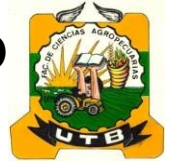




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA**

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter complejo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Uso de Nematodos entomopatógenos para el control de
insectos en cultivos de Hortalizas

AUTOR:

David Alexander Zambrano Zambrano

TUTOR:

Ing. Agrop. Andy Ronquillo Moran. Mcs.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

Resumen

Esta investigación se centró en el uso de nematodos entomopatógenos para el control de plagas en cultivos de hortalizas abordando su identificación, mecanismos de acción, eficiencia e impacto ambiental; el objetivo fue describir su uso, mientras que los objetivos específicos incluyeron la identificación de los principales nematodos entomopatógenos, el detalle de sus mecanismos de control, y el análisis de su eficiencia en diferentes condiciones y cultivos. La metodología utilizada consistió en una revisión exhaustiva de la literatura científica, por otro lado, los resultados revelaron que los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* son los principales nematodos entomopatógenos utilizados debido a su alta efectividad contra una variedad de insectos plaga; los mecanismos de control incluyen la infección del huésped mediante la liberación de bacterias simbióticas, causando la muerte del insecto en pocos días, de esta forma se puede afirmar que la eficiencia de estos nematodos puede alcanzar hasta el 50% de reducción de plagas en condiciones óptimas, aunque factores como la temperatura y la humedad del suelo pueden influir significativamente en su desempeño. En cuanto al impacto ambiental, el uso de nematodos entomopatógenos presenta un menor riesgo comparado con los pesticidas químicos, ya que no dejan residuos tóxicos y son seguros para organismos no objetivo; en cuanto a las principales conclusiones de la investigación, estas subrayan la efectividad y sostenibilidad de los nematodos entomopatógenos como una alternativa viable para el manejo de plagas en cultivos de hortalizas, adicionalmente, se destaca la necesidad de seguir investigando para optimizar las condiciones de aplicación y maximizar su eficiencia en diversos contextos agrícolas.

Palabras claves:

Nematodos, Entomopatógenos, Biocontrol, Hortalizas, insectos.

Summary

This research focused on the use of entomopathogenic nematodes for pest control in vegetable crops, addressing their identification, mechanisms of action, efficiency, and environmental impact. The general objective was to describe their use, while the specific objectives included identifying the main entomopathogenic nematodes, detailing their control mechanisms, and analyzing their efficiency under different conditions and crops. The methodology used consisted of an exhaustive review of scientific literature. The results revealed that the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis* are the main entomopathogenic nematodes used, due to their high effectiveness against a variety of pest insects. The control mechanisms include infecting the host by releasing symbiotic bacteria, causing the insect's death within a few days. The efficiency of these nematodes can reach up to 50% pest reduction under optimal conditions, although factors such as soil temperature and humidity can significantly influence their performance. Regarding environmental impact, the use of entomopathogenic nematodes presents a lower risk compared to chemical pesticides, as they do not leave toxic residues and are safe for non-target organisms. The main conclusions of the research underscore the effectiveness and sustainability of entomopathogenic nematodes as a viable alternative for pest management in vegetable crops. Additionally, the need for further research to optimize application conditions and maximize efficiency in various agricultural contexts is highlighted.

Keywords:

Nematodes, Entomopathogens, Biocontrol, Vegetables, Insects.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos del estudio.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. . Objetivos específicos	4
1.5. Líneas de investigación	4
2. DESARROLLO.....	5
2.1. Marco conceptual.	5
2.1.1. Cultivos de Hortalizas.....	5
2.1.1.1. Importancia Nutricional y Económica.....	5
2.1.1.2. Principales Cultivos de Hortalizas	5
2.1.1.3. Retos en el Cultivo de Hortalizas	6
2.1.2. Manejo integrado de plagas y prácticas sostenibles.....	7
2.1.3. Nematodos entomopatógenos (clasificación y características).....	7
2.1.3.1. Características	7
2.1.3.2. Clasificación	8
2.1.3.3. Mecanismos de acción de los nematodos entomopatógenos contra insectos plaga en cultivos de hortalizas	9
2.1.3.3.1. Fase de Infección	9
2.1.3.3.2. Liberación de bacterias simbióticas	10
2.1.3.3.3. Rápida Mortalidad del Huésped	10
2.1.3.3.4. Reproducción de Nematodos dentro del Huésped	10
2.1.3.3.5. Persistencia y Dispersión en el Ambiente	10
2.1.3.3.6. Aplicación en Cultivos de Hortalizas	11
2.1.3.3.7. Ventajas y Consideraciones	11
2.1.3.4. Factores que afectan la eficacia de los nematodos entomopatógenos en el campo.....	11
2.1.3.4.1. Condiciones del Suelo.....	12

2.1.3.4.2. Temperatura.....	12
2.1.3.4.3. Disponibilidad de Huéspedes	12
2.1.3.4.4. Compatibilidad con Prácticas Agrícolas	12
2.1.3.4.5. Interacciones con Otros Organismos.....	13
2.1.3.4.6. Método de Aplicación	13
2.1.3.4.7. Persistencia en el Ambiente	13
2.1.3.5. Impacto Ambiental del Uso de Nematodos Entomopatógenos	
Comparado con Pesticidas Químicos	14
2.1.3.5.1. Toxicidad y Contaminación Ambiental.....	14
2.1.3.5.2. Persistencia y Bioacumulación	15
2.1.3.5.3. Resistencia de las Plagas	15
2.1.3.5.4. Impacto en la Salud Humana	15
2.1.3.5.5. Sostenibilidad y Conservación de Recursos.....	16
2.1.3.6. Efectividad de nematodos entomopatógenos en el control de plagas	
en cultivos de hortalizas específicas.....	16
2.1.3.6.1. Beneficios y Limitaciones	17
2.2. Marco metodológico	19
2.3. Resultados	20
2.4. Discusión de resultados.....	21
3. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	22
3.1. Conclusiones.....	22
3.2. Recomendaciones.....	23
4. REFERENCIAS Y ANEXOS.....	24
4.1. REFERENCIAS.....	24
4.2. ANEXOS.	30

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción.

En el contexto global, los nematodos entomopatógenos han surgido como una alternativa biológica prometedora para el control de insectos plaga en la agricultura, estos microorganismos, que incluyen especies como *Heterorhabditis* y *Steinernema*, son parásitos naturales de insectos y pueden utilizarse de manera efectiva como agentes de control biológico, en cuanto a su aplicación en cultivos de hortalizas, estos no solo ofrece una solución sostenible y ambientalmente amigable, sino que también reduce la dependencia de los pesticidas químicos promoviendo así la salud del suelo y la biodiversidad agrícola (Vidaurre *et al.* 2020).

A nivel nacional, Ecuador se destaca como un productor significativo de hortalizas incluyendo cultivos como tomate, pimiento, lechuga y brócoli, entre otros, sin embargo, la producción se ve amenazada por insectos plaga que pueden causar pérdidas significativas si no se manejan adecuadamente, en este contexto, el uso de nematodos entomopatógenos presenta una oportunidad única para mejorar la eficacia del control de plagas en estos cultivos, asegurando al mismo tiempo la calidad y la cantidad de la producción agrícola (Castro *et al.* 2023).

