

Nematodos, amigos y enemigos de los cultivos.

<https://doi.org/10.25009/pc.v1i3.40>

Resumen: Los nematodos, organismos microscópicos esenciales para los ecosistemas, representan uno de los grupos más extensos del reino Animal, con una biodiversidad que supera las 25,000 especies conocidas y se estima que existen más de medio millón. Cumplen funciones variadas en la naturaleza, desde la descomposición de materia orgánica hasta la alimentación de otros seres vivos. Sin embargo, algunos son parásitos que causan daños económicos significativos en la agricultura, con pérdidas estimadas en 80 billones de dólares anuales. El uso de agroquímicos para su control plantea riesgos de contaminación y toxicidad. En Veracruz, el nematodo *Meloidogyne paranaensis* impacta negativamente en la producción de café, un problema que aún requiere más investigación para desarrollar estrategias de manejo efectivas. La Universidad Veracruzana está investigando para enfrentar este reto.

Palabras clave: Nematodos, Ecosistemas, Agroquímicos, Caficultura, Investigación científica

Abstract: Nematodes, microscopic organisms essential to ecosystems, represent one of the most extensive groups in the Animal kingdom, with a biodiversity exceeding 25,000 known species and an estimated total of over half a million. They perform various functions in nature, from decomposing organic matter to feeding other living beings. However, some are parasites that cause significant economic damage to agriculture, with estimated losses of 80 trillion US dollars annually. The use of agrochemicals for their control poses risks of pollution and toxicity. In Veracruz, the nematode *Meloidogyne paranaensis* negatively impacts coffee production, a problem that still requires further research to develop effective management strategies. The Universidad Veracruzana is conducting research to address this challenge.

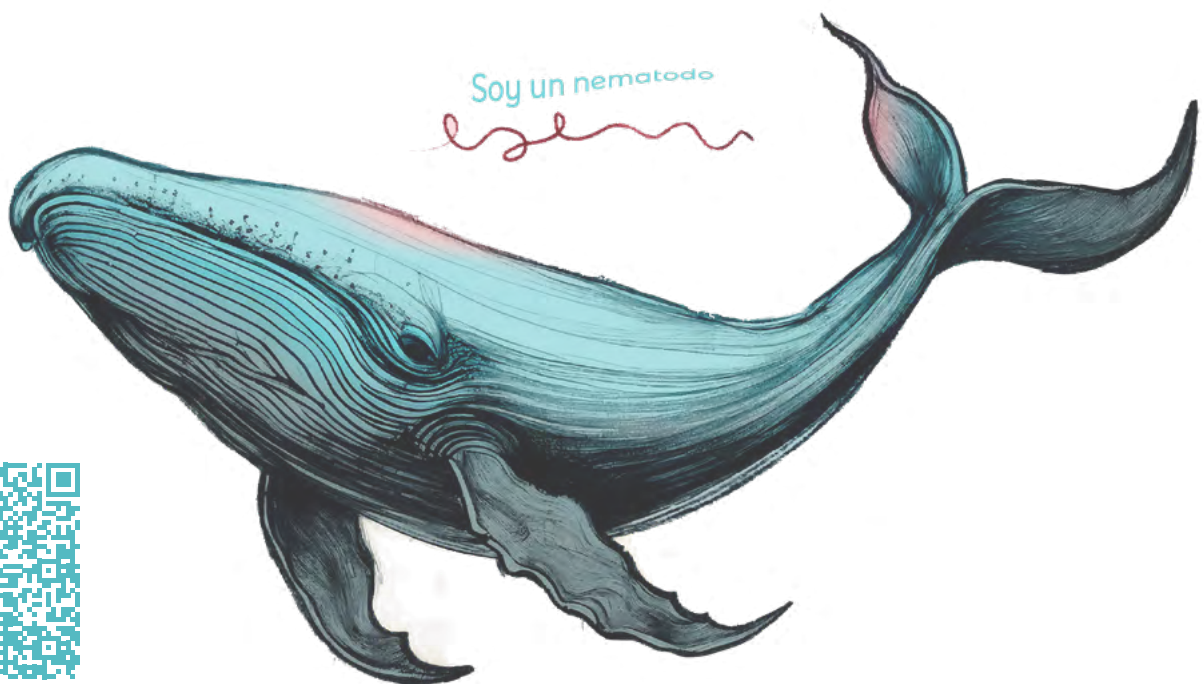
Key words: Nematodes, Ecosystems, agrochemicals, coffee farming, scientific research.

