019. Evaluación *in vitro* de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia Fungorum*, 49(February 2018), e1245. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1245>

- Cid del Prado Vera, I. 2009. Claves Taxonómicas y diagnosis de familias y géneros Orden Tylenchida suborden: Tylenchina y Criconematina y Orden Aphelenchida: suborden Aphelenchina: subfamilias Aphelenchoidinae y Rhadinaphelenchinae. Disponible en: <http://nemalex.ucdavis.edu/Courseinfo/Curso%20en%20Español/Claves%20de%20suborden%20tylenchina.pdf>. [Accessed 28 Mayo 2021]
- Christen, P., & Veuthey, J. 2012. New Trends in Extraction, Identification and Quantification of Artemisinin and its Derivatives. *Current Medicinal Chemistry*, 8(15), 1827–1839. <https://doi.org/10.2174/0929867013371563>
- Cohen, M. F., Yamasaki, H., & Mazzola, M. 2005. *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of Rhizoctonia root rot. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(7), 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.027>
- Cox, C. J., McCarty, L. B., Toler, J. E., Lewis, S. A., & Martin, S. B. 2006. Suppressing sting nematodes with Brassica sp., poinsettia, and spotted spurge extracts. *Agronomy Journal*, 98(4), 962–967. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0235>
- Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., Moguel-Catzín, S., Marbán-Mendoza, N., Medina-Baizabal, L., Simá-Polanco, P., Peraza-Sánchez, S. R., & Gamboa-Angulo, M. M. 2006. *IN VITRO SENSITIVITY OF MELOIDOGYNE INCOGNITA TO EXTRACTS FROM NATIVE YUCATECAN PLANTS Meloidogyne spp . are recognized as the most destructive plant parasites in the world . These polyphagous nematodes have world-wide distribution , and are found in impo.* 89–98.
- D’Addabbo, T., Argentieri, M. P., Radicci, V., Grassi, F., & Avato, P. 2017. Artemisia annua compounds have potential to manage root-knot and potato cyst nematodes. *Industrial Crops and Products*, 108(March), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.025>
- D’Addabbo, T., Carbonara, T., Argentieri, M. P., Radicci, V., Leonetti, P., Villanova, L., & Avato, P. 2013. Nematicidal potential of Artemisia annua and its main metabolites. *European Journal of Plant Pathology*, 137(2), 295–304. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0240-5>
- Dahlin, P., & Hallmann, J. 2020. New insights on the role of allyl isothiocyanate in controlling the root knot nematode *Meloidogyne hapla*. *Plants*, 9(5), 1–13. <https://doi.org/10.3390/plants9050603>
- Environmental Protection Agency, Fenamiphos; Amendment To Use Deletion and Product Cancellation Order, 2011, Federal Register [EPA–HQ–OPP–2003–0200; FRL–8888–4], / Vol. 76, No. 193 / Wednesday, October 5, 2011.
- Guo, Z. 2016. Artemisinin anti-malarial drugs in China. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 6(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2016.01.008>
- Handiseni, M., Cromwell, W., Zidek, M., Zhou, X. G., & Jo, Y. K. 2017. Use of brassicaceous seed meal extracts for managing root-knot nematode in bermudagrass. *Nematropica*, 47(1), 55–62.
- Henderson, D. R., Riga, E., Ramirez, R. A., Wilson, J., & Snyder, W. E. 2009. Mustard biofumigation disrupts biological control by Steinernema spp. nematodes in the soil. *Biological Control*, 48(3), 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.12.004>
- Herzallah, S., & Holley, R. 2012. Determination of sinigrin, sinalbin, allyl- and benzyl isothiocyanates by RP-HPLC in mustard powder extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 47(2), 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.022>
- Hunt, D. J., & Handoo, Z. A. 2009. Taxonomy, Identification and Principal Species. In R. N. Perry, M. Moens, & J. L. Starr (Eds.), *Root-knot nematodes* (pp. 55–88). CABI. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511753275.017>
- Ibrahim, H. S., Hamouda, S. E. S., El-kady, A. M. A., & Abd-Alla, H. I. 2014. Study the Nematicidal Efficiency of Corchorus olitorius, Cinnamomum camphora, Portulaca oleracea and Lantana camara Extracted Saponins and Their Formulations on Root-Knot Nematodes *Meloidogyne* Spp. Hala.