En el contexto local, los agricultores enfrentan desafíos específicos relacionados con plagas que afectan directamente a los cultivos de hortalizas locales, por lo que la implementación de estrategias de manejo integrado de plagas que incluyan nematodos entomopatógenos podría no solo mejorar la productividad de los cultivos, sino también fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas locales frente a las fluctuaciones ambientales y económicas.

Por lo antes expuesto el presente estudio se centra en explorar el uso de nematodos entomopatógenos como una alternativa prometedora para el control biológico de insectos en cultivos de hortalizas, adicionalmente, este enfoque no solo busca ofrecer soluciones efectivas y sostenibles para los agricultores, sino también contribuir al conocimiento científico en el campo del manejo integrado de plagas agrícolas.

La importancia de este tema radica en su potencial para mejorar la eficiencia productiva de los cultivos de hortalizas, reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental asociado con el uso de pesticidas químicos, también se aborda la

necesidad urgente de desarrollar prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente y socialmente responsables.

Esta investigación busca, por tanto, proporcionar una visión integral y actualizada sobre el uso de nematodos entomopatógenos en la agricultura, destacando su relevancia para el desarrollo sostenible del sector agrícola a nivel local, nacional e internacional.

1.2. Planteamiento del problema

La agricultura mundial enfrenta desafíos significativos relacionados con el manejo de plagas en los cultivos que afectan tanto la calidad como la cantidad de la producción agrícola, la dependencia excesiva de pesticidas químicos ha generado preocupaciones ambientales y de salud pública motivando la búsqueda de alternativas sostenibles y efectivas como los nematodos entomopatógenos, ya que estos microorganismos ofrecen un potencial considerable para el control biológico de insectos plaga en cultivos de hortalizas, reduciendo la necesidad de productos químicos y promoviendo prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente (Batista *et al.* 2018).

En Ecuador, un país importante en la producción de hortalizas en la región, los agricultores enfrentan pérdidas significativas debido a la presencia de plagas que afectan cultivos como tomate, pimiento, brócoli y a pesar de los esfuerzos por parte de los agricultores y las instituciones gubernamentales para implementar estrategias de manejo integrado de plagas, la eficacia y la sostenibilidad de estas prácticas siguen siendo áreas de preocupación, ya que la investigación sobre el uso específico de nematodos entomopatógenos en este contexto es limitada, lo que subraya la necesidad de explorar a fondo su potencial y aplicación en condiciones locales (Castro *et al.* 2023).

El conocimiento limitado sobre la eficiencia y aplicación específica de los nematodos entomopatógenos en los cultivos de hortalizas en la provincia de Los Ríos representa una barrera significativa para su adopción generalizada a pesar del potencial prometedor de estos microorganismos como alternativa biológica al uso de pesticidas químicos, dado que, existen dudas sobre su efectividad en condiciones agrícolas locales específicas, ha aquello se suma la falta de información detallada sobre la adaptabilidad de los nematodos entomopatógenos

a los diferentes tipos de suelo y climas predominantes en la región puede limitar su aplicación práctica y efectividad a largo plazo; estas incertidumbres subrayan la necesidad urgente de investigaciones que no solo evalúen la viabilidad técnica de esta estrategia, sino que también consideren los aspectos económicos y socio ambientales que pueden influir en su implementación exitosa en el contexto agrícola local.

1.3. Justificación

La investigación sobre el uso de nematodos entomopatógenos en el control de plagas en cultivos de hortalizas reviste una importancia significativa desde diversos ángulos, en primer lugar, el estudio busca ofrecer una alternativa efectiva y sostenible al uso de pesticidas químicos, los cuales no solo tienen impactos ambientales negativos, sino que también plantean riesgos para la salud humana y la seguridad alimentaria, ante aquello este estudio surge como una solución, al promover prácticas de manejo integrado de plagas basadas en bioplaguicidas como los nematodos entomopatógenos, se busca reducir la dependencia de productos químicos sintéticos y fomentar la conservación de la biodiversidad agrícola (De Oliveira *et al.* 2018).

Desde un punto de vista teórico-científico esta investigación contribuirá al avance del conocimiento en el campo del control biológico de plagas, mediante la evaluación rigurosa de la eficiencia y adaptabilidad de los nematodos entomopatógenos en diferentes condiciones agrícolas, lo que permitirá identificar las mejores prácticas y recomendaciones para su aplicación práctica y efectiva, así también los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones y desarrollo de estrategias más eficaces y específicas para el manejo de plagas en cultivos de hortalizas a nivel local, nacional e internacional (Pacheco *et al.* 2019).

Adicionalmente, desde una perspectiva aplicada, los beneficios de implementar esta tecnología pueden ser significativos para los agricultores de la provincia de Los Ríos y otras regiones agrícolas similares, por lo que se espera que el uso de nematodos entomopatógenos no solo mejore la calidad y cantidad de la producción de hortalizas al reducir las pérdidas causadas por plagas, sino que también contribuya a la rentabilidad económica de las explotaciones agrícolas al disminuir los costos asociados con el control de plagas.

Este estudio no solo aborda un problema práctico y urgente en la agricultura moderna, sino que también ofrece una contribución sustancial al desarrollo científico y tecnológico del manejo integrado de plagas, por tanto que, los resultados esperados no solo beneficiarán a los productores agrícolas y consumidores finales, sino que también tendrán implicaciones más amplias para la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria a nivel regional y global.

1.4. Objetivos del estudio

1.4.1. Objetivo general

- Describir el uso de nematodos entomopatógenos en el control de insectos en cultivos de hortalizas

1.4.2. . Objetivos específicos

- Identificar los principales nematodos entomopatógenos para el control de insectos en cultivos de hortalizas.
- Detallar los mecanismos de control de insectos en cultivos de hortalizas usando los nematodos entomopatógenos.
- Analizar la eficiencia de los nematodos entomopatógenos en el control de insectos en los cultivos de hortalizas.

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Uso de nematodos entomopatógenos para el control de insectos en cultivos de hortalizas”. En este contexto, la línea específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable en la Sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO.

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Cultivos de Hortalizas

Los cultivos de hortalizas son una parte esencial de la agricultura mundial, ya que representan una fuente crucial de nutrientes, vitaminas y minerales para la dieta humana, así mismo las hortalizas incluyen una amplia variedad de plantas cultivadas, como tomates, lechugas, zanahorias, pimientos, pepinos, entre otros, mismos cultivos que son altamente valorados no solo por su contenido nutricional sino también por su contribución a la seguridad alimentaria y a la economía agrícola (Cruz y Leos 2019).

2.1.1.1. Importancia Nutricional y Económica

Las hortalizas son fundamentales en una dieta balanceada debido a su alto contenido en vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes, estas propiedades nutricionales ayudan a prevenir enfermedades crónicas como la diabetes, enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer, además de aquello, las hortalizas tienen un bajo contenido calórico, lo que las hace ideales para mantener un peso saludable. Desde una perspectiva económica, los cultivos de hortalizas representan una fuente significativa de ingresos para los agricultores especialmente en las regiones donde la agricultura intensiva de hortalizas es una práctica común, debido a que las hortalizas son productos de alto valor que pueden generar ingresos constantes a lo largo del año debido a su demanda continua, puesto que el comercio de hortalizas frescas y procesadas contribuye considerablemente a las economías locales, regionales e internacionales (Amjad *et al.* 2024).

