

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA

Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera

AUTORES

Jean Paúl Vélez Chávez

Bryan Salvador Álvarez Zúñiga

Director

Luis Eduardo Cagua Montaña MSc

Milagro 2024

Derecho del autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Nosotros, **Jean Paúl Vélez Chávez** y **Bryan Salvador Álvarez Zúñiga** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedemos los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de nuestro Grado de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria**, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 05 de abril del 2024



Firmado electrónicamente por:
JEAN PAUL VELEZ
CHAVEZ

Jean Paúl Vélez Chávez

C.I.: 1207546134



Firmado electrónicamente por:
BRYAN SALVADOR
ALVAREZ ZUNIGA

Bryan Salvador Álvarez Zúñiga

C.I.: 0919620021

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Luis Eduardo Cagua Montaña** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Jean Paúl Vélez Chávez** y **Bryan salvador Álvarez Zúñiga**, cuyo tema es **Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera**, que aporta a la Línea de Investigación **Impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria** previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 05 de febrero del 2024



Firmado electrónicamente por:
**LUIS EDUARDO CAGUA
MONTAÑO**

Luis Eduardo Cagua Montaña

C.I.: 0924773559

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. VELEZ CHAVEZ JEAN PAUL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTIVIDAD DE PAECILOMYCES LILACINUS COMO UN BIOCONTROLADOR DE NEMÁTODOS EN LA INDUSTRIA BANANERA", las siguientes calificaciones:

| | |
|--------------------|------------------|
| TRABAJO ESCRITO | 58.00 |
| SUSTENTACIÓN | 33.98 |
| PROMEDIO | 91.98 |
| EQUIVALENTE | Muy Bueno |



Identificación por QR
JOSE HUMBERTO VERA
RODRIGUEZ

Mgs VERA RODRIGUEZ JOSE HUMBERTO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Identificación por QR
DENNY WILLIAM
MORENO CASTRO

Mgs MORENO CASTRO DENNY WILLIAM
VOCAL



Identificación por QR
DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. ALVAREZ ZUÑIGA BRYAN SALVADOR**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTIVIDAD DE PAECILOMYCES LILACINUS COMO UN BIOCONTROLADOR DE NEMÁTODOS EN LA INDUSTRIA BANANERA", las siguientes calificaciones:

| | |
|-----------------|-----------|
| TRABAJO ESCRITO | 58.00 |
| SUSTENTACIÓN | 34.33 |
| PROMEDIO | 92.33 |
| EQUIVALENTE | Muy Bueno |



Presentado al tribunal calificador por:
JOSE HUMBERTO VERA
RODRIGUEZ

Mgs VERA RODRIGUEZ JOSE HUMBERTO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Presentado al tribunal calificador por:
DENNY WILLIAM
MORENO CASTRO

Mgs MORENO CASTRO DENNY WILLIAM
VOCAL



Presentado al tribunal calificador por:
DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

Dedicatoria

A Dios por haberme dado las fuerzas necesarias para poder enfrentar los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi carrera de Posgrado.

A mis padres Melba Chávez y Edyson Vélez por apoyarme en todo momento, por confiar en mí y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino del éxito.

A mis hermanos Carlos, Geraldine y Ayrton, mis sobrinas Karly y Elany, mis cuñados Ana Medina y Daniel Clavijo por brindarme su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y no tan buenos momentos.

A mi esposa Adela Veloz Paredes, quien me brindó su amor, respeto y colaboración en el desarrollo de mi tesis de Posgrado, enseñándome que todo se puede si de verdad se quiere.

Vélez Chávez Jean Paúl

Agradecimiento

Expreso mi gratitud a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A todas las autoridades y personal que forman parte de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A mi director de Tesis Ing. Luis Eduardo Cagua, Msc., por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias en la dirección de este trabajo de investigación; y por brindarme en todo momento su amistad y su apoyo incondicional.