Nematodo (*Steinernema scapterisci*).
Foto: David Cappaert, Bugwood.org

EN LA NATURALEZA existe una gran diversidad de organismos que, por su tamaño, no se ven a simple vista, pero que son de suma importancia en los ecosistemas debido a las funciones que desempeñan (Montes-Belmont, 2000). Un ejemplo son los nematodos o gusanos redondos que constituyen el cuarto grupo más grande del reino animal, con más de 25,000 especies descritas, aunque se es-

tima que en nuestro planeta hay más de medio millón de especies, de las que conocemos una mínima parte. Estos animales comúnmente tienen forma de gusanos redondos, sin segmentos y son semitransparentes. De ahí que su nombre provenga del griego nema, que significa “hilo”, y eídés u odes, que significa “con aspecto de”, por lo tanto, su nombre quiere decir “con aspecto de hilo”.

La gran mayoría mide menos de 5 milímetros, aunque hay algunos gigantes de hasta ocho metros que parasitan a las ballenas.



Dinorah Lima-Rivera¹, Daniel López-Lima¹, Luc Villain²

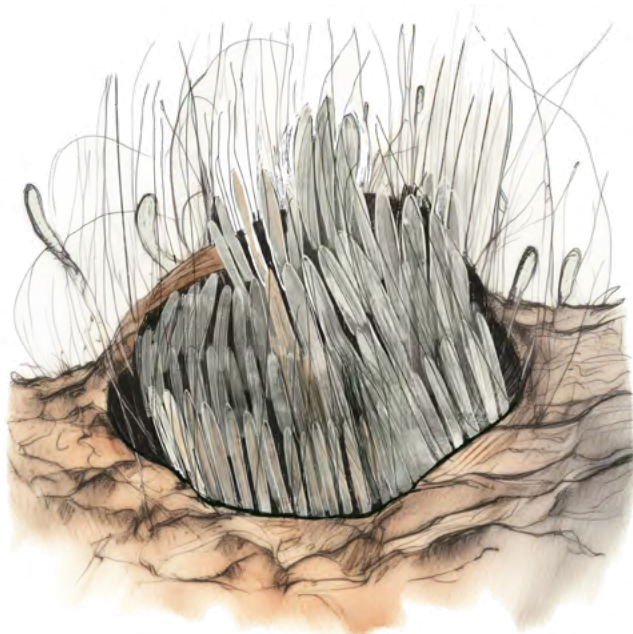
lima.river@gmail.com

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

²UMR DIADE, F-34394 Montpellier, France / DIADE, Univ. Montpellier, IRD, CIRAD, Montpellier, France.

Los nematodos viven prácticamente en todos los hábitats, desde los océanos hasta los ambientes más secos de los desiertos. Pueden ser de vida libre, alimentándose de bacterias y depredando a otros organismos microscópicos, o pueden ser parásitos de animales o plantas, siendo así importantes agentes de enfermedades humanas, de ganado o plagas de los cultivos. Incluso, podríamos tomar una muestra de casi cualquier suelo, sustrato o agua, someterla al proceso de extracción adecuado y, seguramente, encontraremos nematodos en grandes cantidades.

Se calcula que en un metro cúbico de suelo o de agua marina, en promedio, podríamos encontrar un millón de individuos de nematodos. Por lo anterior, el reconocido nematólogo estadounidense Nathan Augustus Cobb decía que si borramos toda la materia del universo, excepto los nematodos, nuestro planeta, su relieve e incluso los seres vivos, seguirían siendo reconocibles, representados por una capa de nematodos, razón por la que los nematólogos acostumbran a usar la frase “es un mundo de nematodos”.



El ciclo de vida de las especies de nematodos incluye diversas etapas: una de huevo, entre cuatro y seis de juveniles (larvas que tienen una forma parecida a la del adulto) y una de adulto. Poseen una cutícula que es el equivalente a su piel, muy resistente y formada por cinco capas. La parte exterior de esta comúnmente es lisa, sin embargo, algunas especies tienen ornamentaciones como anillos, surcos o apéndices de diversas formas. Bajo la cutícula se encuentran diversas capas de músculo y un espacio lleno de líquido, donde se localizan los órganos, que proporciona rigidez al cuerpo, funcionando como un esqueleto hidráulico.