2.1.1.2. Principales Cultivos de Hortalizas

Tomates: Son una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo, ya que son ricos en licopeno, un antioxidante que tiene numerosos beneficios para la salud, así mismo los tomates se utilizan en una variedad de productos alimenticios, desde salsas hasta jugos y ensaladas (Tomalá *et al.* 2023).

Pimientos: Disponibles en una variedad de colores y sabores, los pimientos son ricos en vitamina C y otros antioxidantes, estos se utilizan en muchas cocinas alrededor del mundo, tanto frescos como cocidos (Rodoni *et al.* 2017).

Zanahorias: Son conocidas por su alto contenido en betacaroteno que el cuerpo convierte en vitamina A, esencial para la visión y el sistema inmunológico, en cuanto a su consumo, las zanahorias pueden consumirse crudas, cocidas o como parte de diferentes recetas (Tomalá *et al.* 2023).

Lechugas: Varían en tipo y sabor, y son una parte integral de las ensaladas y otros platos frescos, esta hortaliza es apreciada por su considerable contenido en agua, fibra y vitaminas como la vitamina K y la vitamina A (Zea *et al.* 2020).

2.1.1.3. Retos en el Cultivo de Hortalizas

Los cultivos de hortalizas enfrentan varios desafíos que pueden afectar su producción y calidad, entre los principales retos se incluyen las plagas, enfermedades, las condiciones climáticas adversas, la escasez de agua y la degradación del suelo.

Plagas y Enfermedades: Los cultivos de hortalizas son susceptibles a una amplia gama de plagas, incluyendo insectos, nematodos y patógenos fúngicos, estas plagas pueden reducir significativamente el rendimiento y la calidad de los cultivos si no se manejan adecuadamente (Carbonel y Luciano 2023).

Condiciones Climáticas: Factores como las temperaturas extremas, las heladas y las lluvias intensas pueden afectar negativamente a los cultivos de hortalizas, así mismo los cambios climáticos también pueden alterar los patrones de plagas y enfermedades, complicando aún más el manejo de estos cultivos (Cruz y Leos 2019).

Escasez de Agua: El riego es esencial para la producción de hortalizas, pero la escasez de agua es un problema creciente en muchas regiones agrícolas, por aquello, la eficiencia en el uso del agua y la implementación de técnicas de riego sostenibles son cruciales para asegurar la producción continua de hortalizas (Carbonel y Luciano 2023).

Degradación del Suelo: La calidad del suelo es fundamental para el crecimiento de las hortalizas, esos cultivos suelen verse afectados por la erosión, la salinización y la pérdida de materia orgánica, estos son algunos de los problemas que pueden reducir la fertilidad del suelo y, por lo tanto, el rendimiento de los cultivos (Rodoni *et al.* 2017).

2.1.2. Manejo integrado de plagas y prácticas sostenibles

El manejo integrado de plagas (MIP) es una estrategia esencial para la producción sostenible de hortalizas, puesto que el MIP combina diferentes métodos de control, incluyendo el uso de insecticidas biológicos como los nematodos entomopatógenos, la rotación de cultivos, el control cultural y la resistencia genética. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles también se vuelve crucial para mantener la salud del suelo y la productividad a largo plazo, debido a que estas prácticas incluyen la compostación, el uso de abonos verdes, la conservación del agua y la protección del medio ambiente (Beltran *et al.* 2022).

Por lo antes expuesto, se puede afirmar que los cultivos de hortalizas son vitales tanto desde una perspectiva nutricional como económica a pesar de los desafíos que enfrentan, por ello se vuelve indispensable la adopción de prácticas de manejo sostenible y tecnologías innovadoras para buscar la mejora la producción y así asegurar la disponibilidad continua de estos importantes cultivos.

2.1.3. Nematodos entomopatógenos (clasificación y características)

Los nematodos entomopatógenos son organismos microscópicos que juegan un papel crucial en el control biológico de plagas agrícolas, estos nematodos pertenecientes principalmente a los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* han demostrado ser efectivos agentes de control biológico debido a su capacidad para parasitar y matar una amplia variedad de insectos plaga (De Sabino *et al.* 2017).

2.1.3.1. Características

Una de las características más destacadas de los nematodos entomopatógenos es su ciclo de vida complejo, que incluye una fase infectiva durante la cual buscan activamente a sus huéspedes, dentro de esta etapa infectiva los nematodos conocidos como juveniles infectivos (J3 en *Steinernema* y J2 en

Heterorhabditis) son capaces de penetrar en el cuerpo de los insectos a través de aberturas naturales como la boca, el ano o los espiráculos- una vez dentro del huésped, los nematodos liberan bacterias simbióticas (del género *Xenorhabdus* en *Steinernema* y *Photorhabdus* en *Heterorhabditis*) que se multiplican rápidamente liberando toxinas que matan al insecto en un corto período de tiempo, que generalmente oscila entre 24 a 48 horas (Castro *et al.* 2023).

Otra característica importante es su capacidad para sobrevivir en el suelo durante períodos prolongados en ausencia de insectos huéspedes, lo que les permite persistir en el ambiente hasta que se presenten condiciones adecuadas para infectar nuevos huéspedes, estos nematodos entomopatógenos también son altamente específicos en cuanto a los insectos que pueden parasitar, lo que minimiza el riesgo de afectar organismos no objetivo y reduce el impacto ambiental negativo (De Sabino *et al.* 2017).

2.1.3.2. Clasificación

La clasificación de los nematodos entomopatógenos se basa principalmente en su morfología, ciclo de vida y las bacterias simbióticas que albergan, los dos géneros más estudiados y utilizados en el control biológico son *Steinernema* y *Heterorhabditis*, Beltran *et al.* (2022) menciona lo siguiente sobre aquellos géneros:

Género *Steinernema*: Los nematodos de este género se caracterizan por tener una etapa infectiva que corresponde al tercer estadio juvenil (J3), estos nematodos son reconocidos por su asociación simbiótica con bacterias del género *Xenorhabdus*. *Steinernema* spp. que presentan una gran diversidad de especies, cada una adaptada a diferentes condiciones ambientales y tipos de insectos huéspedes.

Género *Heterorhabditis*: Los nematodos de este género tienen una etapa infectiva correspondiente al segundo estadio juvenil (J2) y se asocian con bacterias del género *Photorhabdus*, que son responsables de la rápida muerte del insecto huésped, a diferencia de *Steinernema*, los nematodos *Heterorhabditis* tienen una cutícula cuticular que les permite penetrar más fácilmente en los tejidos del huésped.

Ambos géneros de nematodos entomopatógenos son utilizados en la agricultura para el control de una amplia gama de insectos plaga, incluyendo larvas de escarabajos, polillas, moscas y gusanos de raíz, dicha elección entre *Steinernema* y *Heterorhabditis* depende de factores como el tipo de plaga, las condiciones ambientales y las características del suelo (Castro *et al.* 2023).

Por todo lo antes mencionado se puede establecer que los nematodos entomopatógenos son herramientas valiosas en el control biológico de plagas debido a sus características únicas y su capacidad para ser específicos en su acción contra insectos plaga, la clasificación basada en los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* proporciona una base sólida para su aplicación efectiva en la agricultura sostenible, contribuyendo así a la reducción del uso de pesticidas químicos y promoviendo prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente.