Mi profundo agradecimiento a mi familia, mis amigos y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

Vélez Chávez Jean Paúl

Resumen

El presente trabajo de informe de investigación “Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera” fue realizado en la hacienda bananera “KAREN LYNN”, en el cantón vía la Troncal, Provincia del Cañar. Los objetivos del ensayo fueron: estudiar la eficacia del hongo nematófago *Paecilomyces lilacinus* como agente biocontrolador de fitonemátodos y que aporte al cultivo de banano un mayor índice fitosanitario, mejorando la economía del sector bananero. Determinar la eficiencia de *Paecilomyces lilacinus* para el manejo poblacional del nemátodo barrenador *Radopholus similis* en el cultivo de banano; estudiar el efecto de *Paecilomyces lilacinus* sobre el nemátodo espiral *Helicotylenchus multicinctus* y su índice reproductivo; y analizar el efecto de *P. lilacinus* sobre la sanidad del sistema radical del cultivo de banano. El diseño estadístico utilizado fue de Bloques Completamente al Azar (DBCA); la investigación consta con cuatro tratamientos y tres repeticiones, se utilizó el ANAVA. También se aplicó la prueba de Tukey al 5% de significancia. Se utilizaron cuatro tratamientos que fueron T1, T2 T3, T4 y tres repeticiones con diferentes dosis que fueron 100g, 200g, 300g del hongo antagonista *P. lilacinus* y el testigo sin aplicar. Las variables que se evaluaron fueron: Poblaciones del nemátodo *Radopholus similis*, poblaciones del nemátodo *Helicotylenchus multicinctus*, raíces sanas, raíces dañadas por otras causas, raíces totales. Con respecto a los resultados no hubo significancia estadística, pero si hubo variación en las fechas de evaluaciones de variables, poblaciones de nemátodos de *R. Similis*, raíces dañadas por nemátodos, raíces totales. En este estudio de investigación, el nemátodo *R. Similis* no se vio afectado por el microorganismo *Paecilomyces lilacinus*, pero sí sobresalió el tratamiento T1 de la dosis comercial que es 100g/ha para controlar el nemátodo *Helicotylenchus*. Se recomienda realizar estudio sobre el manejo de estos nemátodos en la plantación del cultivo de banano para bajar los índices de daños que afecta a la producción y a la economía; también se recomienda realizar dos veces al año un análisis de nemátodos para reducir su población y explotar los beneficios que nos ofrecen los microorganismos, ya que ellos aportan nutrición y protección al suelo y raíces del cultivo.

Palabras claves: Banano, Nemátodos, Raices, *Paecilomyces lilacinus*, *Radopholus Similis* y *helicotylenchus multicinctus*.

Abstract

The present research report "Effectiveness of *Paecilomyces lilacinus* as a biocontroller of nematodes in the banana industry" was conducted at the "KAREN LYNN" banana plantation in La Troncal, of Cañar Province. The objectives were: to study the efficacy of the nematophagous fungus *Paecilomyces lilacinus* as a biocontrol agent of plant-parasitic nematodes and to contribute to the banana crop with a higher phytosanitary index, improving the economy of the banana industry. Determine the efficiency of *Paecilomyces lilacinus* for the population management of the burrowing nematode *Radopholus similis* in banana crops; Study the effect of *Paecilomyces lilacinus* on the spiral nematode *Helicotylenchus multicinctus* and its reproductive index; Analyze the effect of *P. lilacinus* on the health of the banana crop root system. The design used was a Completely Randomized Block Design (CRBD), with four treatments and three replications, and ANDEVA was also used. The Tukey test was applied at a 5% significance level. Four treatments were used: T1, T2, T3, T4, and three replications with different doses of 100g, 200g, 300g, and a control without application. The evaluated variables were: populations of the nematode *Radopholus similis*, populations of the nematode *Helicotylenchus multicinctus*, healthy roots, roots damaged by other causes, and total root quantification. Regarding the results, there was no statistical significance, but there was variation in the evaluation dates of variables, populations of *R. Similis* nematodes, roots damaged by nematodes, total root quantification. In this research study, the nematode *R. similis* was not affected by the microorganism *Paecilomyces lilacinus*, but the T1 treatment of the commercial dose, which is 100g/ha, stood out for controlling the nematode *Helicotylenchus*. It is recommended to study the management of these nematodes in banana crops to reduce damage rates that affect production and the economy. It is also recommended to perform nematode analysis twice a year to reduce their population and exploit the benefits offered by microorganisms, as they provide soil nutrition and protection for roots.

