



Universidad tecnológica ECOTEC

Facultad de ingenierías, arquitectura y ciencias de la naturaleza

Título del trabajo

Análisis de las variaciones de la riqueza de especies y abundancia de nematodos durante las fases fenológicas del maíz en Ecuador, 2024

Línea de investigación

Gestión de los procesos productivos agrícolas

Modalidad de titulación

Trabajo de integración curricular

Carrera

Agronomía

Título a obtener

Ingeniero agrónomo

Autor

Adonis Isafas Aguilera Morán

Tutor

José Ibrahin Hernández Rosas, PhD

Guayaquil - ecuador

2025

Dedicatoria / Agradecimiento

Dedico con todo mi cariño este trabajo exclusivamente a las personas más importantes en mi vida, mis padres y mi hermana, los cuales con mucha dedicación y amor estuvieron conmigo en este proceso desde el día uno apoyándome y alentándome en todo momento para no decaer, brindándome con su esfuerzo una formación universitaria.

Agradezco a Dios y al destino por permitirme vivir y disfrutar de esta etapa muy importante en mi vida, a mi tutor de tesis José Ibrahim Hernández Rosas, PhD. Por su ayuda y guía, ya que fue muy necesaria e importante en el desarrollo del documento.



ANEXO No. 12

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

Samboorondón 15 de agosto de 2025

Magíster

Erika Ascencio Jordán

Facultad de Ingenierías, arquitectura y ciencias de la naturaleza

Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: **ANÁLISIS DE LA RIQUEZA DE ESPECIES Y ABUNDANCIA DE NEMATODOS DURANTE LAS FASES FENOLÓGICAS DEL MAIZ EN ECUADOR,2024**, fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, por lo que se autoriza al estudiante: **Aguilera Morán Adonis Isaías**, para que proceda con la presentación oral del mismo.

ATENTAMENTE,



José Ibrahin Hernández Rosas, PhD.

Tutor



ANEXO No. 10

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación TITULADO: **ANÁLISIS DE LA RIQUEZA DE ESPECIES Y ABUNDANCIA DE NEMATODOS DURANTE LAS FASES FENOLÓGICAS DEL MAIZ EN ECUADOR, 2024** elaborado por **ADONIS ISAÍAS AGUILERA MORÁN** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del (4%) mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta print de pantalla de dicho resultado.

JOSE IBRAHIN HERNANDEZ ROSAS

Ver el resumen del informe

Universidad tecnológica ECOTEC
Facultad de ingenierías, arquitectura y ciencias de la naturaleza
Título del trabajo Análisis de las variaciones de la riqueza de especies y abundancia de nematodos durante las fases fenológicas del maíz en Ecuador, 2024
Línea de Investigación
Gestión de los procesos productivos agrícolas
Modalidad de titulación Trabajo de Integración curricular
Carrera Ingeniería agrónoma
Título a obtener
Ingeniero agrónomo
Autor Adonis Isaias Aguilera Morán
Tutor
José Ibrahim Hernández Rosas, PhD
Guayaquil - Ecuador 2025

Resumen
El presente trabajo aborda la variación en la riqueza de especies y la abundancia de nematodos fitoparásitos a lo largo de las fases fenológicas del cultivo de maíz en Ecuador. Mediante una revisión bibliográfica de enfoque descriptivo y diseño no experimental, se identificaron patrones temporales de distribución de géneros como *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, con mayores densidades registradas durante la fase vegetativa, en correspondencia con una mayor actividad metabólica y exudación radicular. *Pratylenchus scribneri* evidenció un comportamiento más agresivo que *P. zaei*, especialmente en genotipos susceptibles como B507. Por su parte, *Meloidogyne* spp. mostró una estrategia de parasitismo sustentada a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Los resultados permiten inferir que las alteraciones en la composición y densidad de nematodos comprometen la funcionalidad radicular, limitando la absorción de agua y nu-

Código de palabras: 10.985
Enviado el: 03/09/25
Código de entrega: 86707730-art6-1250-5-179-a70ca9b35458

Documento adj... 4 %
ADONIS AGUILERA.DOCX

Intento de plagio posible

Fuentes
FUENTES INCLUIDAS
Internet (6) 4 %
Fuentes principales

ATENTAMENTE,



José Ibrahim Hernández rosas, PhD.
Tutor

Resumen

Los nematodos tienen un impacto económico significativo que asciende a un daño en los cultivos por valor de US\$ 100 billones cada año, lo que significa que hay una necesidad de conocer la riqueza de especie y la abundancia de individuos y como cambian a lo largo del ciclo del desarrollo del maíz para reducir el impacto causado en el cultivo. Sin embargo, no se ha llevado a cabo un análisis integral de cómo los cambios detectables en su abundancia entre las fases fenológicas afectan el rendimiento y el tamaño del crecimiento del maíz. Por ello, el presente trabajo aborda la variación en la riqueza de especies y la abundancia de nematodos fitoparásitos a lo largo de las fases fenológicas del cultivo de maíz en Ecuador. Mediante una revisión bibliográfica de enfoque descriptivo y diseño no experimental, se identificaron patrones temporales de distribución de géneros como *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, con mayores densidades registradas durante la fase vegetativa, en correspondencia con una mayor actividad metabólica y exudación radicular. *Pratylenchus scribneri* evidenció

un comportamiento más agresivo que *P. zae*, especialmente en genotipos susceptibles como B507. Por su parte, *Meloidogyne spp.* mostró una estrategia de parasitismo sustentada a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Los resultados permiten inferir que las alteraciones en la composición y densidad de nematodos comprometen la funcionalidad radicular, limitando la absorción de agua y nutrientes y desencadenando estrés fisiológico. Se destaca la necesidad de incorporar criterios de resistencia varietal en los programas de mejoramiento genético y considerar variables edáficas y agroecológicas para el diseño de estrategias de manejo fitosanitario sostenibles. Este trabajo aporta evidencia contextualizada que contribuye al desarrollo de modelos predictivos de infestación y la adecuación de calendarios agrícolas.

Palabras claves

Nematodos, maíz, fases fenológicas, especies de nematodos.

Abstract

Nematodes have a significant economic impact amounting to US\$ 100 billion worth of crop damage each year, which means that there is a need to know the species richness and abundance of individuals and how they change throughout the maize development cycle to reduce the impact caused on the crop. However, a comprehensive analysis of how detectable changes in their abundance between phenological phases affect maize yield and growth size has not been conducted. Therefore, the present work addresses the variation in species richness and abundance of phytoparasitic nematodes throughout the phenological phases of maize cultivation in Ecuador. Through a literature review of descriptive approach and non-experimental design, temporal patterns of distribution of genera such as *Pratylenchus* and *Meloidogyne* were identified, with higher densities recorded during the vegetative phase, corresponding to greater metabolic activity and root exudation. *Pratylenchus scribneri* showed a more aggressive behavior than *P. zae*, especially in susceptible genotypes such as B507. *Meloidogyne spp.* showed a strategy of parasitism sustained

throughout the crop cycle. The results allow us to infer that alterations in the composition and density of nematodes compromise root functionality, limiting the absorption of water and nutrients and triggering physiological stress. The need to incorporate varietal resistance criteria in genetic improvement programs and to consider soil and agroecological variables for the design of sustainable phytosanitary management strategies is highlighted. This work provides contextualized evidence that contributes to the development of predictive models of infestation and the adaptation of agricultural calendars.

Keywords:

Nematode, corn, phenological phases, species of nematodes.

Índice

Índice de tablas

Índice de figuras

1 Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO, 1993), afirma que el desarrollo del maíz se puede dividir en dos grandes etapas fisiológicas. La primera es la fase vegetativa, dividida en dos fases: comienza con la germinación y el surgimiento de las primeras hojas, seguida del crecimiento vegetativo de la planta.

La segunda fase continúa con la formación de más hojas y el inicio de los órganos reproductivos, como la inflorescencia masculina, hasta la aparición de los estigmas, que corresponden a la inflorescencia femenina. La segunda etapa es la de reproducción, que comienza cuando los órganos reproductivos masculinos y femeninos alcanzan la madurez y finaliza con la formación de los granos.

Cabe destacar que en Mallorca, las especies de nematodos comúnmente observadas en cereales como el maíz son: *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Globodera*, *Heterodera* y *Ditylenchus*. Son una problemática ya que pueden causar síntomas visibles en el sistema radicular, como la formación de agallas, necrosis en las raíces, un aumento anormal de raíces secundarias y un desarrollo insuficiente del sistema radicular. Estos daños se manifiestan en la planta como clorosis, y en general resultan en plantas debilitadas y con un crecimiento limitado (Varón, 2002).

Asimismo, en Sudáfrica, el nematodo de las lesiones radiculares *Pratylenchus brachyurus* está ampliamente distribuido y su control resulta complejo. Los nematodos causan pérdidas económicas significativas, con un impacto estimado de \$100 mil millones de dólares anuales en daños a los cultivos, lo que subraya la creciente necesidad de implementar métodos de control más eficaces.

Por otro lado, un cultivo de maíz en Talavera de la Reina (Toledo) ha detectado por primera vez en España el nematodo *Heterodera zae*. Este patógeno, presente en diferentes continentes, causa daños en cultivos de monocotiledóneas, especialmente en el maíz (Ortiz, 2017).

De acuerdo con Gonzales Guitron (2013), en los campos de maíz en Costa Rica, se han detectado nematodos fitoparásitos que afectan el cultivo, como *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Criconemoides*, *Aphelenchus*, *Xiphinema*, *Longidorus*, *Tylenchorhynchus* y *Trichodorus*. Estos nematodos causan diferentes manejos agroecológicos.

En el caso de Estados Unidos, se han reportado daños en los cultivos de maíz causados por nematodos fitoparásitos como *Xiphynema*, *Hoplolaimus*, *Longidorus*, *Paratylenchus*, *Criconemella*, *Pratylenchus*, *Hemicycliophora*, *Helicotylenchus*, *Belonolaimus*, *Paratrichodorus* y *Tylenchorhynchus*.

También, en México, se ha registrado varios informes sobre nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz. Entre las especies reportadas se encuentran *Aphelenchoides besseyi*, *Punctodera chalcoensis* y *Rotylenchulus reniformis* (Siquidi, 1972; Dasgupta, 1987; CABI, 2011)

Igualmente, en Latinoamérica, en Argentina se evidencian a través de clorosis, enanismo, daño en las raíces y disminución en el rendimiento. La identificación del daño causado por nematodos en el cultivo de maíz puede ser complicada, ya que puede confundirse con otros síntomas, como enfermedades, efectos de herbicidas, carencias de micronutrientes o consecuencias de condiciones ambientales desfavorables para el cultivo (Rivera y Wright, 2020).

Por su parte, en Brasil, el maíz muestra resistencia a varias de las principales especies de fitonematodos presentes en el país, como *Heterodera g lycines*, *Rotylenchulus reniformis*, *Meloidogyne hapla* y *Ditylenchus dips aci*. Por esta razón, el maíz es muy valioso como cultivo de rotación o sucesión para ayudar a controlar estas cuatro especies (Almeida, 2016).

En el país vecino Perú, la regiones de Puno y Cusco también se ven afectadas por plagas, en la que destacan los nematodos, cuya presencia reduce significativamente los rendimientos. En estas áreas se identificaron y verificaron la incidencia predominante de los géneros: *Helicotylenchus spp.*, con una prevalencia de que varía entre los 32% y el 100%, *Mesocriconema spp.* (33.3-63.8%), observándose también nematodos saprófitos y predadores.

En un contexto local, en Daule- Guayas la población de nematodos en el cultivo de maíz lleva un control exhaustivo mediante productos químicos que ayudan a mitigar esta plaga, comúnmente se ven especies como los nematodos de las agallas (*Meloidogyne*) y los nematodos de las lesiones (*Pratylenchus*); el Ministerio de

Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP, 2015) indica que estos individuos pueden causar daños muy graves en las raíces y en el crecimiento de las plantas.

No obstante en Colimes – Guayas, mediante muestras tomadas en el campo al haber transcurrido 60 días de haber sido sembrado el maíz se identifica una poblaciones de nematodos fitoparásitos: *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Aphelenchus*. A los 90 días surgió la presencia de *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*.