2.1.3.3. Mecanismos de acción de los nematodos entomopatógenos contra insectos plaga en cultivos de hortalizas

Los nematodos entomopatógenos son organismos que han sido ampliamente estudiados y utilizados debido a su capacidad para controlar eficazmente una variedad de insectos plaga en cultivos agrícolas, incluidos los de hortalizas, debido a que estos nematodos actúan como parásitos naturales de insectos y emplean una serie de mecanismos para infectar y matar a sus huéspedes (Rodoni *et al.* 2017).

2.1.3.3.1. Fase de Infección

El ciclo de acción de los nematodos entomopatógenos comienza con la fase de búsqueda e infección del huésped, los juveniles infectivos (J3 en *Steinernema* y J2 en *Heterorhabditis*) son las formas de vida libres que buscan activamente a los insectos hospedadores en el suelo, primero utilizan señales químicas, térmicas y de CO₂ para localizar a sus huéspedes, una vez que encuentran un huésped adecuado penetran en su cuerpo a través de aberturas naturales como la boca, el ano, los espiráculos o incluso mediante perforación directa de la cutícula (Eliceche *et al.* 2017).

2.1.3.3.2. Liberación de bacterias simbióticas

Tras la penetración en el huésped los nematodos entomopatógenos liberan bacterias simbióticas que llevan en su sistema digestivo, aquellas bacterias pertenecen al género *Xenorhabdus* en el caso de *Steinernema* y *Photorhabdus* en el caso de *Heterorhabditis*, una vez adentro las bacterias se multiplican rápidamente dentro del insecto, liberando una variedad de toxinas y enzimas que destruyen los tejidos del huésped (Beltran *et al.* 2022).

2.1.3.3.3. Rápida Mortalidad del Huésped

Las toxinas y enzimas producidas por las bacterias simbióticas causan una sepsis generalizada en el insecto huésped provocando su muerte en un período de tiempo que varía entre 24 a 72 horas, este proceso de rápida mortalidad es fundamental para evitar que el insecto se recupere y siga causando daño a los cultivos (Guerra y Acero 2021).

2.1.3.3.4. Reproducción de Nematodos dentro del Huésped

Una vez muerto el insecto, los nematodos entomopatógenos se alimentan de los tejidos licuados por las bacterias y comienzan a reproducirse, mientras ocurre esto, por otro lado el interior del insecto se convierte en un hábitat adecuado para el desarrollo de múltiples generaciones de nematodos, los juveniles resultantes de esta reproducción se convierten en nuevas formas infectivas que eventualmente emergen del cadáver del insecto en busca de nuevos huéspedes, perpetuando así el ciclo de vida y acción de los nematodos (Guide *et al.* 2016).

2.1.3.3.5. Persistencia y Dispersión en el Ambiente

Los nematodos entomopatógenos tienen la capacidad de persistir en el suelo durante períodos prolongados incluso en ausencia de insectos huéspedes, lo que les permite estar listos para infectar nuevos insectos cuando las condiciones sean favorables, esta capacidad de persistencia se vuelve crucial para su eficacia a largo plazo como agentes de control biológico (Guerra y Acero 2021).

2.1.3.3.6. Aplicación en Cultivos de Hortalizas

En cultivos de hortalizas los nematodos entomopatógenos se aplican típicamente mediante métodos de riego o pulverización del suelo, la eficacia de esta aplicación depende de factores como la correcta dosificación, la homogeneidad de la aplicación y las condiciones ambientales, como la humedad del suelo y la temperatura, si se realiza una aplicación correcta los nematodos lograrán ser efectivos contra una amplia gama de plagas de hortalizas, incluyendo gusanos de raíz, larvas de escarabajos y polillas, entre otros (Guide *et al.* 2016).

2.1.3.3.7. Ventajas y Consideraciones

El uso de nematodos entomopatógenos en el manejo integrado de plagas ofrece varias ventajas, ya que son específicos para los insectos plaga, lo que minimiza el impacto en organismos no objetivo, además, son seguros para los humanos y el medio ambiente, y su uso puede reducir la dependencia de pesticidas químicos, sin embargo, la efectividad de los nematodos puede verse influenciada por factores ambientales y su aplicación requiere un manejo cuidadoso para asegurar el éxito. Los nematodos entomopatógenos representan una herramienta valiosa y efectiva para el control biológico de insectos plaga en cultivos de hortalizas, puesto que su mecanismo de acción, basado en la infección, liberación de bacterias simbióticas y rápida mortalidad del huésped, les permite desempeñar un papel crucial en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la reducción del uso de pesticidas químicos (Pacheco *et al.* 2019).

2.1.3.4. Factores que afectan la eficacia de los nematodos entomopatógenos en el campo

La efectividad de los nematodos entomopatógenos como agentes de control biológico de plagas puede variar significativamente según diversos factores ambientales, biológicos y de manejo, estos factores influyen en la capacidad de los nematodos para encontrar, infectar y matar a sus huéspedes en el entorno agrícola, a continuación, se describen los principales factores que afectan su eficacia en el campo (Eliceche *et al.* 2017).

2.1.3.4.1. Condiciones del Suelo

El suelo es el hábitat principal de los nematodos entomopatógenos por lo que sus características físicas y químicas pueden influir notablemente en su actividad y supervivencia, la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad y el pH son factores críticos; uno de los suelos más adecuado es el arenoso, puesto que cuenta con buena porosidad y drenaje que facilitan el movimiento de los nematodos, mientras que los suelos compactos o con alta densidad de partículas pueden dificultar su desplazamiento, en cuanto a la humedad del suelo, esta es esencial, ya que los nematodos requieren ambientes húmedos para moverse y sobrevivir, finalmente se necesita un pH del suelo neutro a ligeramente ácido para una eficiente actividad de los nematodos (Rodoni *et al.* 2017).

2.1.3.4.2. Temperatura

La temperatura del suelo y del ambiente afecta la actividad metabólica y la tasa de infección de los nematodos entomopatógenos. Cada especie de nematodo tiene un rango óptimo de temperatura en el cual su eficacia es máxima. En general, las temperaturas moderadas (entre 15°C y 30°C) son favorables para la mayoría de las especies. Temperaturas demasiado bajas pueden ralentizar su actividad, mientras que temperaturas excesivamente altas pueden ser letales o inhibir su capacidad de infección (Parada *et al.* 2019).

2.1.3.4.3. Disponibilidad de Huéspedes

La presencia y abundancia de insectos plaga en el campo son determinantes para la eficacia de los nematodos entomopatógenos. La densidad de la población de plagas influye en la probabilidad de encuentro y posterior infección por parte de los nematodos. Además, la susceptibilidad de las especies de insectos plaga al ataque de los nematodos también varía, afectando así la eficacia del control biológico (Rodoni *et al.* 2017).

2.1.3.4.4. Compatibilidad con Prácticas Agrícolas

Las prácticas agrícolas, como la aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, pueden impactar la supervivencia y eficacia de los nematodos

entomopatógenos. Algunos pesticidas químicos pueden ser tóxicos para los nematodos, reduciendo su población y efectividad. Por otro lado, la incorporación de materia orgánica y el manejo adecuado del riego pueden mejorar las condiciones del suelo y favorecer la actividad de los nematodos. Es importante integrar el uso de nematodos en programas de manejo integrado de plagas para maximizar su eficacia (Peschiutta *et al.* 2014).