Keywords: Banana, Nematodes, Roots, *Paecilomyces lilacinus*, *Radopholus similis*, *Helicotylenchus multicinctus*.

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Taxonomía del cultivo de banano..... | 10 |
| Tabla 2 Clasificación taxonómica de Hongo <i>P. lilacinus</i> | 24 |
| Tabla 3 Clasificación taxonómica del Nemátodo <i>Radopholus similis</i> | 26 |
| Tabla 4 Clasificación taxonómica del nemátodo <i>Meloidogyne</i> | 29 |
| Tabla 5 Clasificación taxonómica de la especie <i>Helicotylenchus</i> | 30 |
| Tabla 6 Clasificación taxonómica de la especie <i>Pratylenchus</i> | 33 |
| Tabla 7 Tratamiento de estudio..... | 37 |
| Tabla 8 Andeva del experimento..... | 38 |
| Tabla 9 Poblaciones del nemátodo <i>R. similis</i> de los cuatros tratamientos estudiados | 40 |
| Tabla 10 Poblaciones de <i>H. multicinctus</i> en los cuatros tratamientos estudiados..... | 40 |
| Tabla 11 Correlación de Pearson de los cuatros tratamientos estudiados..... | 41 |
| Tabla 12 Pesos de raíces sanas (g) de los tratamientos estudiados | 42 |
| Tabla 13 Raíces dañadas por nemátodos de los tratamientos | 43 |
| Tabla 14 Raíces dañadas por otras causas de los cuatros tratamientos de estudios | 44 |
| Tabla 15 Pesos de raíces totales de los cuatros tratamientos estudiados..... | 45 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Poblaciones de <i>Radopholus similis</i> en los cuatros tratamientos estudiados..... | 39 |
| Figura 2 Pesos de raíces sanas (g) | 42 |
| Figura 3 Raíces dañadas por nemátodo de los 4 tratamientos estudiados | 43 |
| Figura 4 Pesos de raíces totales (g) de los cuatros tratamientos estudiados | 44 |

Índice / Sumario

| | |
|---|-----|
| Derecho del autor | ii |
| Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación..... | iii |
| Certificado de la defensa..... | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Resumen..... | vii |
| Introducción..... | 1 |
| CAPITULO I: El problema de la investigación..... | 4 |
| 1.1 Planteamiento del Problema..... | 4 |
| 1.2 Delimitación del problema | 4 |
| 1.3 Formulación del problema | 4 |
| 1.4 Preguntas de investigación | 5 |
| 1.5 Determinación del tema..... | 5 |
| 1.6 Objetivo General | 5 |
| 1.7 Objetivos Específicos | 5 |
| 1.8 Hipótesis | 5 |
| 1.9 Declaración de las variables..... | 6 |
| 1.10 Justificación..... | 6 |
| 1.11 Alcance y limitaciones | 6 |
| CAPÍTULO II: Marco teórico referencial..... | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes | 8 |
| 2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación..... | 8 |
| Origen del cultivo de banano | 8 |
| Taxonomía del banano..... | 9 |
| Descripción Botánica..... | 10 |
| Factores Ambientales del cultivo de banano | 12 |
| CAPITULO III: Diseño metodológico | 35 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación..... | 35 |
| 3.2 La población y la muestra..... | 35 |
| 3.2.1 Características de la población..... | 35 |
| 3.2.2 Delimitación de la población | 35 |
| 3.2.3 Tipo de muestra | 35 |
| 3.2.4 Tamaño de la muestra | 35 |
| 3.2.5 Proceso de selección de la muestra | 35 |
| 3.3 Los métodos y las técnicas | 35 |
| 3.3.1.1 Fase 1 (Día 1)..... | 36 |
| 3.3.1.2 Fase 2 (1 a 30 Días) | 36 |
| 3.3.1.3 Fase 3 (60 Días) | 36 |
| 3.3.2.1 Raíces sanas..... | 36 |
| 3.3.2.2 Raíces dañadas por otras causas..... | 36 |
| 3.3.2.3 Raíces dañadas por nemátodos | 36 |
| 3.3.2.4 Raíces totales..... | 36 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.3.2.5 | Poblaciones nemátodos..... | 37 |
| 3.4 | Procesamiento estadístico de la información..... | 38 |
| CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados | | 39 |
| 4.1 | Análisis de los resultados | 39 |
| 4.2 | Interpretación de los resultados..... | 45 |
| CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones..... | | 49 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 49 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 49 |
| Bibliografía | | 50 |
| Anexos | | 60 |