En fincas productoras de maíz en las zonas de Vinces – Ecuador se identificaron géneros presentes como *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Rhabditis*. Existe una correlación entre el nitrógeno y la población del género *Tylenchus* además, se observó una correlación positiva significativa entre el fósforo (P) y los cuatro géneros de nematodos (Cantos 2020).

2 1.1 Planteamiento del Problema

Es preciso señalar que la riqueza y abundancia de nematodos en el suelo son fundamentales, ya que pueden dañar el ciclo del desarrollo del maíz y, por ende, reducir el rendimiento agrícola. Los nematodos tienen un impacto económico significativo que asciende a un daño en los cultivos por valor de US\$ 100 billones cada año, lo que significa que hay una necesidad de conocer la riqueza de especie y la abundancia de individuos y como cambian a lo largo del ciclo del desarrollo del maíz para reducir el impacto causado en el cultivo.

Sin embargo, no se ha llevado a cabo un análisis integral de cómo los cambios detectables en su abundancia entre las fases fenológicas afectan el rendimiento y el tamaño del crecimiento del maíz. Por lo tanto, hay una necesidad considerable de comprender mejor la dinámica de los nematodos en relación con el ciclo actual de cultivo de la planta, aunque ha habido informes de algunas especies comunes y sus efectos dañinos, la información en la riqueza y variaciones en abundancia en el entorno local sigue siendo limitada; es por esta razón se genera un vacío en la información y los agricultores no implementan prácticas agronómicas efectivas asociadas a la etapa que el cultivo está cruzando.

Según el Instituto Nacional Autónomo de investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2007), el maíz es un cultivo susceptible para el género *Pratylenchus spp.*. En la provincia de Los Ríos se detectó en el 71% de un total de 57 plantaciones

muestreadas con densidades poblacionales que oscilan entre 1561 y 4418 nematodos por cada 10g de raíces. Las mayores concentraciones se registraron en Montalvo, Mocachi, Palenque, Valencia y Quevedo (Ramirez, et al., 2020).

La idea principal de la presente investigación es brindar un detallado análisis de las variaciones en la abundancia y riqueza de nematodos presentes en el suelo a lo largo de las distintas fases fenológicas del cultivo de maíz. En este sentido, los resultados del estudio serán útiles para la comprensión de las diferentes especies y cambios en abundancia en las diferentes fases fenológicas del cultivo y en consecuencia, será posible incrementar la productividad de la agricultura en Ecuador.

Estos organismos han sido descuidados en agroecosistemas, al parecer se asume el estatus de patogenicidad solo cuando se tiene poblaciones excesivas con pérdidas realmente considerables de la productividad.

Para dar cumplimiento al objetivo de este estudio, se efectuará una revisión documental de la literatura científica u otros estudios previos acerca de los nematodos en el suelo en el cultivo de maíz en Ecuador, lo cual aportará información relevante y contextualizada para una toma de decisiones asertiva.

2.1 Preguntas de investigación

¿Cómo varía la riqueza y la abundancia de nematodos durante las diferentes fases fenológicas del cultivo de maíz en Ecuador?

1.- ¿Cuáles son las causas y consecuencias de la riqueza de especies y abundancia de nematodos a lo largo del ciclo del maíz?

2.- ¿Cuáles son los síntomas en las plantas debido a la presencia de los nematodos y su abundancia en números de individuos sobre las fases del cultivo de maíz?

3.- ¿Cuáles son las especies de nematodos más abundantes en cada etapa fenológica del maíz?

3 1.3. Planteamiento de Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar las variaciones de la riqueza de especies y abundancia de individuos de nematodos durante las fases fenológicas del cultivo de maíz en Ecuador, mediante revisión bibliográfica, con el propósito de comprender su impacto en la salud del cultivo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las especies de nematodos más abundantes en cada etapa fenológica del maíz, mediante revisión bibliográfica, estableciendo bases de datos.
- Evaluar las causas de la variación de la riqueza de especies y abundancia de individuos de nematodos durante el ciclo fenológico del maíz, mediante estudio de caso.
- Determinar las consecuencias de las variaciones en las especies, su número y la abundancia de individuos de nematodos sobre las fases fenológicas del cultivo de maíz, elaborando cuadros comparativos.

4

4.1 Justificación

La investigación sobre las variaciones en la riqueza y abundancia de individuos de nematodos en el cultivo de maíz en Ecuador busca limitar el vacío de conocimiento que existe acerca de estos organismos y su influencia en la agricultura. Esta investigación también analiza la forma en que las fases fenológicas del maíz influyen en la diversidad y en la cantidad de estos organismos, lo cual contribuye a clarificar el papel de los nematodos en los agroecosistemas locales. También, mediante la producción de conocimiento científico sobre cómo las especies de nematodos pueden interrelacionarse con el cultivo de maíz genera bibliografía científica y proporciona una base para entender y minimizar la influencia de nematodos en la productividad agrícola.

Es necesario e importante abordar esta problemática porque el aumento de la población de nematodos no solo reduce la productividad de los cultivos, sino que también incrementa costos de producción al requerir el uso de tratamientos y prácticas

agrícolas adicionales. Sin un conocimiento claro de como varían los nematodos a lo largo del ciclo del cultivo, dificulta el diseño de estrategias efectivas y es complicado desarrollar un manejo adecuado que minimice sus efectos negativos.

Por otro lado, la investigación también tiene un valor práctico porque brinda a los productores herramientas que les ayuden a mejorar el manejo de los nematodos y a obtener un cultivo con mejor rendimiento. Asimismo, los datos obtenidos permitirán facilitar a otras investigaciones estrategias de control que se adapten a cada fase fenológica del maíz, lo que se traduce en eficiencia y sostenibilidad en el cultivo, una mejora del rendimiento agrícola y el aumento de sus ingresos con la producción de una cosecha económicamente beneficiosa. Con tal información los agricultores del Ecuador podrán implementar mecanismos agronómicos ajustados que minimicen las pérdidas agrícolas y fortalezcan la economía agrícola del país; en definitiva, se trata de promover la sostenibilidad de la producción agraria y favorecer a los agricultores y al contexto agrícola ecuatoriano.

5 Bases teóricas

Los nemátodos son los blastocelomados más abundantes sobre la Tierra, con más de 25,000 especies descritas, de las cuales aproximadamente el 22% son marinas, el 27% del suelo y de agua dulce y el 51% de hábitos parásitos; se calcula que este total puede ser aún mayor ante la cantidad considerable de posibles especies aún no descritas (Brusca y Brusca, 2005, citado en Rivas, 2007).

Estos organismos se han encontrado en las regiones polares, en las regiones más altas de las montañas e incluso en las aguas termales; las especies marinas son muy abundantes y presentan la mayor distribución en la arena y en el fango, desde las regiones.

Independientemente de donde se encuentren, los nemátodos son un grupo de blastocelomados numeroso; en algunos ambientes es posible encontrar densidades cercanas a los 3 millones por metro cuadrado (Brusca & Brusca, 2005).

El plan corporal de los nemátodos, a diferencia de otros phyla, es bastante homogéneo y su diversidad, a pesar de la multiplicidad de hábitos alimenticios y hábitats ocupados, tiene modificaciones menores a un patrón estructural exitoso (Croll & Matthews, 1977; Barnes et al., 1989). Los parásitos han adquirido a lo largo de su evolución hábitos muy específicos y establecido relaciones estrechas con sus

hospederos, siendo interesante destacar que parasitan a casi cualquier grupo de animales y de plantas.

Los nemátodos, en su mayoría parásitos, tienen un notable impacto sobre el ser humano, ya sea afectado directamente su salud o incidiendo en actividades como la agricultura y la producción animal. A lo largo de la historia, se han documentado numerosos casos que evidencian las consecuencias severas de su acción, desde enfermedades en cultivos como las causadas por *Meloidogyne* spp., *Globodera rostochiensis* y *Nacobbus aberrans*, hasta afecciones en humanos y ganado, por ejemplo, *Ascaris lumbricoides*, *Trichinella spiralis* y *Toxocara canis*. Su actividad parasitaria provoca el debilitamiento o la muerte de los organismos hospedadores, así como una reducción considerable en los volúmenes de producción de alimentos.

Existe una extensa bibliografía dedicada al estudio de nemátodos, en especial de aquellos que han desarrollado estrategias parasitarias y cuya relevancia médica y económica ha sido ampliamente reconocida. Algunas especies han sido elegidas organismos modelo en investigaciones moleculares, bioquímicas, genéticas como *Caenorhabditis elegans* y *Meloidogyne* spp., fisiológicas (*A. lumbricoides*), conductuales, criptobióticas (*Anguina* spp., *Ditylenchus dipsaci*), toxicológicas (*Caenorhabditis* spp., *Panagrellus* spp.) en estudios nutricionales y sobre el envejecimiento.

Además, los nemátodos se destacan por su abundancia, diversidad de especies y amplia distribución geográfica, ya que son capaces de colonizar prácticamente cualquier nicho ecológico del planeta (Maggenti, 1981).

La literatura sostiene que los nematodos ofrecen un espectro de variedades tróficas que incluyen gusanos bacteriófagos, fitófagos, fungívoros, detritívoros o depredadores, todos los cuales se establecen con distinta proporción porcentual en el suelo como respuesta a las condiciones externas de pH, los aportes de químicos tóxicos, herbicidas y pesticidas, los efluentes industriales, la remoción mecánica. “Los tres indicadores más utilizados para sopesar la composición, la abundancia y la diversidad de las poblaciones de protozoos y nematodos son el índice de Shannon-Weaver (H') y el índice de Madurez (MI)”. (Briceño, 2023, p.155).

En oportunidades, la elevada presencia de nemátodos y acantocéfalos se atribuye a la abundancia de zooplancton en estos cuerpos de agua salobre, producto de su productividad biológica. Diversos componentes del zooplancton como copépodos, ostrácodos y anfípodos cumplen funciones como primeros hospedadores intermediarios de helmintos pertenecientes a estos grupos (Marcogliese, 2005).

Asimismo, ciertos organismos planctónicos, como los copépodos, no solo participan en los ciclos de transmisión de helmintos hacia los peces, también pueden comportarse como parásitos. Tal es el caso de *Ergasilus* sp., que infecta hospedadores, constituye un ectoparásito de relevancia.

El papel de los nematodos en la salud del suelo y su utilidad como indicadores biológicos:

Los nematodos son organismos vermiformes, de cuerpo cilíndrico, alargado y no segmentado, cuya longitud puede variar entre 0,2 mm y 8 metros. Pertenecen a la microfauna del suelo y están ampliamente distribuidas en una gran variedad de hábitats, incluyendo ambientes de agua dulce y salada, así como en calidad de parásitos de plantas, animales e incluso del ser humano (IICA, 2007).

También se les ha encontrado en corrientes cálidas, regiones heladas y zonas profundas de los océanos. Su supervivencia y movilidad en el suelo están condicionadas por factores como la temperatura, la humedad y la aireación.

En el caso de los nematodos terrestres, se identifican distintos grupos funcionales o tróficos, clasificados según su dieta. Estos suelen agruparse en cinco a siete categorías tróficas, entre las cuales se destacan los fitófagos, fungívoros, bacteriófagos, omnívoros.

Fitófagos: poseen un estilete perforador que utilizan para absorber el contenido celular de las plantas. Se alimentan de raíces, tallos, hojas y semillas, y como parásitos vegetales, constituyen un grupo de relevancia negativa en el ámbito agronómico.

Fungívoros: cuentan con un estilete, en algunos casos poco desarrollado, y se nutren del micelio fúngico.

Bacteriófagos: presentan un estoma de forma cilíndrica, sin dientes ni estilete, y su alimentación se basa en bacterias.

Omnívoros: disponen de un estilete o diente y consumen tanto material vegetal como animal.

Predadores presentan estoma grande con dientes y dientecillos o estilete. Se alimentan de otros nematodos y pequeños habitantes del suelo.