2.1.3.4.5. Interacciones con Otros Organismos

Los nematodos entomopatógenos interactúan con una variedad de otros organismos en el suelo, incluyendo bacterias, hongos y otros nematodos. Algunas de estas interacciones pueden ser beneficiosas, mientras que otras pueden ser antagonistas. Por ejemplo, los hongos patógenos del suelo pueden competir con los nematodos por los mismos huéspedes, mientras que ciertas bacterias pueden mejorar la infectividad de los nematodos al modificar el ambiente del suelo (Parada *et al.* 2019).

2.1.3.4.6. Método de Aplicación

El método y la técnica de aplicación de los nematodos entomopatógenos también juegan un papel crucial en su éxito. Los nematodos pueden ser aplicados mediante riego por goteo, aspersión o inyección directa en el suelo. La uniformidad y precisión en la aplicación son esenciales para asegurar una cobertura adecuada y maximizar el contacto con los insectos plaga. Además, la cantidad de nematodos aplicada (densidad de inoculación) debe ser suficiente para garantizar la infección exitosa de las plagas presentes (Restrepo *et al.* 2019).

2.1.3.4.7. Persistencia en el Ambiente

La capacidad de los nematodos para persistir en el suelo después de la aplicación inicial es un factor importante que determina su eficacia a largo plazo. Los nematodos deben ser capaces de sobrevivir en el suelo en ausencia de huéspedes hasta que las condiciones sean favorables para la infección. Factores como la resistencia a la desecación, la capacidad de entrar en estados de latencia y la resistencia a las condiciones adversas del suelo influyen en su persistencia (Pacheco *et al.* 2019).

La eficacia de los nematodos entomopatógenos en el campo es el resultado de una compleja interacción de factores ambientales, biológicos y de manejo. La comprensión y el control de estos factores son esenciales para optimizar el uso de nematodos como agentes de control biológico y mejorar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas en cultivos de hortalizas.

2.1.3.5. Impacto Ambiental del Uso de Nematodos Entomopatógenos Comparado con Pesticidas Químicos

El manejo de plagas en la agricultura ha dependido históricamente de los pesticidas químicos, los cuales han mostrado eficacia en la reducción de poblaciones de insectos plaga. Sin embargo, el uso intensivo y a menudo indiscriminado de estos productos químicos ha provocado serios problemas ambientales y de salud pública. En contraste, los nematodos entomopatógenos ofrecen una alternativa biológica que puede mitigar muchos de estos problemas. A continuación, se analiza el impacto ambiental del uso de nematodos entomopatógenos en comparación con los pesticidas químicos (Cáceres y Iannacone 2021).

2.1.3.5.1. Toxicidad y Contaminación Ambiental

Los pesticidas químicos están diseñados para ser tóxicos para los insectos plaga, pero su toxicidad no se limita a estos organismos. Muchos pesticidas pueden ser perjudiciales para una amplia gama de organismos no objetivo, incluidos polinizadores, aves, peces y otros animales silvestres. Adicionalmente, los pesticidas pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, causando daños a los ecosistemas y afectando la biodiversidad. En contraste, los nematodos entomopatógenos son específicos para sus huéspedes y generalmente no afectan a los organismos no objetivo. Al ser organismos vivos, los nematodos no dejan residuos tóxicos en el ambiente y no contribuyen a la contaminación del suelo o el agua. Esta especificidad y baja toxicidad hacen que los nematodos sean una opción más segura para el control de plagas, reduciendo el riesgo de daño a la fauna beneficiosa y a los ecosistemas en general (Vidaurre *et al.* 2020).

2.1.3.5.2. Persistencia y Bioacumulación

Los pesticidas químicos pueden persistir en el ambiente durante largos períodos, y algunos de ellos pueden bioacumularse en la cadena alimentaria, afectando a los organismos de niveles tróficos superiores, incluidos los humanos. Esta persistencia y capacidad de bioacumulación son causas importantes de preocupación ambiental y de salud. Por otro lado, los nematodos entomopatógenos tienen ciclos de vida limitados y no se bioacumulan en la cadena alimentaria. Después de infectar a sus huéspedes, los nematodos completan su ciclo de vida y eventualmente mueren si no encuentran nuevos huéspedes. Esta falta de persistencia a largo plazo y bioacumulación reduce significativamente los riesgos asociados con su uso en el control de plagas (Restrepo *et al.* 2019).

2.1.3.5.3. Resistencia de las Plagas

El uso prolongado de pesticidas químicos ha llevado al desarrollo de resistencia en muchas especies de insectos plaga, esta resistencia reduce la efectividad de los pesticidas y puede requerir el uso de dosis más altas o el desarrollo de nuevos productos químicos lo que agrava los problemas de toxicidad y contaminación; en contraste, la resistencia a los nematodos entomopatógenos es menos común, la diversidad genética dentro de las poblaciones de nematodos y la complejidad de su mecanismo de acción dificultan que las plagas desarrollen resistencia, además, los nematodos pueden adaptarse y evolucionar en respuesta a las plagas, lo que mantiene su eficacia a largo plazo (Sánchez *et al.* 2019).

2.1.3.5.4. Impacto en la Salud Humana

Los pesticidas químicos pueden tener efectos adversos en la salud humana especialmente para los agricultores y trabajadores agrícolas que están expuestos directamente a ellos, ya que la exposición a pesticidas se ha relacionado con una variedad de problemas de salud, incluidos trastornos neurológicos, cáncer y problemas reproductivos, los nematodos entomopatógenos aparecen como una solución al ser organismos naturales y específicos para sus huéspedes, presentan un riesgo mínimo para la salud humana y su uso en el control de plagas elimina la necesidad de manipular productos químicos tóxicos, mejorando así la seguridad de

los trabajadores agrícolas y reduciendo los riesgos para la salud pública (Samie y Saeedizadeh 2023).

2.1.3.5.5. Sostenibilidad y Conservación de Recursos

El uso de nematodos entomopatógenos contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles al reducir la dependencia de insumos químicos, esto no solo mejora la calidad del suelo y del agua, sino que también promueve la conservación de la biodiversidad y el equilibrio ecológico, de esta forma se puede asegurar que al integrar los nematodos en programas de manejo integrado de plagas, se pueden desarrollar sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles. Indudablemente los nematodos entomopatógenos ofrecen una alternativa ecológica y sostenible a los pesticidas químicos, puesto que su especificidad para los insectos plaga, la falta de toxicidad y persistencia en el ambiente, y el bajo riesgo de desarrollo de resistencia los convierten en una herramienta valiosa para el manejo integrado de plagas, al optar por el uso de nematodos, los agricultores pueden minimizar los impactos ambientales negativos y contribuir a la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (Sánchez *et al.* 2019).

2.1.3.6. Efectividad de nematodos entomopatógenos en el control de plagas en cultivos de hortalizas específicas

El uso de nematodos entomopatógenos (NEPs) en el control biológico de plagas ha demostrado ser una estrategia eficaz y sostenible en diversos cultivos hortícolas. Los NEPs, principalmente de los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis*, actúan como parásitos de insectos plaga, proporcionando un control natural y reduciendo la necesidad de pesticidas químicos. A continuación, se analiza la efectividad de los NEPs en el manejo de plagas en cultivos de hortalizas específicas como tomates, zanahorias y lechugas (Samie y Saeedizadeh 2023).