Introducción

Ecuador es el mayor exportador de banano a nivel general, siendo esta fruta uno de los cultivos de mayor importancia y deseado por algunos países, principalmente europeos. Es considerado como un negocio en crecimiento por su aprobación a nivel mundial, teniendo una representación en el PIB agrícola nacional de aproximadamente el 35%, debido a condiciones climáticas favorables y al incremento en la productividad del cultivo en diferentes zonas como Los Ríos, Guayas y el Oro, en el año 2018 la producción de la fruta a nivel nacional alcanzó las 6.40 millones de toneladas, destinando 7.1 millones de estas al mercado internacional, este cultivo de banano aparte de generar ingreso al estado, también nos brinda fuente de trabajo, para la familia Ecuatoriana (Mata et al., 2021).

El cultivo de banano siempre es afectado por diversos depredadores que se encuentran en el suelo y raíces como son los nemátodos que causan diferentes problemas fitosanitarios de los cultivos a nivel mundial, produciendo daño a la planta como son la pudrición de raíces y cormos, volcamiento a la planta lo cual no tiene mayor sostenibilidad cuando el racimo esta grande también reduce la producción y a la economía de los productores bananeros; no obstante, se toma la decisión o recomendación del uso de nematicidas lo cual perjudica a la salud humana y el uso de excesivo de este producto que afecta a la plantación (Lara et al., 2016).

Los nemátodos son organismos en forma de gusano, redondos, largos y no segmentados que habitan en ecosistemas terrestres y acuáticos; algunos de estos, son considerados fitopatógenos, junto con hongos, virus y bacterias. Los nemátodos presentan una estructura en forma de aguja denominada estilete que rompe el tejido celular de la planta. Los fitonemátodos en el cultivo de banano más destructores y distribuidores son los endoparásitos migratorios como *Radopholus Similis*, *helicotylenchus multicinctus* y *Pratylenchus Coffeae*, además tambien podemos encontrar especies de nemátodos endoparásitos sedentario como es *Meloidogyne* (González et al., 2021; Araya, 2014).

El nemátodo *Radopholus Similis* y *helicotylenchus multincinctus* o nemátodo espiral se localiza en regiones tropicales y subtropicales no solo en Ecuador si no en todo el mundo, esta plaga son una de las más patógenas, presenta un estilete en la cabeza lo cual penetra a la planta con formaciones de agujeros que produce pudrición a la raíz, el sistema radicular presenta fallos y así el transporte de nutrientes se reduce; por lo cual, la plantación se ve afectada en sus hojas, frutos y la defoliación (Vargas et al., 2015; Chávez, 2009).

El nemátodo *Meloidogyne*, nudo de la raíz o formador de agallas radiculares normalmente se localiza en su mayoría en plantaciones del cultivo de banano, este especie de problema fitosanitario es una infección a la planta y se puede observar por el marchitamiento y su color amarillamiento esto se debe a la mala absorción de nutrientes en el suelo y agua, por esto las raíces subre y por ende no va haber mayor crecimiento del tallo y racimos (Yigezu, 2021).