Los nematodos del suelo presentan varias características que los hacen buenos bioindicadores de los estados y procesos del ecosistema, son relativamente

abundantes en todos los ambientes y poseen diversidad de estrategias de vida y hábitos alimenticios.

1. Alcance y metodología de la investigación

3.1. Materiales y métodos

6 3.1.1. Enfoque de la investigación

7 3.1.2. Tipo de investigación

La investigación será documental, debido a que los objetivos serán resueltos mediante la revisión de la literatura, con un nivel de conocimiento descriptivo, ya que se busca caracterizar de manera detallada las fluctuaciones de las especies de nematodos en función de las diferentes etapas fenológicas del maíz, sin establecer relaciones causales, solo describiendo patrones y tendencias presentes en los datos obtenidos a lo largo del ciclo del cultivo.

8

9 3.1.3. Diseño de investigación

La investigación será no experimental, porque no se manipularán variables ni se aplicarán tratamientos controlados sobre el entorno.

3.1.4. Delimitación de la investigación

10 3.1.4.1. Espacial

El maíz se siembra en ciertas zonas; según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el 75% de área total sembrada se concentra en las provincias de: los Ríos con 32,1% y una producción de 5.1 tm/ha, en Manabí 34,6% con una producción de 4.6 tm/ha y en el Guayas el 16.2% de área sembrada con una producción de 4.9 tm/ha. Sin embargo el otro 25% lo abarca (Azuay, Cañar, Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura y Tungurahua con el 17.1% de área sembrada.

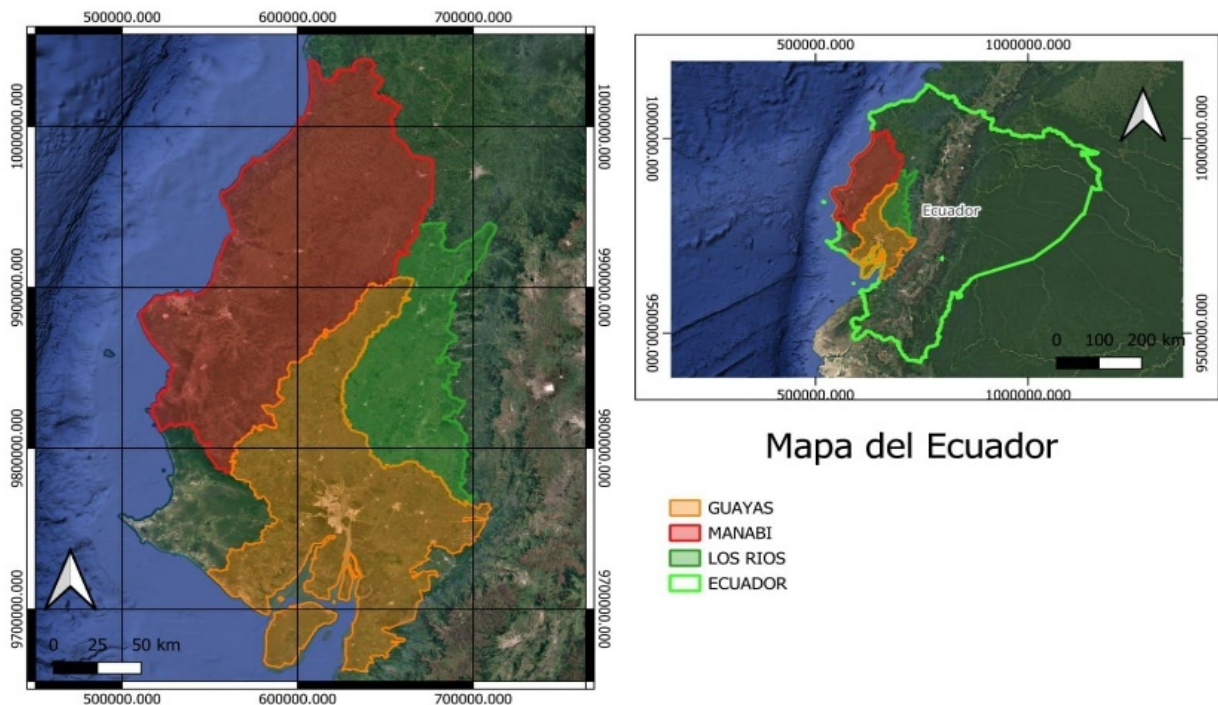


Figura : Distribución de áreas sembradas del cultivo de maíz en Ecuador.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2021.

11 3.1.4.2. Temporal

El estudio se realizará en 4 meses del año 2025(desde Mayo hasta Agosto) en el formato de investigación de la universidad.

12 3.1.4.3. Poblacional

Los productores de maíz en estas provincias del Ecuador se verán beneficiados al tener un documento el cual les ayude a mitigar la presencia de los nematodos en el transcurso fenológico del cultivo de maíz.

- Los Ríos: Entre 53,500 y 160,500 productores.
- Manabí: Entre 57,667 y 173,000 productores.
- El Guayas: Entre 27,000 y 81,000 productores.

3.2. Variables

13 3.2.1. Variable independiente

Fases fenológicas agronómicas del maíz, que las agruparé en las siguientes clases:

- **Germinación:** Número de plantas germinadas por unidad de área (número de plantas x m²).

- **Desarrollo vegetativo:** Altura de las plantas (cm), número de hojas (por planta).
- **Desarrollo reproductivo:** Toneladas de maíz (% de grano maduro, número y peso de mazorca)

14

15 3.2.2. Variable dependiente

- **Número total de especies:** Nematodos presentes en una unidad de área durante cada fase fenológica del maíz.
 - Identificación de especies de nematodos.
- **Abundancia de individuos de nematodos:** Número de individuos de nematodos presentes en el área.
 - Abundancia relativa de las especies de nematodos (% de cada especie con respecto al total).

3.3 Hipótesis

La riqueza de especies y la abundancia de nematodos en los cultivos de maíz en Ecuador varían significativamente a lo largo de las diferentes fases fenológicas, siendo mayor en la fase de desarrollo vegetativo y menor durante la maduración.

3.4 Diseño experimental

- Evaluar los reportes sobre el análisis de las variaciones de la riqueza de especies y abundancia de nematodos durante las fases fenológicas del maíz, extrayendo la información sobre su abundancia e importancia en cada una.
- Causas que generan las variaciones en la riqueza y en la abundancia de especies nematodos en función del ciclo fenológico del maíz
- A través de cuadros comparativos obtener la información referente a consecuencias que generan cada una de las especies en función a su abundancia en las diferentes etapas fenológica del maíz.

3.5 Recursos

- Acceso a bases de datos científicas, biblioteca universitaria, tutores, expertos en nematodos.
- Software para gestión de referencias bibliográficas (EndNote, Mendeley), acceso a bibliografía en línea.

Recursos financieros como: impresora, computadora, internet, papel, copias.

3.6. Métodos y técnicas

Método: Investigación documental y análisis de contenido.

Técnicas:

- Revisión sistemática de artículos científicos.
- Análisis comparativo y sintético de los estudios.
- Análisis estadístico descriptivo para identificar tendencias y patrones en la variación de nematodos en diferentes fases fenológicas.

3.6.1. Análisis estadístico

Mediante un análisis estadístico descriptivo (media, mediana, moda) identificar tendencias y patrones en la variación de individuos de nematodos en las diferentes fases fenológicas del maíz.

3.7 Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	Tiempo (meses) 2024			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto

		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
OBJETIVO GENERAL	Análisis de las variaciones de la riqueza de especies y abundancia de nematodos durante las fases fenológicas del maíz en Ecuador,2024																
Objetivo específico 1	Actividades																
Identificar las especies de nematodos más abundantes en cada etapa fenológica del maíz, mediante revisión bibliográfica, estableciendo bases de datos.	Revisión general sobre nematodos en maíz en Ecuador																
	Identificación de especies																
	Clasificación por etapas fenológicas																
	Elaboración de la base de datos																
Objetivo específico 2	Actividades																
Evaluar las causas de la variación de la riqueza de especies y abundancia de individuos de nematodos durante el ciclo fenológico del maíz, mediante estudio de caso.	Revisión de la literatura sobre variación de la riqueza de especies de nematodos en las fases fenológicas del maíz																
	Revisión de la literatura sobre la abundancia de nematodos en las fases fenológicas del maíz																
	Identificación de causas de la variación.																
Objetivo específico 3	Actividades																
Determinar las consecuencias de las variaciones en las especies, su número y la abundancia de individuos de nematodos sobre las fases fenológicas del cultivo de maíz, elaborando cuadros comparativos.	Revisión de efectos de nematodos en las fases fenológicas del maíz																
	Elaboración de cuadros comparativos																
	Redacción final del capítulo de resultados y conclusiones																

1. Análisis de los resultados

Se presenta la Tabla 1 donde se resumen las fuentes utilizadas para el análisis, clasificadas por tipo de documento, temática central, año y autor de la publicación ofreciendo una visión organizada y comprensible.

Tabla : Documentos revisados para la monografía

Nombre del documento	Tipo de documento	Explicación breve	Año	Autor
Grupos funcionales de depredadores y parasitoides presentes en cultivos de maíz	Tesis	Analiza la biodiversidad de parasitoides y depredadores	2022	Ahuatzin Hernández, J. C.
Parasitic Nematodes in Corn	Artículo científico	Protección de cultivos	2024	Bayer. C
Evaluación del nemátodo entomopatógeno <i>Heterorhabditis Bacteriophora</i>	Tesis	Manejo de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz	2021	Carlos, S.
Efecto del manejo de malezas en la fenología y rendimiento de dos variedades de maíz Zea Mays	Tesis	Manejo de abundancia de malezas e insectos	2010	Carías Romero, W. S., Lewis Castillo, T. I., & Moreno Martínez, M. J.
Nematodos del suelo en el sistema maíz–soya	Artículo científico	Cultivos en hábitats naturales adyacentes de la Altillanura colombiana	2008	Claudia, M., & Julio, P.
Microorganismos eficientes en la fenología y rendimiento del maíz morado	Tesis	Evalúan dosis de microorganismos eficientes	2021	Carbonelli Mosqueira, Z.
Principales	Artículo	Se investiga		Hernández, T.

Nombre del documento	Tipo de documento	Explicación breve	Año	Autor
géneros de nematodos fitoparásitos asociados a plátano y piña	científico	población de nematodos	2014	D. J. G., Benavides, I. V., Villalobos, S. H., Mora, J. D., & Carmona, W. M.
La rotación de cultivo para el control de nematodos fitoparásitos.	Revista	Importancia de la rotación para evitar plagas	2021	Asmus, G. L.
Nematode Plant Expert Information System	Artículo científico	Nematodos y sus estadios	1999	Ferris, H.
Variaciones de la microfauna del suelo	Sitio web	Implantación de modelos agroecológicos	2021	González, L. C., Mogollón, A. E. C., & Hernández, L. C.
Principales nematodos en fitopatología	Sitio web	Fitopatología molecular	2013	Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J.
Nematodos formadores de nudos	Tesis	Comprensión de su biología	2013	Karszen, G., Wesemael, W. y Moens, M. (
Nematodos fitoparásitos: una plaga mundial	Artículo científico	Impacto económico de los nematodos fitoparásitos	2016	Lezaun, I. A.
Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de Maiz	Revista	Reportar la presencia de nematodos	2018	Lima-Medina , Israel, Bravo, Rosario Y., & Aguilar-Gómez, María I..
Efficacy of		Evalúan efectos de	2016	Manimegalai,

Nombre del documento	Tipo de documento	Explicación breve	Año	Autor
<i>Meloidogyne incognita</i> at Different Inoculum Levels on the Growth Parameters of Maize Crop	Tesis	niveles de inóculos de <i>Meliodoyne</i>		K.
Nematode parasites of cereals	Artículo científico	Detalla su biología y ciclo de vida	2005	McDonald, A. H. y Nicol, J. M.
Caracterización de géneros de nematodos fitoparásitos del suelo y raíz en café	Tesis	Identifican nematodos en el sistema radicular del café	2020	Melisa, C. A.
Nematodos entomopatógenos: uso eficiente como control biológico en la agricultura cubana	Revista	Eficiencia como agentes de control biológico	2012	Rodríguez, Mayra G, Hernández-Ochandía, Dainé, & Gómez, Lucila.
Nematodos de vida libre en suelos de bosque y cultivo de maíz	Tesis	Caracterización de nematodos de vida libre y fitoparasitoides	2022	Sánchez Real, B. S., & Castro Godoy, N. E.
Efecto de dos nematodos entomopatógenos sobre <i>Cosmopolites sordidus</i>	Revista	Evaluar la virulencia de <i>steinernema carpocapsae</i> y <i>Heterorhabditis bacteriophaga</i>	2008	Sepúlveda-Cano, P. A., López-Núñez, J. C., & Soto-Giraldo, A.
Cultivos de cobertura	Revista	Cómo ayuda a combatir los nematodos	2021	Uliana, & Silva, A.
Importancia económica de los nematodos fitoparásitos	Artículo científico	Pérdidas económicas en porcentajes	2020	Ureña, B. R., Valverde, J. D., Alfaro, o. S., & Rojas, D. C.