Tomate (*Solanum lycopersicum*): El cultivo de tomate es susceptible a diversas plagas, entre las cuales destacan los gusanos del suelo (*Agrotis spp.*), la polilla del tomate (*Tuta absoluta*), y los gusanos del fruto (*Helicoverpa zea*). Estudios han demostrado que *Steinernema carpocapsae* y *Heterorhabditis bacteriophora* son efectivos contra estas plagas. Los nematodos penetran en el

cuerpo de las larvas del gusano del suelo y las polillas, liberando bacterias simbióticas que matan al huésped en pocos días. Ensayos de campo han mostrado una reducción significativa de las poblaciones de plagas y daños a los frutos, mejorando el rendimiento y la calidad de los tomates. (Tomalá *et al.* 2023).

Zanahoria (*Daucus carota*): Las zanahorias son comúnmente afectadas por plagas del suelo como el gusano de la raíz (*Psila rosae*) y el gusano alambre (*Agriotes spp.*). Los NEPs, especialmente *Steinernema feltiae* y *Heterorhabditis megidis*, han sido utilizados con éxito para controlar estas plagas. En aplicaciones de riego por goteo, los NEPs se introducen en el suelo donde buscan y parasitan las larvas de los gusanos. Los resultados muestran una disminución notable en la población de larvas y una reducción en el daño a las raíces de las zanahorias, lo que se traduce en una mejor calidad del producto cosechado (Vidaurre *et al.* 2020).

Lechuga (*Lactuca sativa L*): Las lechugas son vulnerables a una variedad de plagas, incluyendo larvas de lepidópteros como la polilla de la lechuga (*Trichoplusia ni*) y larvas de dípteros como la mosca del sustrato (*Bradysia spp.*). *Steinernema kraussei* y *Heterorhabditis downesi* han sido utilizados en estudios para controlar estas plagas con éxito. La aplicación de NEPs en cultivos de lechuga ha mostrado una reducción en la incidencia de plagas y menor daño foliar. Esto se traduce en hojas más sanas y mayor productividad (Zea *et al.* 2020).

2.1.3.6.1. Beneficios y Limitaciones

El uso de NEPs en el control de plagas en hortalizas ofrece varios beneficios:

- Reducción de Pesticidas Químicos: Disminuye la dependencia de productos químicos, reduciendo la contaminación y el impacto en la salud humana.
- Seguridad Ambiental: Son seguros para organismos no objetivo y no dejan residuos tóxicos en el ambiente.
- Eficacia a Largo Plazo: La capacidad de los NEPs para persistir en el suelo y adaptarse a las plagas los convierte en una solución sostenible.

Sin embargo, también existen limitaciones:

- Sensibilidad a Condiciones Ambientales: Los NEPs pueden ser menos efectivos en condiciones adversas, como suelos muy secos o temperaturas extremas.
- Costo Inicial: La producción y aplicación de NEPs pueden ser costosos en comparación con pesticidas químicos, aunque el costo puede reducirse con el tiempo debido a la disminución en la necesidad de tratamientos químicos.

Los nematodos entomopatógenos representan una herramienta eficaz y sostenible para el control de plagas en cultivos de hortalizas específicas. Su uso adecuado puede mejorar la salud del cultivo, la calidad del producto y la sostenibilidad del sistema agrícola (Zea *et al.* 2020).

2.2. Marco metodológico

Esta investigación es documental y no experimental, implicando la recopilación, síntesis y análisis de información existente sobre el uso de nematodos entomopatógenos en el control de plagas en cultivos de hortalizas. La información se recolectó a través de una revisión exhaustiva de la literatura disponible en libros académicos, artículos científicos, tesis, disertaciones, reportes técnicos y documentos de organismos internacionales. Se utilizaron bases de datos electrónicas como Scopus, Google Scholar, PubMed y JSTOR para acceder a publicaciones relevantes. Las fuentes seleccionadas fueron aquellas que abordan específicamente el uso de nematodos entomopatógenos en cultivos de hortalizas, con preferencia por estudios recientes y con rigor científico.

El análisis de la información incluyó una lectura crítica de cada fuente para identificar hallazgos, métodos y conclusiones principales. Se integró la información relevante en un formato coherente, comparando estudios para identificar puntos comunes y divergencias, y detectando vacíos de conocimiento. Esta metodología documental permitió una comprensión profunda y contextualizada del tema investigado, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el manejo sostenible de plagas en cultivos de hortalizas.

2.3. Resultados

Se identificaron varios géneros de nematodos entomopatógenos efectivos en el control de plagas en cultivos de hortalizas, entre los cuales destacan *Steinernema* y *Heterorhabditis*. Estos nematodos han demostrado ser altamente eficientes contra una amplia gama de insectos plaga, incluyendo larvas de lepidópteros, coleópteros y dípteros.

Los nematodos entomopatógenos actúan a través de un proceso de infección y reproducción dentro del huésped, estos nematodos liberan bacterias simbióticas en el sistema digestivo de los insectos plaga, causando una septicemia que resulta en la muerte del insecto en pocos días. Posteriormente, los nematodos se reproducen dentro del cadáver del insecto, completando su ciclo de vida y liberando nuevas generaciones de nematodos al entorno.

La eficiencia de los nematodos entomopatógenos varía según las condiciones ambientales y el tipo de cultivo, los estudios revisados indican que factores como la temperatura, humedad del suelo y la densidad de plagas afectan significativamente la efectividad de estos nematodos. En condiciones óptimas, se ha observado una reducción de hasta el 50% en la población de plagas en cultivos de hortalizas como tomate, lechuga y zanahoria.

El uso de nematodos entomopatógenos presenta un impacto ambiental significativamente menor en comparación con los pesticidas químicos tradicionales, ya que los nematodos no dejan residuos tóxicos en el suelo ni en los cultivos y su uso contribuye a la conservación de la biodiversidad al no afectar organismos no objetivo, así mismo, promueven la salud del suelo y la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

La investigación documental ha confirmado que los nematodos entomopatógenos son una herramienta eficaz y sostenible para el control de plagas en cultivos de hortalizas, como los tomates, lechugas y zanahorias. Su uso contribuye a la reducción del uso de pesticidas químicos, promoviendo prácticas agrícolas más ecológicas y sostenibles, sin embargo, es necesario seguir investigando para optimizar las condiciones de aplicación y maximizar su eficiencia en diversos contextos y cultivos agrícolas.

2.4. Discusión de resultados

La identificación de *Steinernema* y *Heterorhabditis* como los géneros más efectivos coincide con numerosos estudios previos, de esta forma concuerdo con lo dicho con los autores Vidaurre *et al.* (2020) donde señalan que *Steinernema carpocapsae* y *Heterorhabditis bacteriophora* son ampliamente utilizados en cultivos de tomates y lechugas, debido a su amplio espectro de acción y su alta tasa de éxito en el control de plagas de suelo. Estos resultados también son respaldados por Sanchez *et al.* (2019), quienes subrayan que estas especies son particularmente efectivas contra larvas de lepidópteros y coleópteros en cultivos de pimientos.