El hongo benéfico *P. lilacinus*, el cual es un enemigo natural de muchos género de nemátodos y es efectivo para control de los géneros *Helicotylenchus*, *Pratelynychus*, *Meloidogyne* y *Radopholus*, a través de la producción de enzimas líticas provocando deformaciones, reducción de la eclosión y pérdida de movimiento, también se puede observas vacuolizaciones internas de las larvas del primer estadio, segmentación y gastrulación atípicas, El hongo *P. lilacinus*. es capaz de penetrar el huevo, crecer dentro del mismo y destruir el embrión lo cual provoca deformaciones en el estilete de los nemátodos, ya que segregan toxinas que afectan su sistema nervioso (Prabhu et al., 2008).

El beneficios del hongo *P. lilacinus* nos permite la reducción en el uso de nematicidas quimicos, que afectan a la micro y macro flora benéfica del suelo, también podemos disminuir las lesiones en la raíz provocadas por nemátodos, lo cual mantiene las poblaciones de nemátodos perjudiciales por debajo del umbral económico y el mayor porcentaje de raíces vivas (Herrera, 2017; Fernández, 2016).

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal estudiar la eficacia del hongo nematófago *Paecilomyces lilacinus* como agente biocontrolador de fitonemátodos de importancia económica en el cultivo de banano.

CAPITULO I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del Problema

Los problemas que se presentan en el cultivo de banano, no solo en Ecuador si no en todo el mundo, y principalmente en países como Perú, Colombia, Brasil y Costa Rica, es que los nemátodos atacan las raíces, provocando serias dificultades en la producción. En la actualidad uno de los tantos problemas que se encuentran en el sector bananero es el ataque de los nemátodos fitoparásitos del género *Meloidogyne*, *helicotylenchus*, *Radopholus* y *Pratelynchus* que dañan las raíces provocando deformaciones y pérdida de movilidad, llevando a la muerte del cultivo. El uso excesivo de nematicidas provoca a la planta toxicidad y perjudica a la salud humana, por eso las raíces no pueden absorber con mayor rapidez los nutrientes y agua por lo tanto la planta no se desarrolla y no alcanza la producción deseada.

El uso excesivo de este agroquímico aparte de afectar al medio ambiente también daña al suelo y los microorganismos que se encuentran en la tierra, estos hongos benéficos también son muy importante para la naturaleza y para los cultivos.

1.2 Delimitación del problema

Uno de los problemas que causan daño a la plantación de banano son los nemátodos; existen muchas especies de este parasito que provocan daños económicos, también existen pocos laboratorios de análisis de nemátodos que ofrecen estos servicios, debido al costo, y desconocimiento del agricultor de las herramientas biotecnológicas.

1.3 Formulación del problema

El hongo *P. lilacinus* es un excelente biocontrolador de nemátodos, ayuda en la absorción de nutrientes por medio del sistema radicular de la planta, además tiene activad controladora de los nemátodos que se encuentra en las raíces como en el suelo, provocando deformación en la estructura del parasito hasta llevarlo a la muerte, por eso se recomienda al productor que se realice uno o dos veces al año un análisis de fitopatógeno.

1.4 Preguntas de investigación

¿Como controlar estos nemátodos que se encuentran en el suelo y raíces?

La manera de bajar la población de nemátodos, es el uso de microorganismo benéfico que nos aportan una mayor absorción de agua y nutrientes con el fin de controlar el índice de mortalidad de las raíces que se encuentra atacadas por estos parásitos y mejorando la calidad del suelo.

1.5 Determinación del tema

Teniendo en cuenta el impacto del uso excesivo de químicos comerciales, se ha dado la pauta de un método investigativo, que se desarrolló en la hacienda bananera “KAREN LYNN”, En el cantón vía la Troncal, Provincia del Cañar, con el objetivo estudiar la efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera.