Aunque carecen de órganos respiratorios, necesitan oxígeno, elemento que toman del ambiente mediante la cutícula. Además, cuentan con un sistema nervioso que les permite comprender su entorno y, en particular, buscar alimentación o detectar su presa o huésped y con un aparato digestivo bien desarrollado, que varía en función del hábito alimenticio de cada especie (Chavez *et al.*, 2019).

Los nematodos cumplen un importante papel en los ecosistemas, que va desde ser consumidores primarios, es decir, que comen plantas, hasta ser descomponedores de materia orgánica, con diversos niveles que van desde depredadores hasta parásitos. Así, podemos clasificar a los nematodos de acuerdo con la función que cumplen en los ecosistemas, estrechamente ligada a sus hábitos alimenticios: micófagos (que se alimentan de hongos), bacteriófagos (que comen bacterias), predadores (que se alimentan de otros animales o protozoarios de menor tamaño), saprófagos (que se alimentan de materia orgánica en descomposición), parásitos de animales o zooparásitos (incluyendo vertebrados e invertebrados) y, por último, los nematodos fitófagos y fitoparásitos (que comen plantas).

Los nematodos micófagos, bacteriófagos, predadores y saprófagos, también son llamados de “vida libre” porque no parasitan a otro organismo en ninguna etapa de su ciclo de vida, son los más

comunes en el suelo, ya que su alimento es abundante en este ambiente. Al alimentarse de los diversos microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica, regulan las poblaciones de estos, al mismo tiempo que influyen en la velocidad en que la materia orgánica se descompone, promoviendo los procesos de mineralización y aireación en el suelo (Chavez *et al.*, 2019).

De esta manera, los nematodos cumplen importantes funciones en los suelos agrícolas, puesto que pueden, por ejemplo, disminuir poblaciones de bacterias y hongos que enferman a las plantas. Sin embargo, son muy susceptibles a las perturbaciones en su hábitat como la labranza, el cambio de vegetación, los riegos y la aplicación de fertilizantes y plaguicidas. La disminución de la población de nematodos de vida libre en los suelos agrícolas, conlleva importantes desequilibrios biológicos, provocando que proliferen poblaciones de organismos que pueden enfermar a las plantas.



También los nematodos de vida libre se utilizan como bioindicadores en procesos de biorremediación de suelo (proceso de recuperación de la vida del suelo en ambientes que fueron contaminados de diferentes maneras), dado que la presencia de nematodos de vida libre indica la disponibilidad de su alimento y, por lo tanto, la abundancia de diversos microorganismos del suelo.

Por otro lado, los nematodos parásitos de animales (incluido el hombre) representan un grupo de importancia médica y veterinaria, ya que son responsables de enfermedades como toxocariasis, anquilostomiasis, anisakiasis, entre otras (Bush *et al.*, 2001). Estos organismos tienen un ciclo de vida complejo, pudiendo ingresar al cuerpo de su hospedador a través de la cavidad bucal o perforando directamente la piel y moviéndose por los músculos y el torrente sanguíneo.

No obstante, algunas especies pertenecientes al grupo de nematodos parásitos también pueden

ser beneficiosas para la agricultura, ya que son capaces de parasitar insectos. Estos nematodos, también denominados entomopatógenos, pueden utilizarse como agentes de control biológico para reducir poblaciones de insectos que son plagas agrícolas, disminuyendo así el uso de insecticidas químicos.

Son animales altamente especializados para penetrar en los tejidos de las plantas y alimentarse de sus nutrientes. Poseen un órgano denominado estilete, parecido a una aguja hipodérmica retráctil que está conectada directamente al esófago, desde donde secretan algunas sustancias que ayudan a degradar el tejido de la planta y facilitan la entrada del estilete o del nematodo completo. Dicho

Los nematodos que se alimentan de las plantas corresponden aproximadamente al 10% de las especies descritas hasta ahora.



Figura 1. Nematodo fitoparásito con estilete expuesto.

órgano tiene una abertura diminuta por donde los nematodos succionan los nutrientes de las células de las plantas y evita que entren microorganismos (Maggenti, 1981).