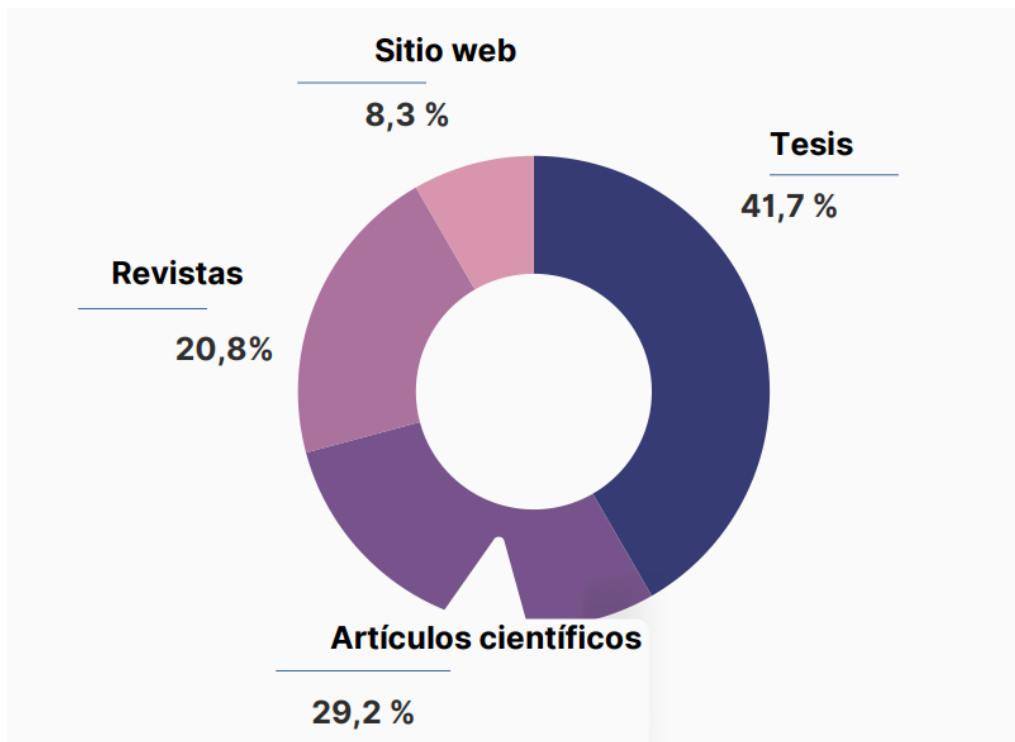
Nombre del documento	Tipo de documento	Explicación breve	Año	Autor
Evaluación del nematodo entomopatógeno <i>Steinernema carpocapsae</i>	Tesis	Para controlar <i>Spodoptera frugiperda</i> en el cultivo de maíz	2021	Vimara V.
Capacidad reproductiva de dos especies de nematodos	Tesis	De género <i>Pratylenchus</i> en cinco híbridos de maíz	2023	Vuletic, E. E.

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como es notorio en la Tabla 1 las tesis dominan en la investigación destacando como fuente de datos primarios con una base académica sólida, los artículos científicos complementan mediante evidencia revisada, confirmando la validez de los hallazgos apoyando la discusión teórica. Las revistas y los sitios web tienen una presencia menor, indicando su función de apoyo metodológico.

Se presenta como Figura 2 un anillo con los porcentajes de documentos revisados para la elaboración de la monografía, dentro de esta representación se divide la cantidad de artículos científicos, tesis, revistas y sitios web.

Figura : Porcentaje de documentos revisados para la monografía



Fuente: Elaboración propia (2025)

La Figura 2 nos demuestra que adquiere un porcentaje mayor en revisiones y extracción de información de tesis de grado y artículos científicos, indica un total de 71% destacando como el pilar fundamental del respaldo académico lo que confiere credibilidad y profundidad científica al tema, ampliando el alcance comunicativo con revistas y sitios web.

La vigencia del tema en el transcurso del tiempo nos muestra la evolución cronológica sobre los nematodos en el cultivo de maíz, en la siguiente figura se

muestra los primeros registros, la aparición de manuales técnicos, estudios y revisiones de especies de nematodos y el presente estudio en el 2024.



Figura : Vigencia del tema según el grafico de barras

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como se aprecia en la figura 3, la investigación sobre nematodos en cultivos ha evolucionado de manera sostenida desde 1999. Inicia con registro de distribución en cultivos pertinentes y continúa con investigaciones en cultivos de cacao y cereales como el arroz, maíz, trigo en el 2005- 2008. Años después se presentan informes sobre los nemátodos entomopatógenos beneficiosos para controlar insectos plagas, también sobre la especie *Meloidogyne* existió un muestreo poblacional y un diagnóstico molecular. En el periodo 2016-2020 se consolida el contexto agronómico con estudios continentales y revisiones nacionales. Finalmente, en 2022 se profundiza en el tema y su biología sumándose mi investigación en el 2024 sobre nematodos en maíz confirmando su vigencia y relevancia actual.

4.1 Resultados

16 4.1.1 Identificar las especies de nematodos más abundantes en cada etapa fenología del maíz

Se revelan aportes provenientes de Ecuador (Guayas), en Perú donde se identifican evidencias desde las regiones de Cusco y Puno. En Colombia, los análisis se centran en la región de la altillanura, mientras que en Paraguay se reportan hallazgos en el departamento de Itapúa. Además, un estudio en Nicaragua también contribuye a este cuerpo de conocimiento.

Tabla : Densidad de nematodos, 90 días después de la siembra

País	Región	Especies identificadas	Observación	Fuentes
Ecuador	Guayas (Colimes, Vinces)	<i>Pratylenchus spp.</i> , <i>Meloidogyne spp.</i>	Mayor densidad a los 90 y 75 días. Suelos fértiles favoreces su reproducción.	Aroca Villamar (2016);Ocaña Leon (2018);Espín MA (2024)
Perú	Cusco y Puno	<i>Meloidogyne spp.</i> , <i>Pratylenchus spp.</i>	Densidad varía según agroecología y manejo agronómico	Aguilar Gomez(2017) ;Lima – Medina et. Al (2021)
Ecuador	Los Ríos (Palenque, Montalvo,Valencia y Quevedo)	<i>Pratylenchus spp.</i>	Concentraciones de 1,561 a 4,418 nematodos en raíces por cada 10 g	

Fuente: Elaboración propia (2025), con base en datos de fuentes mencionadas

En la Tabla 2 se aduce que, en diversos entornos agrícolas del Ecuador, particularmente en la provincia del Guayas, se ha documentado de manera constante la presencia de especies fitoparásitas como *Pratylenchus spp.* y *Meloidogyne spp* (ver figura 3). Como las más comunes durante las distintas fases fenológicas del cultivo de maíz. En la investigación realizada por Aroca Villamar (2016) en la zona de Colimes, se observó que estas especies mostraron una mayor concentración a los 90 días después de la siembra, siendo *Pratylenchus spp.* la de mayor densidad, alcanzando los 5.750 individuos en raíces. De manera similar, *Meloidogyne spp.* También registró una población significativa.

Según Ramírez Bajaña et al. (2020), en Los Ríos, ensayos de campo revelaron que el 71% de 57 plantaciones analizadas presentaron nematodos, con recuentos que fluctúan entre 1561 y 4418 unidades por cada 10 gramos de tejido radicular. Montalvo, Mocache, Palenque, Valencia y Quevedo mostraron las mayores cargas poblacionales.

Por su parte, Ocaña León (2018) reportó hallazgos similares en Vines, donde *Pratylenchus* evidenció su mayor densidad en raíces a los 75 días del desarrollo del cultivo. Como lo plantea Espín MA (2024), estas especies encuentran condiciones óptimas para su reproducción en suelos con alta humedad y riqueza nutricional, ya que la fertilidad edáfica favorece su proliferación.

En el caso de Perú, Aguilar Gómez (2017) estudió la presencia de *Meloidogyne* spp. en cultivos de maíz ubicados en las regiones de Cusco y Puno, evidenciando que la densidad poblacional de esta especie varía en función de las condiciones agroecológicas propias de cada zona. De forma complementaria, Lima-Medina, Cornejo-Condori, Bravo-Portocarrero, Barzola-Tito y Casa-Coila (2021) identifican a *Pratylenchus* y *Meloidogyne* como géneros predominantes en los ecosistemas del maíz, señalando además que factores como el tipo de suelo y las prácticas agronómicas influyen en su incidencia.

Por otro lado, en Colombia, Leguizamo y Parada (2008) reportaron una notable diversidad de nematodos fitoparásitos en parcelas de maíz de la región de la Altillanura, con una marcada presencia de *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp. Finalmente, en Paraguay, Caballero-Mairesse y Resquin-Romero (2021) identifican infestaciones por *Meloidogyne* spp. en cultivos de maíz establecidos en suelos arenosos del departamento de Itapúa, se encuentra que, aunque provienen de un contexto distinto, permiten establecer puntos comparativos con lo observado en Perú.

Diversas investigaciones realizadas en torno al cultivo de maíz en las regiones de Puno y Cusco, en Perú, han evidenciado una alta presencia de nematodos fitoparásitos. Portocarrero y Lima-Medina (2017) identifican géneros como *Helicotylenchus*, *Mesocriconema*, *Globodera*, *Xiphinema*, *Rotylenchus* y *Dorylaimus* en estos cultivos, destacando que su densidad poblacional varía según las condiciones agroecológicas del entorno. En esa misma línea, Aguilar Gómez (2017) también confirmó la existencia de estos nematodos en cultivos de maíz en Cusco y Puno, observando que las diferencias en la densidad están directamente relacionadas con las particularidades agroecológicas de cada zona. Además, Campos (1978) documentó la asociación entre *Meloidogyne* y *Pratylenchus* en cultivos de guayaba

bajo un enfoque agroecológico en Nicaragua, lo que demuestra la capacidad de adaptación de estos nematodos a distintos sistemas agrícolas

A partir de la revisión de Lima et al., (2018), se distingue que los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus* dominan en términos de frecuencia y relevancia patogénica en el cultivo de maíz. Indica que su impacto económico no es menor: pueden provocar pérdidas de hasta el 20%.