1.6 Objetivo General

Estudiar la eficacia del hongo nematófago *Paecilomyces lilacinus* como agente biocontrolador de fitonemátodos y que aporte al cultivo de banano un mayor índice fitosanitario mejorando la economía del sector bananero.

1.7 Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia de *Paecilomyces lilacinus* para el manejo poblacional del nemátodo barrenador *Radopholus similis* en el cultivo de banano.
- Estudiar el efecto de *Paecilomyces lilacinus* sobre el nemátodo espiral *Helicotylenchus multicinctus* y su índice reproductivo.
- Analizar efecto de *P. lilacinus* sobre la sanidad del sistema radical del cultivo de banano.

1.8 Hipótesis

La aplicación de microorganismos del hongo *P. lilacinus*, permite la reducción de uso excesivo de nematicidas químicos que afecta al suelo, también disminuye las cantidades de las raíces lesionadas por ataques de los nemátodos, con un 90% de efectividad del microorganismo

aproximadamente, y ayuda a una mayor absorción de nutrientes y mejora del suelo, ya que también se encuentran presentes agentes bacterianos benéficos.

1.9 Declaración de las variables

Las variables de este estudio son; Poblaciones de *Radopholus similis*, *Helicotylenchus multincinctus*, Raíces sanas, dañadas por otras causas, dañadas por nemátodos y raíces totales.

1.10 Justificación

El hongo benéfico *P. lilacinus*, es un enemigo natural de muchos géneros de nemátodos y es un excelente controlador de los géneros *Meloidogyne*, *Pratelnchus*, *Radopholus* y *helicotylenchus*, a través de la producción de enzimas líticas provocando deformaciones, reducción de la eclosión y pérdida de movimiento de estos parásitos. El hongo *P. lilacinus* provoca deformaciones en el estilete de los nemátodos, debido a su producción de toxinas que afectan al sistema nervioso central del fitopatógeno, estos permiten la reducción del uso de nematocidas químicos, que se usan normalmente en la plantación de banano que afectan a la micro y macro flora benéfica que se encuentra en el suelo. En este trabajo de investigación se determinará la eficiencia del producto a base del hongo *P. lilacinus* como controlador biológico (Prabhu et al., 2008).

En nuestro país existen programas de desarrollo como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, normada por la Agencia de Regulación y Control Fito Sanitario (Agrocalidad), esta oficina nos brinda el control del manejo de plagas y enfermedades, con respecto al daño que causan estos parásitos al cultivo de banano. Este biocontrolador minimizará el uso de agentes químicos e insecticidas que perjudican a la salud humana y al medioambiente.

1.11 Alcance y limitaciones

Alcance

El alcance del presente trabajo de investigación, fue estudiar la eficacia del hongo nematófago *Paecilomyces lilacinus* como agente biocontrolador de fitonemátodos de importancia económica en el cultivo de banano. Existen diferentes parásitos entre ellos *Radopholus Similis* y

helicotylenchus multicinctus que se encuentran en la raíces y suelo, por eso se aplicó un producto natural a base de microorganismos benéficos para reducir su población, se realizó un análisis nematológico de tal forma que se inició con la colecta de la muestra de raíces frente a la planta, considerando que la madre este recién parida de preferencia de una semana y luego se las llevó al laboratorio para ser analizadas; una vez obtenido los resultados se logró definir la formulación letal del hongo *P. lilacinus* frente a los parásitos descrito.

Limitaciones

Dentro de las limitaciones de este trabajo de investigación, se consideró los siguientes puntos:

- No contar con un laboratorio y herramientas tecnológicas que permitan el desarrollo normal del estudio de este ensayo.
- Fenómenos climáticos que no podemos predecir.
- La dosis letal o no letal adecuada para controlar los nemátodos.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1. Antecedentes

El hongo *Paecilomyces lilacinus* y el herbicida oxamil 24, se aplicó con una inyección en el pseudotallo del cultivo de banano con el propósito de gestionar la población de nemátodos. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 6 repeticiones el control biológico, no redujo la presencia de nemátodos pero el peso del racimo incrementó, Además las plantas inyectadas y evaluadas con los nematicidas sobre la superficie del suelo aumentaron el porcentaje de raíz (Vargas et al., 2015).