Durante su proceso de alimentación, los nematodos causan diversos síntomas en las raíces de las plantas, como lesiones, descortezamiento, engrosamiento o pudrición en casos severos, lo que provoca que estas no puedan absorber nutrientes, ni agua de manera adecuada, aunque se encuentren disponibles en el suelo. En consecuencia, las plantas retrasan significativamente su desarrollo y, en algunos casos, son incapaces de producir frutos e incluso pueden llegar a morir.

De acuerdo con la manera de alimentarse, los

nematodos fitoparásitos se pueden clasificar en dos grupos: los ectoparásitos que se quedan fuera de las plantas y se alimentan únicamente insertando el estilete en el tejido vegetal de las raíces, provocándoles lesiones superficiales y que, comúnmente, para que sean considerados perjudiciales es necesario que haya una población importante, y los endoparásitos que son aquellos que se introducen completamente en el tejido vegetal, causando lesiones en el córtex o incluso en el cilindro vascular (parte central de la raíz por donde fluyen los nutrimentos a través de la planta, equivalente al sistema circulatorio -arterias y venas- de los animales). El segundo tipo de nematodos provoca alteraciones fuertes en la planta y solo requiere poblaciones bajas para causar daños severos.



Figura 2. Daños por nematodos en raíz de plátano.

Ambos tipos de nematodos parásitos de plantas pueden ser migratorios o sedentarios. Los migratorios van alimentándose célula por célula y se mueven en cuanto agotan los nutrientes de estas. En cambio, los sedentarios, segregan sustancias que modifican el metabolismo de las células, formando sitios de alimentación compuestos por grupos de células con metabolismo acelerado que le proporcionarán nutrientes para completar su ciclo de vida.

Aunque la mayoría de los nematodos fitoparásitos desarrollan su vida en las raíces de las plantas, algunas especies migratorias son capaces de subir a las partes aéreas como tallos, hojas, frutos y semillas, provocando deformaciones en estos órganos (Cantos, 2020).

Los nematodos fitoparásitos son particularmente importantes para la economía mundial, ya que algunas especies causan importantes pérdidas en los cultivos agrícolas por la disminución en el rendimiento.

Se estima que anualmente se pierden 80 billones de dólares americanos a causa de estos organismos. Su manejo puede volverse muy costoso, además de provocar serios problemas de contaminación, ya que los agroquímicos utilizados para controlar sus poblaciones son muy tóxicos para otros organismos, incluyendo a los humanos.

A nivel mundial, los nematodos fitoparásitos que causan más pérdidas en la agricultura son las especies del género *Meloidogyne*, conocidas como nematodos agalladores. Las más de 100 especies descritas hasta ahora son endoparásitos sedenta-

rios que parasitan a cientos de especies de plantas. Los agalladores se consideran muy polípagos, es decir, pueden parasitar a una amplia gama de plantas. Su control se dificulta mucho debido a que, durante su ciclo de vida, únicamente el juvenil del segundo estadio es susceptible a ser afectado por algún enemigo natural o por un nematocida de origen químico.

El juvenil del segundo estadio sale del huevo, el cual se encuentra en el suelo estimulado por los exudados radicales, que son unas sustancias que segregan las raíces de las plantas. Este se mueve por el suelo, guiado por los exudados y penetra la raíz de la planta por la punta. Una vez dentro de la raíz, migra a través del cilindro vascular donde establece su sitio de alimentación y donde pasará otros dos estadios juveniles hasta convertirse en adulto (Figura 3).

La hembra adulta toma una forma de pera y permanece en el sitio de alimentación, mientras que el macho mantiene su forma de gusano y se mueve en busca de hembras para copular. Dependiendo de la especie y del hospedero, cada hembra es capaz de producir en promedio 1000 huevos, los cuales son expulsados al suelo, todos juntos, en una especie de gelatina compuesta de grasa y proteínas que los protegen de la desecación u otras condiciones ambientales adversas. El ciclo de vida, desde el momento de la eclosión hasta la expulsión de los huevos, puede durar desde 30 días en ambientes calurosos, hasta 60 días en ambientes templados o fríos.