Nature and Science 2014;12(11), 12(11), 40–45.

- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. 2015. Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their Modeling. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 275–297. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9099-2>
- Singh, B., Devindrappa, Hazra, K. K., Singh, U., & Gupta, S. 2020. Eco-friendly management of *Meloidogyne javanica* in chickpea (*Cicer arietinum* L.) using organic amendments and bio-control agent. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120542. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120542>
- Wesemael, W. M. L., Viaene, N., & Moens, M. 2011. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. *Nematology*, 13(1), 3–16. <https://doi.org/10.1163/138855410X526831>
- Zasada, I. A., & Ferris, H. 2003. Sensitivity of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans* to isothiocyanates in laboratory assays. *Phytopathology*, 93(6), 747–750. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.6.747>
- Zasada, I. A., Meyer, S. L. F., & Morra, M. J. 2009. Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 41(3), 221–227.

CONCLUSIÓN GENERAL

- 1.- Se logró identificar los nematodos fitoparásitos *Nacobbus* sp, *Meloidogyne incognita*, *Rhabditis* sp, *Psilenchus*, sp y *Dorylaimus* sp.
- 2.- Se obtuvieron extractos acuosos de los materiales de semilla de *Sinapis alba*, *Brassica juncea* y *Artemisia annua*.
- 3.-Se identificaron los metabolitos Artemisinina y Sinigrina, en los extractos de *Artemisia annua* y *Sinapis alba* y *Brassica juncea* respectivamente.
- 4.- Se evaluaron los efectos de los extractos obtenidos de *Artemisia annua* y *Sinapis alba* y *Brassica juncea*.
- 5.- Las dosis de los extractos de *Sinapis alba* y *Brassica juncea* fueron menores en comparación con los extractos de *Artemisia annua*.

ANEXOS

Fig. 1 Recolección de muestras con síntomas en parte aérea de la planta



Fig.2 Raíz con agallas provocadas por *Nacobbus*



Fig. 2.1 Raíz con agallas provocadas por *Nacobbus*



Fig.3 Raíz con agallas provocadas por *Meloidogyne* sp



Fig.4 Hembra de *Nacobbus*



Fig. 4.1 Hembra de *Nacobbus*



Fig. 5 Hembra de *Meloidogyne* en raíz



Fig. 6 Hembras de *Meloidogyne* en raíz



Fig. 7 Corte perianal de *M. incognita*

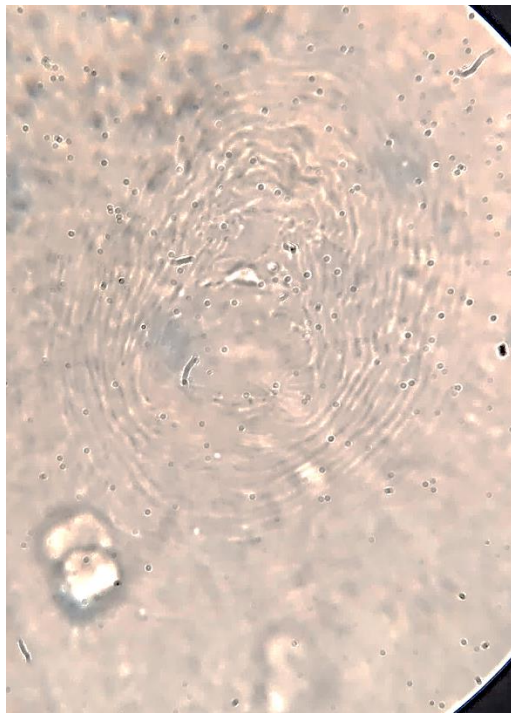


Fig. 8 Macho juvenil de *M. incognita*



Fig. 9 Equipo soxhlet para extracción de extractos vegetales



Fig. 10 Cromatograma de *Artemisia Annua*