Se ha evaluado el efecto de los nematicidas biológicos para control de nemátodos en el cultivo de banano. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, bajo arreglo factorial $2 \times 2 + 2$ (A x B + 2), con cuatros tratamientos y tres repeticiones. Se empleó el uso de dos microorganismos *Paecilomyces lilacinus* y *Pseudomonas cepacia* bajo diferentes combinaciones, mostrando que *Radopholus similis* y *Pratylenchus sp* fue controlada por el hongo *Paecilomyces lilacinus* en esta investigación (Moreno et al., 2020).

2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

Origen del cultivo de banano

El cultivo del banano se originó en el sudeste asiático, con centros secundarios de diversidad en África occidental y central las tierras altas de África oriental. Pertenece al grupo de las Musáceas, tiene más de 1000 variedades, el cultivo de banano se extendió por todo el mundo a través de migraciones desde el Sudeste Asiático y Papúa Nueva Guinea, llegando hasta la Península del Indostán, las regiones del Pacífico y América, se puede decir que en el siglo XV, los comerciantes persas y árabes lo difundieron por diferentes partes de Asia, África y Europa (Martínez & Rey, 2021).

El cultivo del banano provino de la costa de Nueva Guinea en África occidental, específicamente de las lenguas sherbro o temne de la costa de Sierra Leona a principios del siglo XVI. La palabra "plátano" es más oscura, aparentemente descubierta por primera vez en español,

ambas fueron posteriormente asimilados a otras lenguas europeas, no hay duda que estas dos palabras se establecieron plenamente en el inglés de las Antillas a mediados del siglo XVII, inicialmente se utilizaba como fuente de fibra por ser baja en sodio y la fuente más rica de vitamina B6 y potasio listo para comer. Posteriormente fue elegido por su facilidad para comer crudo, cualidad que todavía hoy se utiliza como postre fácil de comer debido a su característica partenocarpia (Li et al., 2023).

La plantación de banano es una monocotiledónea que pertenece a la familia Musáceas, dentro del género *Musa*, este cultivo se originó a través de la hibridación de los genomas A y B en nuestro país, se cultiva la variedad del grupo AAA, cuyas raíces se desarrollan a partir de un eje que da origen a raíces primarias, de las cuales surgen las raíces secundarias ubicadas en las proximidades de la superficie del suelo (Nadal, 2009).

Taxonomía del banano

La clasificación del género *Musa* es una cuestión extremadamente compleja, la clasificación original de Linneo se basó en los escasos ejemplares a su disposición en Europa sin embargo, el centro de diversidad del germoplasma de *Musa* en el sudeste asiático exhibía diversas especies que no se ajustaban plenamente a las descripciones proporcionadas por el botánico sueco en varios aspectos, no obstante, algunas de los géneros de la especie *Musa* se introdujo en algunas regiones en cuestión de tiempo. Chabannes identificó a los tipos linneanos como híbridos producidos por el cruzamiento de dos especies, *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, a partir de estas especies, se clasificó cuatro secciones y esta a su vez en múltiples variedades, según su variedad genética (Chabannes et al., 2021).

Según su clasificación Taxonómica en cultivo de banano se describe a continuación:

Tabla 1

Taxonomía del cultivo de banano.

| | |
|---------------------------|------------------|
| Reino: | Plantae |
| División: | Magnoliophyta |
| Orden: | Zingiberales |
| Familia: | Musaceae |
| Género: | Musa |
| Especie | M. paradisiaca |
| Nombre científico: | Musa paradisiaca |

Nota. Chabannes et al. (2021, pag. 13).

Descripción Botánica

Planta

Es una herbácea perenne grande, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares cónico y termina en una corona de hojas, posee gran actividad celular y es altamente exigente de nutrimentos, luminosidad, calor, humedad y suelos (Lumowa et al., 2022; Daniells & Janssens, 2020).