En el estado de Veracruz, existe un importante problema con el nematodo *Meloidogyne paranaensis* que afecta a las plantas de café. Este se asocia al desarrollo de la enfermedad conocida como corchosis de la raíz del cafeto, que se caracteriza por el desarrollo de engrosamientos de las raíces principales con tejidos corticales profundos y agrietados, dándoles una apariencia de

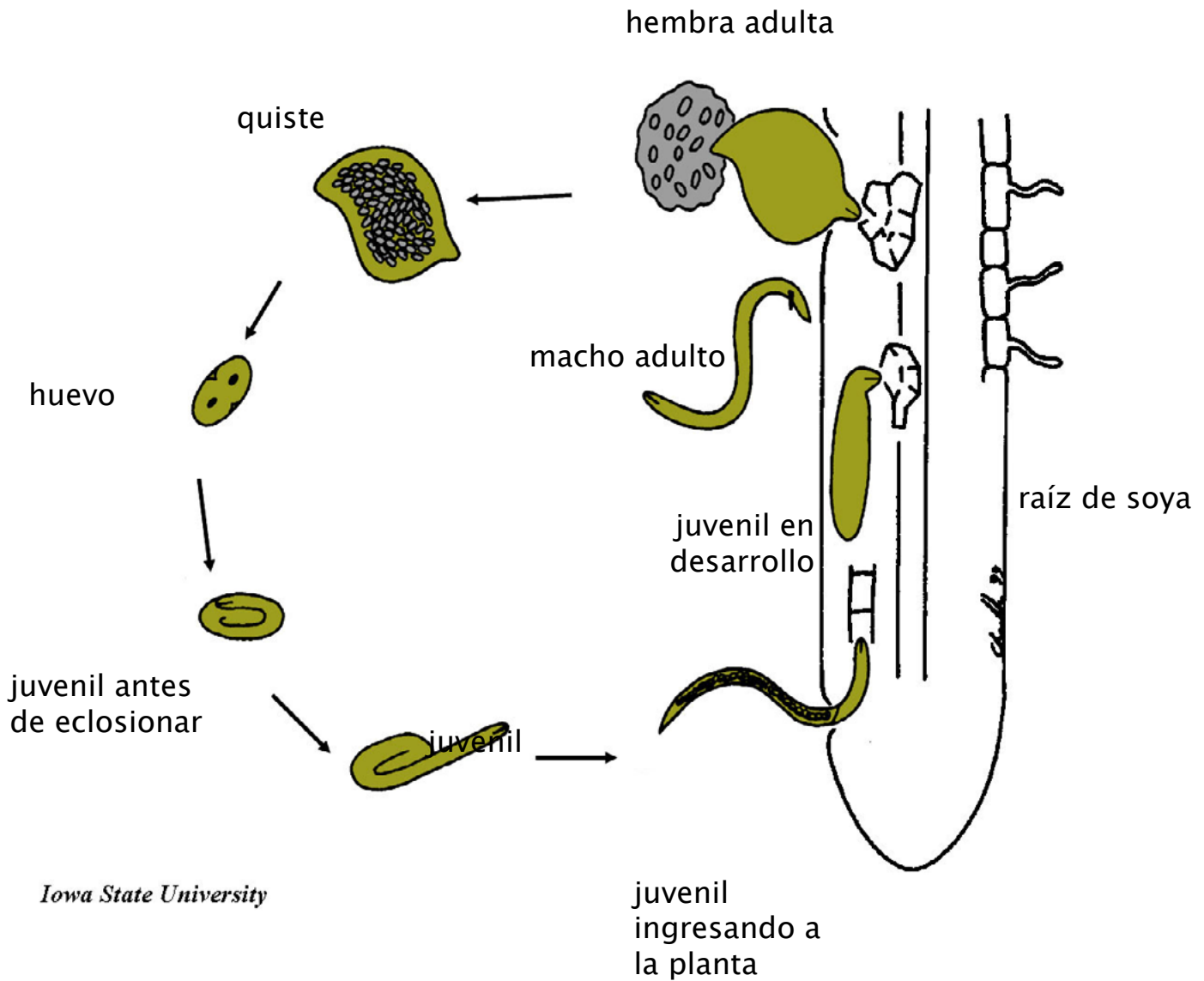


Figura 3. Ciclo de vida del nematodo del quiste de la soja tomado de Iowa State University: https://scn.plantpath.iastate.edu/life_cycle. Adaptado por Pregones de Ciencia. Las tres etapas principales del ciclo de vida del nematodo del quiste de la soja son el huevo, el juvenil y la hembra adulta. Esta especie puede completar su ciclo de vida en cuatro semanas en condiciones ideales (temperatura del suelo a 23°C).