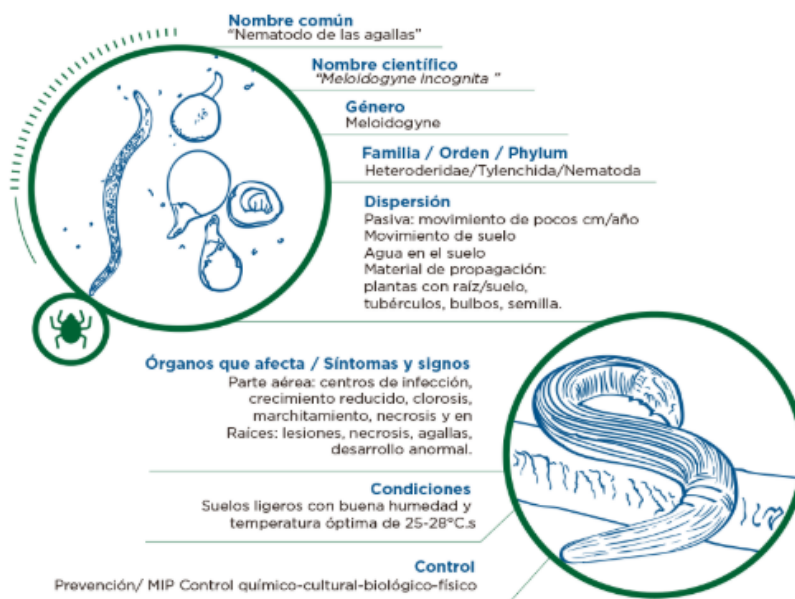
Meloidogyne spp., conocido como el nematodo formador de agallas, se presenta en casi todas las fases del ciclo del maíz, desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, se convierte en una amenaza difícil de erradicar. Especies como *M. incognita* y *M. javanica* son distribuidas con adaptabilidad al suelo y clima. Los *Pratylenchus spp.* (nematodos lesionadores de raíces) se caracteriza por su movilidad en el suelo, les permite infestar nuevas plantas con facilidad; se encuentran ligados a etapas intermedias y tardías del maíz, debilita la planta justo cuando más nutrientes necesita. *Xiphinema spp.*, aunque menos frecuente, representa un riesgo particular por su largo estilete, el cual le permite penetrar los tejidos de la raíz. Su morfología descrita por Ferris (1999) coincide con nematodos identificados en regiones específicas, posiblemente con menor distribución pero con capacidad de daño.

Se argumenta que existen más de 60 especies fitoparásitas asociadas al maíz, muchas de ellas aún no están bien caracterizadas en cuanto a su biología o patogenicidad. A continuación se muestra la distribución fenológica del cultivo del maíz.

Figura : Nematodos Fitoparásitos

★ NEMATODOS FITOPARÁSITOS ★

Una plaga mundial



Fuente: Lezaun (2016).

Basado en la Figura 4, se explica que los nematodos son animales filiformes, no segmentados y recubiertos por una cutícula hialina con marcas visibles. La mayoría son microscópicos, miden entre 300 y 1000 μm de largo y de 15 a 35 μm de ancho. Presentan cuerpo redondeado en sección transversal, boca, y carecen de extremidades, aparato respiratorio y circulatorio (Guzmán et al., 2009). Los nematodos

fitoparásitos, que afectan a las plantas, poseen simetría bilateral y un estilete en la parte anterior del cuerpo.

Tabla : Distribución fenológica del cultivo de maíz (como cultivo de rotación) en función de la frecuencia de nemátodos fitoparásitos

Especie	Etapas fenológicas del maíz	Frecuencia / Mención bibliográfica	Autores
<i>Meloidogyne incognita</i>	Germinación - Floración	Alta	Jones et al., 2013
<i>Meloidogyne arenaria</i>	Floración – Inicio de fructificación	Media	Jones et al., 2013
<i>Meloidogyne javanica</i>	Emergencia - Madurez fisiológica	Alta	Karssen et al., 2013
<i>Pratylenchus spp.</i>	Floración - Madurez	Alta	Koenning et al., 1999; McDonald y Nicol, 2005
<i>Heterodera spp.</i>	Inicio de fructificación – final de fructificación	Media	McDonald y Nicol, 2005
<i>Xiphinema spp.</i>	Germinación - desarrollo vegetativo	Baja	Ferris, 1999
<i>Hoplolaimus spp</i>	Desarrollo vegetativo - floración	Media	Koenning et al., 1999
<i>Belonolaimus spp.</i>	Germinación - floración	media	Koenning et al., 1999

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Hernández et al., (2014).

Como se distingue en la Tabla 3, no se presentan datos cuantitativos que indiquen la abundancia numérica de las especies de nematodos en cada etapa fenológica del maíz; sin embargo, no obstante, se identifica que *Meloidogyne incognita* es la especie más abundante durante las etapas de emergencia y floración, mientras que *Pratylenchus spp.* predomina en las etapas de floración a madurez, afecta las raíces del cultivo. Asimismo, *Heterodera spp.* se asocia con mayor frecuencia a las etapas de grano lechoso y madurez fisiológica, y *Xiphinema spp.*, aunque menos frecuente, se encuentra en fases iniciales como la emergencia y el desarrollo vegetativo, representa un riesgo por su capacidad de penetración en los tejidos radiculares.

Seguidamente, en los aportes de Lima et al., (2017) tampoco se presentan datos desagregados por etapas fenológicas del maíz con exactitud, pero se identifican

patrones de prevalencia por regiones y contextos agronómicos. El género *Globodera* se destaca como el más abundante en todas las etapas fenológicas, presentando una incidencia del 100% en todos los distritos estudiados, junto a los nematodos de vida libre (saprofitos y predadores).

Tabla : Incidencia de géneros de nematodos según distrito y etapa fenológica del cultivo de maíz

Género de Nematodo	Incidencia (%)	Distritos/Regiones	Etapas Fenológica
<i>Globodera</i>	100%	Todos los distritos	Todas las etapas
Vida libre (saprofitos/predadores)	100%	Todos los distritos	Todas las etapas
<i>Helicotylenchus spp.</i>	88% - 100%	Sandia y San Gabán	Emergencia y desarrollo vegetativo
<i>Mesocriconema spp.</i>	33.3% - 83.3%	Mayor en Sandia, menor en Chupa	Floración
<i>Xiphinema spp.</i>	<50%	Todos los distritos	Emergencia y desarrollo radicular inicial
<i>Rotylenchus spp.</i>	20% - 77.2%	San Juan del Oro, San Gabán, Cuyo	Formación de grano
<i>Dorylaimus spp.</i>	7.7%	Sólo en Sandia	Asociado a suelos húmedos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Lima et al., (2018).

Helicotylenchus spp. mostró incidencia en los distritos de Sandia y San Gabán (88% y 100% respectivamente), se presume una mayor presencia en fases tempranas como el desarrollo vegetativo. *Mesocriconema spp.* también se identificó en todas las áreas, con mayor densidad en Sandia, lo que podría relacionarse con etapas de floración. En contraste, *Xiphinema spp.* presentó una baja incidencia general, no superando el 50%. *Rotylenchus spp.* y *Dorylaimus spp.* se observaron de forma restringida, siendo *Rotylenchus* moderadamente presente en San Juan del Oro (77.2%) y *Dorylaimus* únicamente en Sandia (7.7%), se infiere que su impacto es asociado a condiciones de suelo en etapas medias del cultivo.

Bajo la óptica de Sánchez y Castro (2022), se identifica que la diversidad de nematodos en ecosistemas de maíz es menor que en el bosque natural (163 vs. 285

individuos), confirma la sensibilidad de estos organismos a las prácticas agrícolas (Castilla Díaz, 2015). En cuanto a las especies más abundantes en el sistema agrícola de maíz, destacan *Monhystrella sp.* (23), *Macrotrophurus sp.* (19), *Belonolaimus sp.* (17), y *Panagrolaimus sp.* (17), abarcando hábitos bacteriófagos y fitoparásitos.

Tabla 2. *Nematodos encontrados en las dos zonas de la granja Agroecológica UNIMINUTO*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	HÁBITO	BOSQUE	MAÍZ
Chromadorea	Monhysterida	Monhysteridae	<i>Monhystrella sp.</i>	Bacteriófago- otros	29	23
	Plectida	Plectidae	<i>Plectus sp.</i>	Bacteriófago	19	0
Enoplea	Mononchida	Mylonchulidae	<i>Mylonchulus sp.</i>	Depredador	23	12
	Triplonchida	Prismatolaimidae	<i>Prismatolaimus sp.</i>	Bacteriófago	18	16
Secernentea	Aphelenchida	Aphelenchoididae	<i>Aphelenchoides sp.</i>	Micófagos- Fitoparásito	21	12
			<i>Aphelenchus sp.</i>	Micófagos	12	1
	Dorylaimida	Longidoridae	<i>Paralongidorus sp.</i>	Fitoparásito	21	12
			<i>Xiphinema sp.</i>	Fitoparásito	17	10
	Rhabditida	Cephalobidae	<i>Panagrolaimus sp.</i>	Bacteriófago	0	17
		Rhabditidae	<i>Protorhabditis sp.</i>	Bacteriófago	22	12
			<i>Rhabditis sp.</i>	Bacteriófago	24	12
	Tylenchida	Anguinidae	<i>Ditylenchus sp.</i>	Fitoparásito	17	0
		Belonolaimidae	<i>Belonolaimus sp.</i>	Fitoparásito	25	17
		Tylenchidae	<i>Macrotrophurus sp.</i>	Fitoparásito	13	19
			<i>Tylenchus sp.</i>	Fitoparásito	24	0
TOTAL					285	163

Tabla : Nematodos encontrados en las zonas de la granja Agroecológica Uniminuto

Fuente: Sánchez y Castro (2022).

Como indica la Tabla 5, durante las etapas de emergencia y desarrollo vegetativo del maíz, los géneros *Monhystrella* y *Panagrolaimus* tienen mayor actividad por su rol en la descomposición y reciclaje de materia orgánica, mientras que *Belonolaimus* y *Macrotrophurus*, por su carácter fitoparásito, representan un riesgo en las fases de floración y llenado de grano, afecta la productividad.

Tal y como indican Rodríguez, et al., (2012), los nematodos, como bioindicadores del suelo, muestran comportamientos diferenciados según el ambiente y el cultivo. En el caso del maíz, el entorno agroecológico modifica la composición de especies, resalta la sensibilidad de géneros a las prácticas agrícolas.

El entorno boscoso alberga mayor diversidad y cantidad de nematodos, especialmente bacteriófagos como *Monhystrella sp.* y *Rhabditis sp.*, con 29 y 24 individuos respectivamente. En contraste, en maíz, se observa un desplazamiento en favor de especies fitoparásitas como *Macrotrophurus sp.* (19) y *Belonolaimus sp.* (17).

La baja presencia de bacteriófagos en maíz señala un empobrecimiento del suelo desde el punto de vista microbiológico, afectando la calidad edáfica. Al mismo tiempo, el aumento de fitonematodos representa un riesgo directo para el rendimiento del cultivo.

Tabla : Abundancia de nematodos según el tipo de entorno y su vínculo con la calidad del suelo

Tipo de entorno	
Tipo de nematodo predominante	
Género / Especie	
Cantidad (individuos)	
Observaciones	
Boscoso	
Bacteriófagos	
	<i>Monhystrella sp.</i>
	29
Alta diversidad y riqueza biológica del suelo	

Rhabditis sp.

24

Indican buen estado microbiológico del suelo

Maíz (monocultivo)

Fitoparásitos

Macrotrophurus sp.

19

Asociación con
prácticas agrícolas
intensivas

Belonolaimus sp.

17

Indican deterioro de la calidad del suelo

Fuente: Sánchez y Castro (2022).

Por su parte, Vuletic (2023) revela que durante la fase vegetativa temprana del maíz, los nematodos del género *Pratylenchus*, específicamente *Pratylenchus zeae* y *Pratylenchus scribneri*, logran establecerse y reproducirse, indica una etapa crítica para la interacción planta-nematodo. La presencia de FR >1 en todos los tratamientos confirma la susceptibilidad generalizada de los híbridos evaluados, informa que esta etapa fenológica es vulnerable a la colonización radicular por estos fitonemátodos.

Además, se observó que *Pratylenchus scribneri* tuvo un comportamiento más agresivo, alcanzando mayores densidades finales que *Pratylenchus zeae*, particularmente en el genotipo B 507. Esta diferencia entre especies, aunque no siempre estadísticamente significativa, marca una tendencia en cuanto a su capacidad reproductiva y potencial de daño.

No se encontraron impactos en variables como altura y biomasa aérea, indica que el efecto dañino de los nematodos durante esta etapa se focaliza en las raíces, como lo evidencia la variabilidad en el peso radicular y perímetro del tallo. Los

nematodos ejercen su influencia de manera subterránea y silenciosa, comprometiendo las bases del rendimiento a largo plazo.