La efectividad de estos nematodos puede variar dependiendo de la especie de plaga y las condiciones ambientales, en particular, en esta investigación se ha analizado que *Steinernema feltiae* tiene un rendimiento superior en climas más fríos, mientras que *Heterorhabditis megidis* es más eficiente en suelos arenosos, del mismo modo, estos resultados coinciden con los de Parada *et al.* (2019) que explican que este proceso biológico es fundamental para la efectividad de los nematodos como agentes de biocontrol, así mismo se concuerda con Restrepo *et al.* (2019) que destacan que la simbiosis con bacterias como *Xenorhabdus* y *Photorhabdus* es crucial para la patogenicidad de los nematodos.

En este estudio se ha determinado que la eficiencia de los nematodos entomopatógenos alcanza la reducción de hasta el 50% en la población de plagas, siempre que actúen en condiciones óptimas, estos hallazgos se alinean con los de otros estudios, como el de Tomalá *et al.* (2023) donde informaron resultados similares en cultivos de tomate y lechuga bajo condiciones controladas, además, López y Soto (2016) encontraron que los nematodos son altamente eficaces en suelos bien irrigados, lo que respalda la importancia de mantener niveles adecuados de humedad para maximizar su efectividad.

3. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Se identificaron los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* como los principales nematodos entomopatógenos utilizados en el control de plagas en cultivos de hortalizas. Estas especies (*Steinernema* y *Heterorhabditis*) han mostrado una alta eficacia contra una amplia gama de insectos plaga, respaldadas por estudios que confirman su efectividad y adaptabilidad a diferentes condiciones agrícolas.

Los mecanismos de control incluyen la infección del insecto huésped mediante la liberación de bacterias simbióticas que causan la muerte del insecto, este proceso biológico ha sido bien documentado y comprobado en numerosos estudios, demostrando ser una estrategia efectiva para el manejo de plagas en cultivos de hortalizas.

Los nematodos entomopatógenos bajo condiciones óptimas pueden reducir la población de plagas hasta en un 50%, sin embargo, la eficacia de control puede variar según factores como la temperatura, humedad del suelo y la densidad de plagas.

3.2. Recomendaciones

Se sugiere utilizar los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* de nematodos entomopatógenos en cultivos de hortalizas como el tomate, lechuga, zanahoria y demás hortalizas para lograr una intervención efectiva contra plagas específicas que afectan estos cultivos.

Para combatir insectos de forma efectiva en cultivos de hortalizas, se recomienda aplicar nematodos entomopatógenos durante las primeras horas de la mañana o al atardecer para evitar la exposición al sol, que reduce su efectividad. También se sugiere mezclar los nematodos con compost o estiércol líquido para aumentar su distribución y protegerlos del ambiente hostil.

Se recomienda que los productores de hortalizas monitoreen la presencia de plagas antes y después de aplicar los nematodos, para así analizar su efectividad, pueden utilizar métodos sencillos como trampas pegajosas o inspecciones visuales; basándose en estos resultados, pueden ajustar la cantidad de nematodos aplicados o repetir la aplicación en áreas problemáticas.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias

- Amador, M; Molina, D; Guillen, C; Parajeles, E; Jiménez, K; Uribe, L. 2015. Utilización del nematodo entomopatógeno *Heterorhabditis atacamensis* ci-ne07 en el control del picudo del banano *Cosmopolites sordidus* en condiciones in vitro, Costa Rica (en línea). Revista Agronomía Costarricense 39(1):47-60. Consultado 10 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000300047&lng=en&tlng=es.
- Amjad, U; Arshad, M; Umar, P; Gul, H. 2024. Nutritional Physiology of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*) Fed on Different Wheat Varieties, Sargodha, Pakistan (en línea). Revista Enfoque UTE, 15(2);30-35. Consultado 9 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1016>
- Bacca, T; Lagos B, T. 2014. Efecto de *Beauveria bassiana* y del entomonematodo *Steinernema sp.* sobre larvas de *Galleria mellonella*, España (en línea). Boletín Científico Natural 18(1):247-258. Consultado 10 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682014000100018&lng=en&tlng=es.
- Batista, C; Andaló, V; Oliveira, F; Zampiroli, R; Mieko, J; Silva, L. 2018. Hydraulic spray nozzles for entomopathogenic nematode application, Colombia (en línea). Revista Colombiana de Entomología 44(2):206-210. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i2.7322>.
- Beltrán, A; Ortega, L; Santistevan M; Quevedo, N. 2022. Efecto de la densidad y tiempo de liberación de *Trichogramma sp* sobre *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz en la comuna San Marcos, Santa Elena-Ecuador (en línea). Revista Científica y Tecnológica UPSE RCTU, 9(1), 10-17. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i1.645>
- Bogante, D; Flores, L; Castellón, E; Uribe, L. 2018. Encapsulamiento de nematodos entomopatógenos en materiales basados en biopolímeros y su efecto sobre *Galleria mellonella*, Costa Rica (en línea). Agronomía Costarricense, 42(2), 9-

27. Consultado 9 jul. 2024. Disponible en <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v42i2.33774>
- Cáceres, F; Lannacone, J. 2021. Evaluación del riesgo ambiental por los insecticidas fipronil e imidacloprid en el camarón de río (*Cryphiops caementarius*), Guayaquil-Ecuador (en línea). Revista de Ciencias de la Vida, 33(1), 104-114. Consultado el 5 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.09>
- Cagnolo, S; Carranza, T; Bertolotti, M. 2016. New findings of Heterorhabditis bacteriophora and Steinernema rarum (Nematoda: Heterorhabditidae, Steinernematidae) in Córdoba, Argentina, Córdoba-Argentina (en línea). Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 18(2), 191-199. Consultado 4 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-04002016000200006&lng=es&tlng=en.
- Carbonel, D; Luciano, T. 2023. Composting of kitchen waste and pet feces: quality and effect on vegetable germination and growth, Ecuador (en línea). Revista Enfoque UTE, 14(3), 1-9. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.958>
- Castro, P; Pacheco L; Díaz, L. 2023. Capacidad hospedante de tres especies de solanáceas de la sección Lasiocarpa al nematodo agallador de la raíz Meloidogyne incógnita, Ecuador (en línea). Revista de Ciencias de la Vida, 37(1):34-43. Consultado el 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.03>
- Correa, J; Rodríguez, M; Sáenz, A. 2014. Susceptibility of Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae; Linnaeus 1758) to Beauveria bassiana Bb9205, Metarhizium anisopliae Ma9236 and Heterorhabditis bacteriophora HNI0100 Susceptibilidad de Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae; Linnaeus 1758) a Beauveria bassiana Bb9205, Metarhizium anisopliae Ma9236 e Heterorhabditis bacteriophora HNI0100, Bogotá-Colombia (en línea). Revista Universitas Scientiarum, 19(3):277-285. Consultado el 3 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC19-2.spxl>
- Cruz, D; Leos, J. 2019. La producción de maíz en Sinaloa, México, y sus implicaciones para el medio ambiente. Letras Verdes, Sinaloa-México (en línea). Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales (25):100-118.