Las etapas de la vida no están representadas en la misma escala de tamaño

corcho (López-Lima *et al.*, 2020). Esta afectación conduce a la necrosis y atrofia del sistema radicular, disminuyendo el desarrollo y rendimiento de la planta (Bertrand *et al.*, 2000). En México, se han registrado afectaciones por la corchosis desde los años 60 en los estados de Veracruz y Chiapas (López-Lima *et al.*, 2015; Alcasio-Rangel *et al.*, 2017).

Sin embargo, fue hasta 2015 (López-Lima *et al.*), cuando *M. paranaensis* se identificó en plantas severamente afectadas en cafetales bajo sombra, en las zonas montañosas de los estados de Veracruz y Puebla. Se estima que cada año se pierden hasta 35% de cafetos resembrados en muchos municipios de Veracruz, obligando a los productores a reemplazar frecuentemente las plantas afectadas.

Durante los últimos años, su dispersión ha aumentado significativamente, debido a la movilización de plantas de vivero infestadas. Para su control se usan portainjertos de café robusta común que si bien por su raíz más vigorosa retrasa la aparición de síntomas, sigue siendo susceptible a la enfermedad (Villain *et al.*, 2013).

Asimismo, una vez que un suelo es infestado, su manejo se complica, ya que el nematodo puede mantenerse en otras plantas presentes en el cafetal e infectar a los cafetos resembrados, aun cuando se encuentren sanos. A pesar de la importancia de este problema para la caficultura veracruzana, hay poca información que ayude a diseñar estrategias de manejo. En la Facultad de Ciencias Agrícolas UV *campus* Xalapa, se trabaja desde diferentes puntos para generar información que ayude a minimizar el problema.

Actualmente se desarrolla un estudio para determinar si el nematodo puede completar su ciclo de vida en plantas asociadas a los cafetales de sombra, puesto que se sabe que los chalahuites, jinicuiles, plátanos y algunos cítricos son altamen-

te susceptibles, mientras que los encinos, guayabas, aguacates, chininis y pomarrosas pueden ser resistentes. Asimismo, se evaluaron diversos nematocidas químicos y orgánicos para la desinfección del suelo de vivero y asegurar así la producción de planta sana y se encontró que el uso de nematocidas con base en hongos nematófagos es viable.



Además, se han realizado aislamientos de hongos directamente de este nematodo y se está evaluando su capacidad nematocida. También se preseleccionaron un grupo de plantas de café robusta que muestran altos niveles de resistencia a la infección del nematodo con el objetivo de tener portainjertos adaptados a la zona. El conocimiento generado en estas investigaciones aporta

información fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo integrado de la corchosis de la raíz del café en Veracruz.



Bibliografía

- Bertrand, B., C. Núñez. y J. L. Sarah. 2000. Disease complex in coffee involving *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*. *Plant Pathology* 49:383-388.
- Bush A.O., Fernández J.C., Esch G.W. y Seed J.R. (2001) Parasitism. The diversity and ecology of animal parasites. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 566 pp
- Cantos, E. 2020. Caracterización de géneros de nematodos fitoparásitos del suelo y raíz en café caturra rojo (*Coffea arabica*) 24 de Mayo-Manabí (Tesis de grado). Ecuador, Universidad Técnica de Manabí. 77 p.
- Chaves, E., Echeverría, M. M., Álvarez, M, H, y Salas, A. 2019. Clave para determinar géneros de nematodos del suelo de la República de Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Maimónides; Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones Fundación Azara. 107 p
- López-Lima, D., G. Carrion., P. Sánchez-Nava, D. Desgarenes. y L. Villain. 2020. Fungal diversity and *Fusarium oxysporum* pathogenicity associated with coffee corky-root disease in México. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(1):276-292.
- López-Lima, D., P. Sánchez-Nava., G. Carrión., A. Espinosa de los Monteros. y L. Villain. 2015. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for México. *European Journal of Plant Pathology*, 141:623-629.
- Maggenti A. (1981) General nematology. Springer-Verlag New York, USA, 372 pp.
- Montes-Belmont R. 2000. Nematología vegetal en México. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. México. 158p
- Villain, L., J. L. Sarah., A. Hernández., B. Bertrand., F. Anthony. y P. Lashermes. 2013. Diversity of root-knot nematodes parasitizing coffee in Central America. *Nematropica*, 43:194-206.