Tabla : Variaciones en el índice de reproducción de nematodos en genotipos de maíz

Especie de Nematodo	
Genotipo de maíz	
FR (Final / Inicial)	
<i>Pratylenchus zeae</i>	Híbridos
	>1
<i>Pratylenchus scribneri</i>	Híbridos
	>1
<i>Pratylenchus scribneri</i>	

B 507

Mayor Frecuencia relativa observada

Fuente: Vuletic (2023).

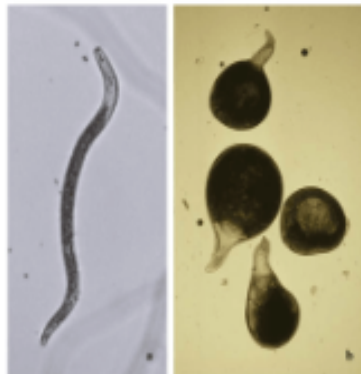
17 4.1.2 Evaluar las causas de la variación de la riqueza de especies y abundancia de individuos de nematodos durante el ciclo fenológico del maíz

Por observaciones de González, et al., (2021), durante el ciclo fenológico del maíz, la abundancia de nemátodos presenta una dinámica influida por factores agroecológicos y edáficos. La implementación de sistemas agroforestales y cultivos combinados modifica los indicadores de biodiversidad de la microfauna del suelo; cultivos asociados como frijol, zanahoria o tomate de árbol también registran especies fitoparásitas como *Meloidogyne spp.*, *Helicotylenchus spp.* y *Pratylenchus spp.*, aunque su impacto varía dependiendo del ecosistema.

Desde una perspectiva edáfica, la textura del suelo y la fracción limo son determinantes en la abundancia de estos organismos. Factores como pH, humedad o contenido de materia orgánica no presentan una relación consistente con la diversidad de poblaciones nematológicas. El artículo indica que la variación en la riqueza de especies no responde de manera lineal a los parámetros del suelo, sino que se configura como un fenómeno ecológico multicausal.

En el marco de este objetivo es importante considerar el papel que desempeñan las malezas dentro del agroecosistema. Tal como señala Labrada (1996, citado en Carías et al., 2010), las malezas no deben entenderse como una categoría biológica absoluta, sino como un constructo antropocéntrico vinculado a las prioridades humanas en los sistemas agrícolas. No obstante, su impacto ecológico y económico es innegable porque actúan como hospedadores alternos de nematodos fitoparásitos (ver figura 5).

Figura : Morfología de nematodos fitoparásitos



Fuente: Carías Romero, W. S., Lewis Castillo, T. I., & Moreno Martínez, M. J. (2010).

Durante el ciclo fenológico del maíz (desde la germinación hasta la maduración fisiológica), las condiciones del entorno y la composición vegetal del área cultivada varían, influye en la abundancia de nematodos. Las malezas, al estar presentes en distintos momentos del ciclo del cultivo, alteran la dinámica de las comunidades nematológicas por varias vías: compiten por recursos esenciales como agua, nutrientes y luz, afectando la salud y resistencia del maíz, y por ende su vulnerabilidad a plagas como los nematodos; segundo, muchas malezas actúan como reservorios biológicos, es decir, albergan nematodos en sus raíces y permite su persistencia en el agroecosistema.

Además, la liberación de compuestos alelopáticos por parte de ciertas malezas modifica el microbiota edáfico, alteran las condiciones de vida de los nematodos de vida libre y fitoparásitos. Esta interacción repercute en la abundancia durante distintas fases del desarrollo del maíz. Por ejemplo, en fases iniciales como la emergencia, la competencia con malezas y su efecto hospedador favorece la proliferación de ciertos nematodos oportunistas, mientras que, en etapas más avanzadas del cultivo, la cobertura del maíz suprime parcialmente la influencia de las malezas, reduciendo su efecto como intermediarias ecológicas.

En el artículo de Carbonelli (2021) se revela que la aplicación de microorganismos eficientes (EM) en el cultivo de maíz morado tuvo un impacto significativo en diversas características fenológicas, como la altura y el diámetro del tallo, la floración y la maduración. Los resultados sugieren que las plantas tratadas con EM se desarrollan de forma más vigorosa y saludable, lo cual es relevante, puesto que las plantas más fuertes suelen ser menos susceptibles al ataque de patógenos y plagas, incluidos los nemátodos fitoparásitos.

Se menciona que las bacterias ácido-lácticas contenidas en los microorganismos eficientes (EM) son capaces de suprimir patógenos como *Fusarium*, los cuales debilitan las plantas y las hacen más vulnerables a infecciones secundarias, como las causadas por nematodos. La aplicación de EM reduce la presión de patógenos como *Fusarium*, fortalece al cultivo, y este mejor estado fisiológico de la planta reduce la disponibilidad de raíces susceptibles para los nemátodos, disminuyendo así su abundancia.

El texto no detalla la variación en la riqueza de nemátodos, pero se aduce que un entorno edáfico con mayor equilibrio microbiano favorece la dominancia de

nemátodos de vida libre y reduce la incidencia de nemátodos fitoparásitos, que encuentran menos oportunidades para colonizar raíces sanas.

Un estudio en la región de Los Ríos resalta que la textura del suelo, el pH del suelo, la humedad y los manejos agronómicos son factores que afectan la distribución de nematodos fitoparásitos en cultivos de arroz y lo podemos extrapolar al maíz, dado que las condiciones agroecológicas son similares en dicho cultivo. Finalmente, la variación en la riqueza también es influenciada por hospederos susceptibles y la actividad de organismos antagonistas que tienen que ver en la dinámica de los nematodos (Espín, 2024).

Cuando se da el caso del maíz, el grupo de nematodos puede ser medido a partir de índices como el de Shannon-Wiener y el de Simpson: tales índices son capaces de evaluar la riqueza de especies, así como la equidad de la distribución de los individuos. Con ello, obtenemos información acerca de cuántas especies son dominantes y cuánto nos acerca dicha distribución hacia el caso de equidad, lo cual a su vez nos hace entender como prácticas agrícolas y condiciones de suelo afectan la estructura de estas comunidades de nematodos (Melisa, 2020).

Por ejemplo, trabajos realizados por Lezaun (2016) demuestra que la humedad y buena aireación del suelo pueden favorecer la multiplicación de especies como *Meloidogyne spp.*, por el contrario, los suelos compactos con poca materia orgánica suelen no ser igualmente propensos, otros factores climáticos, como la temperatura y la cantidad de agua que existe durante las diferentes etapas fenológicas que atraviesa el maíz, afectarán la actividad y reproducción de los nematodos. Como, temperaturas óptimas entre 25 y 30 °C y suelos de buena humedad favorecen el crecimiento y desarrollo de *Meloidogyne spp.* Comprender esas interacciones representa una de las necesidades más sentidas para el desarrollo de herramientas de manejo integrado que permitan minimizar el impacto que tienen los nematodos sobre el cultivo de maíz.

Diversos estudios han abordado la relación entre la densidad de nematodos y las fases fenológicas del maíz en distintas regiones. En Colombia, se evidencia que la densidad de nematodos fitoparásitos en cultivos de maíz y soja varía según el tipo de manejo del suelo y la cercanía de hábitats naturales o seminaturales, lo cual sugiere que la biodiversidad circundante puede influir sobre estas poblaciones (Claudia y Julio, 2008). En Brasil, se ha destacado la rotación de cultivos como una estrategia en el control de nematodos fitoparásitos, ya que la siembra continua de especies susceptibles tiende a favorecer el aumento de su densidad (Asmus, 2021). Asimismo, la implementación de cultivos de cobertura ha resultado ser una medida altamente

efectiva para reducir las poblaciones de nematodos presentes en el suelo, al tiempo que mejora la sanidad del maíz (Uliana y Silva, 2021).

En cuanto al impacto económico, los nematodos fitoparásitos representan una pérdida significativa para el cultivo del maíz. En Costa Rica, por ejemplo, se estima que pueden ocasionar hasta un 23% de pérdida en la producción, lo cual resalta la importancia de establecer estrategias de manejo adecuadas (Ureña, Valverde, Alfaro & Rojas, 2020). En Brasil, se ha observado que infestaciones por *Meloidogyne javanica* y *Pratylenchus brachyurus* pueden pasar desapercibidas al no mostrar síntomas visibles en la parte aérea del maíz, lo que dificulta su diagnóstico y control (Cultivar, Manejo adecuado de nematodos en cultivos, 2021). Por ello, es fundamental realizar muestreos y análisis de laboratorio que permitan establecer la densidad poblacional de estos organismos y su relación con las etapas fenológicas del cultivo, facilitando así un manejo más eficiente.

Otras investigaciones señalan que los daños provocados por nematodos en las etapas tempranas del desarrollo del maíz (entre V2 y V6) afectan el sistema radicular, dificultando la absorción de nutrientes y ocasionando retrasos en el crecimiento, lo que repercute negativamente en el rendimiento final (Cultivar, Ataque de nematodos al maíz, 2019). Finalmente, estudios recientes en Ecuador sobre nematodos entomopatógenos en entornos agroecológicos indican que factores ambientales específicos inciden directamente sobre las poblaciones.

Figura : Causas que influyen en la abundancia y consecuencias de los nematodos durante el ciclo fenológico del maíz

Nota: Elaboración propia (2025)

18 4.1.3 Determinar las consecuencias de las variaciones en el número de especie y la abundancia de individuos de nematodos sobre la fase fenológica del cultivo de maíz elaborando cuadros comparativos

Carlos (2021) indica relación entre la abundancia de nematodos entomopatógenos y el desarrollo fenológico del maíz se manifiesta en parámetros morfológicos como en indicadores productivos. La presencia controlada de especies como *Heterorhabditis bacteriophora* actúa como agente de control biológico contra el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), también propicia un entorno menos estresante para la planta, permitiendo un desarrollo más fuerte en sus etapas fenológicas.

El impacto de la densidad nematológica también tiene consecuencias económicas directas. Los tratamientos con mayores concentraciones de nematodos mostraron mejor rendimiento biológico, también una mejor relación beneficio/costo, con valores de retorno superiores a 0.60 USD por dólar invertido. Al mitigar el daño por plagas durante etapas como la emergencia y la floración, estos organismos permiten una fenología más estable y predecible.

En contraste, Vimara (2021), señala que las especies de nematodos entomopatógenos, en particular *Steinernema carpocapsae*, impactan sobre el desarrollo fenológico del cultivo de maíz, dependiendo de su dosificación y manejo. Existen más de 60 especies en la familia *Steinernema*, el uso de *S. carpocapsae* ha sido preferido por su eficacia reconocida (Angulo, 2015, citado en Vimara 2015). Su aplicación en campo, ajustada a diferentes concentraciones, responde a una lógica de control biológico contra plagas como el gusano cogollero, también influye indirectamente en las fases críticas del desarrollo del maíz.

Cuando los nematodos son aplicados correctamente se logra mayor eficacia biológica; la acción entomopatógena reduce el estrés fisiológico en el cultivo, durante etapas fenológicas como emergencia, elongación del tallo y formación de espigas.

Por su parte, Ahuatzin (2022) señala que las variaciones en la composición y abundancia de nemátodos entomopatógenos en el agroecosistema del maíz no se dan de forma aislada, se articulan con un entramado de relaciones ecológicas que incluye la entomofauna circundante, los parasitoides, depredadores y plagas que interactúan a lo largo del ciclo fenológico del cultivo. La entomofauna del cultivo de maíz muestra

una mayor representación del gremio de depredadores, especialmente familias como *Syrphidae*, *Asilidae* y *Coccinellidae*, cuya presencia está estrechamente relacionada con la disponibilidad de presas, es decir, plagas y con las condiciones estructurales del agroecosistema.

El rol de los nemátodos es importante en las fases iniciales del cultivo (germinación y establecimiento), donde las plagas provocan mayores pérdidas; al reducir la población de insectos dañinos, se disminuye la presión biótica sobre el cultivo. Además, los resultados muestran que la vegetación circundante contribuye a la estabilidad del ecosistema agrícola, condición para que los nemátodos ejerzan su papel como agentes de control.