Consultado 5 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.25.2019.3705>

- De Oliveira, A; Roque, C; Zart, M; Guide, B; Alves, S. 2018. Assessment of entomopathogenic nematodes in *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory and greenhouse conditions, Bogotá-Colombia (en línea). *Revista Colombiana de Entomología* 44(1):25-31. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6533>
- DE SABINO, P; ALCIDE, V; LIMA, L; FILGUEIRAS, C. 2017. Effects of insecticides on CO 2 release by entomopathogenic nematodes (*Nematoda: Rhabditida*) and development of their mutualistic bacteria, Colombia (en línea). *Revista Colombiana de Entomología*, 43(1):38-40. Consultado 4 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882017000100038&lng=en&tlng=en.
- Del Valle, E; Doucet, M. 2014. Effects of *Galleria mellonella* cadavers infected with *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema rarum*, their macerates and dead infective juveniles on *Meloidogyne javanica* suppression, Mendoza-Argentina (en línea). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1) Consultado 9 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652014000100015&lng=es&tlng=en.
- Eliceche, D; Belaich, M; Ghiringhelli, P; Achinelly, M. 2017. *Heterorhabditis bacteriophora pampean-strain* VElI (Nematoda): identification and pathogenicity against the strawberry pest *Lobiopa insularis* (Coleoptera: Nitidulidae), Colombia (en línea). *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2), 223-232. Consultado 2 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i2.5947>
- Guerra, E; Acero, J. 2021. Principales microorganismos entomopatógenos de *Tecia solanivora* y sus mecanismos de acción, Bogotá-Colombia (en línea). *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 137-146. Consultado 1 jul. 2024. Disponible en <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i2.4981>
- Guide, B; Soares, E; Itimura, C; Alves, V. 2016. Entomopathogenic nematodes in the control of cassava root mealybug *Dysmicoccus* sp. (*Hemiptera: Pseudococcidae*), Bogotá-Colombia (en línea). *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1):16-21. Consultado 6 jul. 2024. Disponible en

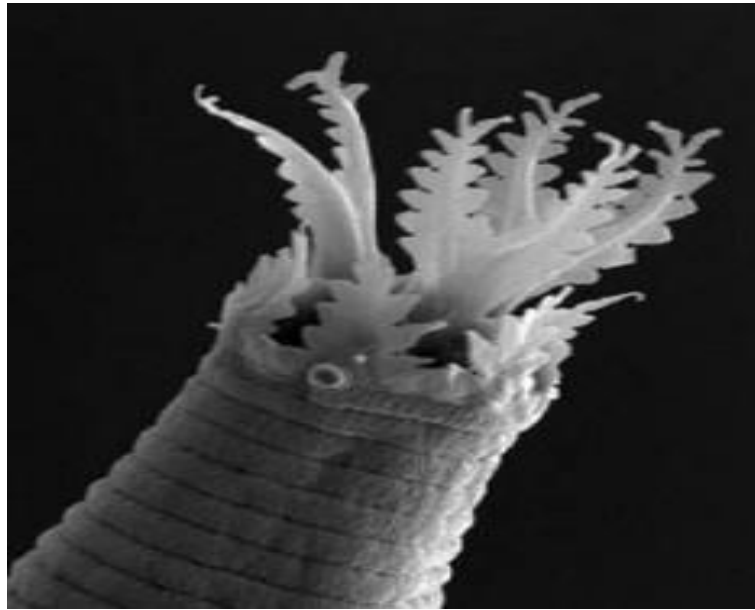
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882016000100004&lng=en&tlng=en.

- López, R; Soto, A. 2016. AISLAMIENTO DE NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS NATIVOS EN CULTIVOS DE CAÑA PANELERA Y PRUEBAS DE PATOGENICIDAD SOBRE *Diatraea saccharalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE), Manizales-Colombia (en línea). Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 20(2):114-123. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.2.8>
- Pacheco, M; ReséndiZ, J; Arriola, V. 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México, México (en línea). una revisión. Revista mexicana de ciencias forestales, 10(56):4-32. Consultado 7 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Parada, O; Alatorre, R; Guzmán, A; Hernández, F; Rojas, L; Ruíz, L. 2019. Efecto de nematodos entomopatógenos en ninfas de *Aeneolamia albofasciat* y su persistencia en suelos cañeros de Veracruz, Texcoco-México (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(22):115-127. Consultado 1 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1863>
- Peschiutta, M; Cagnolo, S; Almirón, W. 2014. Susceptibilidad de larvas de *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Diptera: Culicidae) al nematodo entomopatógeno *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) (Rhabditida: Heterorhabditidae), La Plata-Argentina (en línea). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 73(3-4):99-108. Consultado 2 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802014000200002&lng=es&tlng=es.
- Peteira, B; Rodríguez, M; Rosales, C; Maselli, A; Casado, R; Castro, L; Salazar, E; Enrique, R; Miranda, Il. 2014. Variabilidad molecular de aislamientos venezolanos de nematodos entomopatógenos y sus bacterias simbiotes, La Habana-Cuba (en línea). Revista de Protección Vegetal, 29(2):112-121. Consultado 6 jul. 2024. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000200006&lng=es&tlng=es.

- Restrepo, A; Arias, P; Soto, A. 2019. Efecto de diferentes fuentes de miel en la cría de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) para la multiplicación de nematodos entomopatógenos, Manizales-Colombia (en línea). Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 23(1):73-81. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.4>
- Rodoni, L; Massolo, J; Vicente, A. 2017. Evaluación de diferentes tratamientos físicos en pimiento *Capsicum annuum* L. verde y rojo mínimamente procesado, La Plata-Argentina (en línea). Revista UTE, 8(2), 33-43. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.154>
- Samie, A; Saeedizadeh, A. 2023. Efficacy of three local isolates of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), Argentina (en línea). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 82(1):24-30. Consultado 2 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802023000100024&lng=es&tlng=en.
- Sánchez, J; Valle, J; Pérez, E; Neira, M; Calderón, C. 2019. Control biológico de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de *Zea mays*: Uso de nematodos entomopatógenos, Trujillo-Perú (en línea). Revista Scientia Agropecuaria, 10(4), 551-557. Consultado 1 jul. 2024. Disponible en <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.12>
- Tomalá, H; Lazo, R; Espinosa, C. 2023. Eficiencia del agua en tomate cultivado en sustrato inerte, Santa Elena Ecuador (en línea). Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU), 10(2), 23-34. Consultado 6 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.753>
- Vidaurre, D; Rodríguez, A; Uribe, L. 2020. Factores edáficos y nemátodos entomopatógenos en un agroecosistema neotropical de banano, Costa Rica (en línea). Revista de Biología Tropical, 68(1):276-288. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37680>
- Zea, P; Laude, L; Larriva, W; Chica, E. 2020. Desarrollo y rendimiento de calabacín y lechuga cultivados sobre acolchados vivos en Cuenca, Ecuador, Cuenca-Ecuador (en línea). Revista Siembra 7(1)43-49. Consultado 8 jul. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1811>

Zuluaga, P; Caicedo, A; Cardozo, N; Muñoz, J; Carabalí, A. 2015. Entomopatógenos asociados a cítricos y su patogenicidad sobre *Compsus viridivittatus* Guérin-Méneville (Coleoptera: Curculionidae), Palmira-Colombia (en línea). Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 16(2):279-292. Consultado 6 jul. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062015000200011&lng=en&tlng=es.

4.2. Anexos.



Anexo 1. Nematodo entomopatógeno Género *Steinernema*

Fuente: Michigan *University* (2020).



Anexo 2. Nematodo entomopatógeno Género *Heterorhabditis*

Fuente: Michigan *University* (2020).