Tabla : Relación entre efecto de especies y abundancia de nemátodos sobre la fenología del maíz

Artículo	Especie de nematodo destacada	Fase fenológica impactada	Consecuencia sobre el cultivo
1	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Emergencia, floración	Reducción de plagas; desarrollo fenológico más estable; mayor rendimiento y retorno económico
2	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Emergencia, elongación, espigamiento	Menor estrés fisiológico; mejora del desarrollo en etapas críticas; eficacia según concentración
3	Composición mixta (diversidad ecológica de nemátodos)	Emergencia y establecimiento	Reducción de presión biótica; estabilidad del ecosistema; mejora indirecta de la fenología

Fuente: Sepúlveda et al., (2008).

Diversos estudios han demostrado que las especies de nematodos fitoparásitos, su número y abundancia, influyen directamente en el desarrollo fenológico del cultivo de maíz. Estas plagas subterráneas pueden afectar distintas etapas del crecimiento, desde la fase vegetativa temprana hasta la reproductiva, generando alteraciones en el sistema radicular y limitando el rendimiento del cultivo (Bayer, 2024; Manimegalai, 2016).

Figura : Efecto de especies de nemátodos sobre etapas fenológicas del maíz

Nota: Elaboración propia (2025).

1. Discusión

El presente análisis aporta datos experimentales que muestran cómo la densidad y composición de las comunidades de nematodos varían a lo largo del ciclo fenológico del maíz, siendo particularmente altas durante la fase vegetativa y disminuyendo en la maduración, lo que coincide con la hipótesis planteada. Se evidencia una mayor riqueza durante la fase vegetativa, etapa en la que las raíces presentan actividad metabólica y elevada exudación, condiciones que favorecen la colonización por géneros como *Pratylenchus* y *Meloidogyne*. Estas especies alcanzaron densidades poblacionales elevadas en dicho período, comprometiendo la funcionalidad radicular al inducir alteraciones en el desarrollo de las raíces, inhibir la absorción de nutrientes y agua, y desencadenar sintomatología fisiológica asociada a estrés biótico.

Pratylenchus scribneri presentó un comportamiento más agresivo en comparación con *Pratylenchus zae*, evidenciado por mayor densidad final en las raíces, especialmente en genotipos susceptibles como el B507. Este hallazgo informa una superior capacidad de adaptación y reproducción de *P. scribneri* bajo las condiciones agroecológicas locales e indica la necesidad de incorporar criterios de resistencia varietal en los programas de mejoramiento genético. Por su parte, la persistencia de *Meloidogyne* spp. a lo largo de todo el ciclo fenológico del cultivo indica una estrategia de parasitismo sostenido, con capacidad de supervivencia en distintos estadios ontogénicos del maíz.

En cuanto a la metodología, el enfoque descriptivo y documental, orientado a la caracterización de fluctuaciones en la comunidad de nematodos a lo largo de las fases fenológicas, se realizó sin manipulación experimental (diseño no experimental). Por su parte, los resultados complementan este enfoque con datos de campo y análisis

cuantitativos, lo que permite una interpretación más aplicada y específica para el contexto ecuatoriano.

La caracterización temporal y espacial de las comunidades nematológicas en sistemas de producción de maíz en Ecuador contribuye a subsanar deficiencias en el conocimiento local sobre fitonematología aplicada. La evidencia sienta las bases para el desarrollo de modelos predictivos de infestación, la adecuación de calendarios de manejo fitosanitario y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles adaptadas a la dinámica biológica del cultivo.

Ahora bien, comparando los resultados con la información reseñada por los autores, se reseña lo siguiente:

La presencia de nematodos fitoparásitos en cultivos de maíz ha sido documentada en diversas regiones del mundo, donde se reconoce su efecto en la productividad agrícola. Estudios como los de Stirling (2011) y Nicol et al. (2011) revisan que estos organismos afectan el desarrollo radicular, interfieren en la absorción y repercuten en el rendimiento del cultivo. En contextos tropicales como el ecuatoriano, las condiciones climáticas y edáficas favorecen la proliferación de géneros como *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, lo cual ha sido reiterado como crítica (Castillo et al., 2003; MAGAP, 2015).

La variación estacional de las poblaciones de nematodos, en función del desarrollo fenológico del cultivo, es un aspecto poco abordado en la literatura pero reconocido en estudios internacionales (Bridge & Starr, 2007; Jones et al., 2013). La interacción entre el crecimiento radicular del maíz y la dinámica de nematodos demuestra una relación ecológica de complejidad, donde el hospedero actúa como modulador de las comunidades del suelo. Entender estas fluctuaciones es prioritario para establecer prácticas de manejo que sean sostenibles a plazos posteriores (McSorley, 2011).

Investigaciones como las de Ploeg y Browne (2002) han reseñado que las fases vegetativas del maíz tienden a coincidir con picos de abundancia nematológica, mientras que en etapas de madurez dichas poblaciones tienden a disminuir, por cambios en la disponibilidad de exudados radiculares. Estas observaciones apuntan a sincronizar las intervenciones agronómicas con los momentos de mayor vulnerabilidad del cultivo.

Los nematodos fitoparásitos constituyen una de las principales limitantes biológicas para el cultivo de maíz a nivel mundial y regional. Tanto los resultados presentados en el presente estudio como los antecedentes recopilados coinciden en señalar a los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne* como los más frecuentes y dañinos en sistemas agrícolas de maíz, tanto en Ecuador como en otras regiones productoras (Talavera, 2004; Gonzales Guitron, 2013; MAGAP, 2015; INIAP, 2007; Análisis Nematodos-Junio-2025). Se reporta la presencia de otros géneros relevantes, como *Heterodera* , *Globodera* , *Helicotylenchus* , *Xiphinema* y *Aphelenchus* , lo que evidencia la diversidad de nematodos asociados al cultivo.

En cuanto a los daños y síntomas, la literatura revisada por Talavera (2004), Gonzales Guitron (2013) y Pionner Seeds (2011), así como los resultados del análisis Nematodos, describen manifestaciones similares: formación de agallas, necrosis radicular, clorosis, enanismo y reducción del rendimiento. Ambos enfoques resaltan la dificultad de distinguir los daños causados por nematodos de aquellos provocados por otros factores abióticos o patógenos, lo que frecuentemente conduce a subestimaciones del impacto real de estos organismos en la productividad del maíz (Pionner Seeds, 2011; Jones, 2017).

Desde la perspectiva de la dinámica poblacional y los factores que inciden en la abundancia de nematodos, ambos documentos subrayan el papel de las prácticas agrícolas, las condiciones edáficas y la etapa fenológica del cultivo. Se destaca la influencia del monocultivo y el manejo de malezas en la proliferación de nematodos fitoparásitos, un aspecto también mencionado en estudios previos (MAGAP, 2015; Ocaña & Jorge, 2018).

En términos de impacto económico, se coincide en que los nematodos representan una amenaza significativa para la rentabilidad agrícola. Monheim (2014) y Lezaun (2016) estiman pérdidas globales de hasta 100 mil millones de dólares anuales, mientras que los resultados cuantifican pérdidas locales de hasta el 20% del rendimiento, especialmente asociadas a daños radiculares por *Pratylenchus* y *Meloidogyne*. Esta convergencia de datos refuerza la urgencia de implementar estrategias de manejo integradas y adaptadas a las condiciones locales y las fases fenológicas del cultivo.

Un aspecto relevante señalado es el vacío de información local respecto a la variabilidad de nematodos a lo largo del ciclo del maíz y su impacto específico en el rendimiento (Lezaun, 2016). El análisis de este estudio contribuye a llenar este vacío mediante la presentación de resultados empíricos sobre la abundancia y riqueza de

especies en distintas fases del desarrollo fenológico, mientras que los antecedentes consultados enfatizan la necesidad de estudios descriptivos y documentales que permitan caracterizar estos patrones y fundamentar la toma de decisiones agronómicas.

Finalmente, se extrae que es importante generar conocimiento científico y práctico que permita a los agricultores implementar estrategias de manejo ajustadas a la dinámica poblacional de los nematodos y las necesidades del cultivo en cada fase fenológica (MAGAP, 2015; INIAP, 2007). La complementariedad entre la revisión bibliográfica y los resultados experimentales refuerza la necesidad de investigaciones integrales y la transferencia de tecnología hacia el sector productivo.

La revela discusión una alta congruencia entre los antecedentes internacionales y nacionales reportados por autores como Talavera (2004), Gonzales Guitron (2013), Monheim (2014), Palomares Rius & Clavero Camacho (2023), Lima Medina (2017) y los resultados obtenidos. No se identifican discrepancias sustanciales, sino una relación de complementariedad que fortalece la comprensión de la problemática y orienta la búsqueda de soluciones sostenibles para el manejo de nematodos en el cultivo de maíz en Ecuador y la región.

Se aporta al conocimiento nematológico al dar datos empíricos que caracterizan la diversidad de especies durante el ciclo fenológico del maíz. Resulta oportuno el debate académico de esta temática en contextos donde las amenazas biológicas como los nematodos fitoparásitos suelen ser subestimadas frente a otros factores de estrés agrícola. Al igual que sucede con otras problemáticas poco debatidas como el daño ocasionado por aves granívoras en cultivos de maíz —difícil de cuantificar por su dispersión geográfica y temporal—, el trabajo acentúa la importancia de realizar investigaciones locales con enfoque biológico y ecológico.

Es de interés mencionar que el maíz se encuentra expuesto a un conjunto de organismos que actúan como plagas, incluyendo vertebrados, artrópodos, nematodos, malezas y patógenos como bacterias, hongos y virus. En este marco, el trabajo revela a los nematodos como actores dentro de esta red de interacciones, cuyo impacto muchas veces pasa desapercibido frente a amenazas más visibles; al delimitar sus patrones poblacionales en función del ciclo fenológico del cultivo, se fortalece la capacidad de respuesta agronómica con base en evidencia científica; de allí se genera el aporte de este trabajo.

2. Conclusiones

El presente trabajo permitió describir las fases fenológicas del maíz y caracterizar la diversidad taxonómica de nematodos fitoparásitos presentes en cada etapa del cultivo. En respuesta del primer objetivo, identificar las especies de nematodos más abundantes en cada etapa fenológica del maíz, se evidenció mayor riqueza de especies durante la fase vegetativa, etapa en la que las raíces exhiben alta actividad metabólica y exudación, condiciones que favorecen la colonización por géneros como *Pratylenchus* y *Meloidogyne*. Además, la revisión bibliográfica reveló una estructura documental conformada principalmente por tesis de grado y artículos científicos revisados por pares, complementada con fuentes secundarias como revistas y sitios técnicos especializados. Se recopilaron datos de estudios realizados en países con condiciones agroecológicas similares, como Perú, Colombia, Paraguay y Nicaragua, aportando así un marco de referencia contextualizado para la identificación de especies predominantes.

Con respecto al segundo objetivo, la evaluación del ciclo fenológico permitió identificar que las variaciones en la abundancia de nematodos están asociadas a factores fisiológicos de la planta, como la exudación radicular en fases vegetativas, lo cual influye directamente en la colonización y desarrollo de ciertas especies. Se observó que *Pratylenchus scribneri* mostró un comportamiento más agresivo que *Pratylenchus zeae*, con mayor densidad final en raíces, especialmente en genotipos susceptibles como el B507. Este patrón sugiere una mayor capacidad de adaptación y reproducción de *P. scribneri* en las condiciones agroecológicas locales, lo que destaca la importancia de considerar criterios de resistencia varietal en programas de mejoramiento genético. Por su parte, la persistencia de *Meloidogyne* spp. Durante todo

el ciclo fenológico se evidencia una estrategia de parasitismo sostenido, con capacidad de supervivencia en distintas fases ontogénicas del cultivo.

En respuesta al tercer objetivo, las variaciones en densidad y composición específica de nematodos fitoparásitos durante el desarrollo fenológico del maíz tuvieron un impacto directo sobre la funcionalidad de las raíces. Las altas densidades de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* durante la fase vegetativa comprometieron el desarrollo radicular, inhibieron la absorción de nutrientes y agua, y generaron sintomatología asociada a estrés biótico. Estos efectos negativos sobre la fisiología vegetal ponen en evidencia la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles adaptadas a la dinámica biológica del cultivo. La caracterización temporal y espacial de las comunidades nematológicas en sistemas de producción de maíz en Ecuador aporta conocimientos para el diseño de modelos predictivos de infestación, la planificación de calendarios de manejo fitosanitario y la toma de decisiones agronómicas basadas en criterios ecológicos.

3. Recomendaciones

- Se recomienda considerar períodos de estudio más prolongados, dado que la recolección, identificación y análisis de nematodos puede extenderse más allá de un ciclo agrícola estándar si se desea captar variaciones estacionales o plurianuales.
- Se sugiere incorporar variables ambientales como temperatura del suelo, humedad, pH y tipo de manejo agronómico al influir en la abundancia de nematodos fitoparásitos.
- Se sugiere monitorear variables edáficas como temperatura, humedad y aireación durante las distintas fases fenológicas del maíz, influyente en la movilidad y supervivencia de los nematodos.
- Es recomendable que el muestreo nematológico se enfoque en el rango de 15–30 cm de profundidad, alrededor de las raíces, donde suele haber mayor concentración debido a la disponibilidad de nutrientes y compuestos de atracción.
- El estudio debe contemplar las posibles fuentes de dispersión pasiva de nematodos, como maquinaria agrícola, riego o movimiento de suelo, al influir en la composición de especies entre parcelas o sitios.

19 Referencias bibliográficas

- Ahuatzin Hernández, J. C. (2022). *Grupos funcionales de depredadores y parasitoides presentes en cultivos de maíz* (Tesis de pregrado). Tecnológico Nacional de México. <http://51.143.95.221/handle/TecNM/7861>
- America, C. L., & Lezaun, J. (2024, 26 febrero). Nematodos fitoparásitos: Que son, características, ejemplos y control - CropLife Latin America. Croplifela.org. <https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/nematodos-fitoparasitos>
- Aroca Villamar, A. A. (2016). *Nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz Zea mays L. en la zona de colimes, provincia del Guayas*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil.
- Asmus, G. L. (2021). La rotación de cultivos es una de las indicaciones para el control de nematodos fitoparásitos. *Revista Cultivar.*: <https://revistacultivar-es.com/noticias/La-rotaci%C3%B3n-de-cultivos-es-unade-las-indicaciones-para-el-control-de-nematodos-fitopar%C3%A1sitos>
- Bayer. C (2024). Corp Scince United States.Obtenido de Parasitic Nematodes in Corn: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/parasitcnematodes-corn>

- Biodiversidad de nematodos indicadores biológicos de la calidad del suelo en los agroecosistemas. (2017). *Sscielo* .
https://www.researchgate.net/publication/319340345_Comunidades_de_nematodos_de_vida_libre_del_suelo_y_su_correspondencia_con_la_calidad
- Briceño, G. (2023). *Ecología: Conceptos y aplicaciones para latinoamérica*. Bookwire GmbH.
- Cabi. (2011). Diversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de Maíz en el municipio de Guasave, Sinaloa. (Tesis de Grado)
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13160/1/Ulises%20Gonzalez%20Guitron..pdf>
- Carlos, S. (2021). *Evaluación del nemátodo entomopatógeno (Heterorhabditis bacteriophora) para el manejo de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation) Universidad Agraria del Ecuador.
- Cantos Alvarado , E. M. (2020). *Caracterización de géneros de nematodos fitoparásitos del suelo y raíz en café caturra rojo (coffea arabica) 24 de mayo-manabí*. (Tesis doctoral). Universidad Agraria Del Ecuador.
- Carías Romero, W. S., Lewis Castillo, T. I., & Moreno Martínez, M. J. (2010). *Efecto del manejo de malezas en la fenología y rendimiento de dos variedades de maíz Zea Mays, en la biodiversidad, abundancia de malezas e insectos, durante el período de marzo a junio del 2010. (Doctoral dissertation). Centro Nacional de Referencia de Agroplasticultura (CNRA), UNAN-León*
- Claudia, M., & Julio, P. (06 de 07 de 2008). Nematodos del suelo en el sistema maíz–soya y en hábitats naturales adyacentes de la Altillanura colombiana.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol9_num1_art:105
- Carbonelli Mosqueira, Z. (2021). *Microorganismos eficientes en la fenología y rendimiento del maíz morado (Zea mays L.) en Huaral – Lima* [Tesis de licenciatura], Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
<http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/927>
- Cultivar, R. (19 de 07 de 2019). Ataque de nematodos al maíz. <https://revistacultivar-es.com/articulos/ataque-de-nematodos-al-ma%C3%ADz>

- Dasgupta. (1987). Diversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de Maíz en el municipio de Guasave, Sinaloa:
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13160/1/Ulises%20Gonzalez%20Guitron.pdf>
- Espín, M. A. (2024). *Factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución de nematodos fitoparásitos en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. (Tesis de Grado). [https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/17113/E-UTB-FACIAG- %20AGROP-000142.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com](https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/17113/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000142.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com)
- Ferris, H. (1999). *Nematode Plant Expert Information System (NEMAPLEX)*. (Tesis de Grado). University of California. <http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/index.htm>.
- González, L. C., Mogollón, A. E. C., & Hernández, L. C. (2021). Variaciones de la microfauna del suelo con la implantación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander, Colombia. *Inge CuC*, 17(1), 81-95.
- González Güitrón, U. (2013). *Diversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz en el municipio de Guasave, Sinaloa*. (Tesis de grado). Instituto Politécnico del Litoral.
- Gúzman Piedrahita, Ó. A., Castaño Zapata, J., & Villegas Estrada, B. (2012). Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agron.*, 20(1), 38–50.
- Hernández, T. D. J. G., Benavides, I. V., Villalobos, S. H., Mora, J. D., & Carmona, W. M. (2014). Principales géneros de nematodos fitoparásitos asociados a plátano y piña en las regiones Huetar Norte y Huetar Atlántica de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 27(1), 85-92.
- IICA. (2007). *Aportes de la Ciencia y la Tecnología al Manejo Productivo y Sustentable de los Suelos del Cono Sur*. Uruguay: PROCISUR.
- 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. *Molecular Plant Pathology* 14(9): 946-961p.

Karssen, G., Wesemael, W. y Moens, M. (2013). Root-knot Nematodes. In: Perry, R.N. and Moens, M. (eds) Plant Nematology, 2nd edition. CAB International, Wallingford, UK, pp. 73- 108.

Lezaun, I. A. (04 de 2016). CropLife. Nematodos fitoparásitos: una plaga mundial: https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/nematodosfitoparasitos?utm_source=chatgpt.com

Lima-Medina, Israel, Bravo, Rosario Y., & Aguilar-Gómez, María I.. (2018). Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de Maiz (*Zea mais* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 31-38. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.328>

MAGAP (s. f.). MAGAP interviene con fumigaciones para controlar plagas que afectan al maíz – Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/magap-interviene-con-fumigaciones-para-controlar-plagas-que-afectan-al-maiz/>

Manimegalai, K. (06 de 2016). Efficacy of *Meloidogyne incognita* at Different Inoculum Levels on the Growth Parameters of Maize Crop. https://www.researchgate.net/publication/354602791_Efficacy_of_Meloidogyne_incognita_at_Different_Inoculum_Levels_on_the_Growth_Parameters_of_Maize_Crop

Marcogliese, D. J. (2005). Parasites of the superorganism: Are they indicators of ecosystem health? *International Journal for Parasitology*, 705-716.

McDonald, A. H. y Nicol, J. M. (2005). Nematode parasites of cereals. in: Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. (M. Luc, R.A. Sikora and J. Bridge eds.). *CAB International, Wallingford, UK.*) P. 131-191.

Melisa, C. A. (2020). *Caracterización De Géneros De Nematodos Fitoparásitos Del Suelo Y Raíz En Café Caturra Rojo* (*Coffea arabica*) (Tesis de Grado). https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CANTOS%20ALVARADO%20EVELIN%20MELISA.pdf?utm_source=chatgpt.com

Ocaña Leon, J. L. (2018). *Identificación de géneros y poblaciones de nemátodos fitoparásitos presentes en cuatro fincas productoras de maíz (Zea mays) en la zona de Vinces-Ecuador*. (Tesis de Grado). Universidad Guayaquil.Palomares

Rius, J., & Clavero Camacho. (2023). *APS Online Publications*.
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-02-23-0362-PDN>

Ortiz-Bustos, C. M. (2017). *Detección presintomática y no destructiva de enfermedades causadas por patógenos de suelo en maíz (Marchitez tardía) y en girasol (Jopo) mediante medidas térmicas y de fluorescencia multicolor*. (Tesis doctoral). Universidad de Córdoba.

Peñañiel, I.X. (2021). *Determinación del ciclo de cultivo de maíz (Zea mays) Var. Blanco harinoso tipo chazo*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato

Ramírez Bajaña, L., Triviño Gilces, C., León Paredes, J., & Guillén Mora, R. (2020). Capacidad hospedera de la Chía (*Salvia hispanica*) a los nematodos *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne graminicola* y *Pratylenchus sp*", bajo condiciones controladas. *Revista Científica Pro Sciences*, 4(30), 25-35.
<https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss30.2020pp25-35>

Rivas, G. (2007). *Niveles de organización en animales*. (Tesis de grado). UNAM, Facultad de Ciencias.

Rivera, M. C., & Wright, E. (2020). *Apuntes de patología vegetal: fundamentos y prácticas para la salud de las plantas*. Editorial Facultad de Agronomía UBA.

Rodríguez, Mayra G, Hernández-Ochandía, Dainé, & Gómez, Lucila. (2012). Nematodos entomopatógenos: desarrollo histórico y desafíos para su uso eficiente como control biológico en la agricultura cubana. *Revista de Protección Vegetal*, 27 (3), 137-146. Recuperado en 09 de junio de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522012000300001&lng=es&tlng=en.

Sánchez Real, B. S., & Castro Godoy, N. E. (2022). *Nematodos de vida libre en suelos de relicto de bosque y cultivo de maíz en la Granja Agroecológico Minuto de Dios* (Doctoral dissertation), Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO.

Sepúlveda-Cano, P. A., López-Núñez, J. C., & Soto-Giraldo, A. (2008). Efecto de dos nematodos entomopatógenos sobre *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Dryophthoridae). *Revista Colombiana de Entomología*, 34(1), 62-67

Talavera Rubia, M. (2004). *Manual de nematología*.

- Uliana, & Silva, A. (2021). Cómo ayuda el uso de cultivos de cobertura a combatir los nematodos. *Revista Cultivar*. <https://revistacultivar-es.com/noticias/C%C3%B3mo-ayuda-el-uso-de-cultivosde-cobertura-a-combatir-los-nematodos>.
- Ulises Gonzales Guitron. (2013). *Diversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz en el municipio de Guasave, Sinaloa*. (Tesis de Grado) <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13160/1/Ulises%20Gonzalez%20Guitron..pdf>
- Ureña, B. R., Valverde, J. D., Alfaro, o. S., & Rojas, D. C. (15 de 08 de 2020). Importancia económica de los nematodos fitoparásitos. *Engormix*: https://www.engormix.com/agricultura/enfermedades-plagas-cultivosintensivos/importancia-economica-nematodos-fitoparasitos_a45999/
- Varón, F. (2002). *Principales Nematodos Que Atacan El Frijol Y Su Control*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical , CIAT.
- Villamar , A., & A. A. (2016). *UG- Repositorio Institucional* . (Tesis de Grado) Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/f0fc2162-48f1-401d-8988-8b41acac6fad>
- Vimara V. (2021). *Evaluación del nematodo entomopatógeno Steinernema carpocapsae para el manejo de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation), Universidad Agraria del Ecuador.
- Vuletic, E. E. (2023). *Capacidad reproductiva de dos especies de nematodos del género Pratylenchus en cinco híbridos de maíz* (Master's tesis). Universidad Católica de Córdoba.