Sistema Radical

Las raíces tienen una superficie distribuida en una capa de 35-45 cm, la mayoría se concentran a una profundidad de 20-30 cm, las raíces son blancas, tiernas cuando aparecen y amarillentas luego duras su diámetro varía de 6 a 9 cm y su longitud puede alcanzar los 2.3 metros en crecimiento lateral y hasta 1.8 metros en profundidad, la penetración de las raíces es pobre, por lo que la extensión de las raíces está relacionada con la textura y estructura del suelo (Rahadiantoro & Hapsari, 2022).

Tallo

El tallo real de la planta es un rizoma subterráneo grande y almidonado rematado con cogollos. Estos cogollos se desarrollan después de que la planta ha florecido y producido frutos. A medida que cada estolón de rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia a medida que la extensión del tallo la empuja hacia arriba desde el interior del suelo hasta que emerge por encima del pseudotallo (Basak et al., 2015).

Hoja

Surgen en el punto de crecimiento central o meristemo terminal, que se ubica en la parte superior del rizoma. En primer lugar se observa la formación del pecíolo y nervadura central, que finaliza en el filamento, que luego será la vaina. La parte del borde izquierdo comienza a cubrir el derecho, crece hacia arriba y forma las medias ramas, la hoja se forma dentro del pseudotallo y emerge enrollada en forma de cigarro. Las hojas son grandes, de color verde y dispuestas en espiral, de 2-3 metros de largo de largo y hasta 1,5 metros de ancho, con un pecíolo de 1 o más de largo y un limbo elíptico alargado, ligeramente inclinado hacia el pecíolo, algo ondulado y glabro (Madail et al., 2022).

Pseudotallo

Consiste en vainas foliares envolventes dispuestas en espiral y firmemente unidas entre sí a pesar de su peso, el sistema foliar y el racimo. La estructura del pseudotallo permite mantener la planta ligeramente inclinada (Fonseca et al., 2022).

Inflorescencia

La punta en crecimiento se convierte en un capullo floral, del que comienza la inflorescencia. Emergiendo por el centro del pseudotallo, puede medir entre 6 y 8 cm de diámetro y es de color blanco. A medida que el raquis exterior de la hoja se despliega, adquiere un tono verde. Tiene flores hermafroditas y femeninas, en algunos clones se caen las flores masculinas. Cuando el tallo floral está totalmente formado se pueden distinguir las siguientes zonas: una zona

entre el rizoma en su parte más ancha y la base de la primera bráctea vacía, una parte que se extiende desde la primera bráctea con un glomérulo de flores femeninas y pistiladas y una tercera zona, que comienza en la bráctea de la primera mano de flores pistiladas y termina en la punta de la quira floral (Inta et al., 2023).

Fruto

Se forma a partir de los ovarios de flores pistiladas, que tienen un fuerte aumento de volumen. La parte comestible es resultado del engrosamiento de las paredes del ovario y se transforma en una masa parenquimatosa cargada de azúcar y almidón (Ernawati et al., 2021).

Factores Ambientales del cultivo de banano

Temperatura

La temperatura óptima del plátano está entre 21°C y 29°C. En zonas con temperaturas inferiores a 22 °C se produce un retraso en el desarrollo fisiológico de la planta y en la aparición del brote o brote (Saúco & Robinson, 2013).

Agua

Entre el 80% y el 89% del peso de una planta de banano es agua y requiere un aporte adecuado durante todo el año, aportando de 110 a 190 mm de agua al mes. La cantidad óptima de precipitaciones está entre 1000 y 2500 milímetros, pero con una buena distribución a lo largo del año, en ausencia de dicha distribución es necesario proporcionar riego durante los meses secos (Toro et al., 2016).

Luz

Las plantas y racimos crecerán bien si la iluminación es alta, varios investigadores han observado que a menor intensidad lumínica el ciclo vegetativo de la planta se alarga, normalmente observamos que las plantas de plátano cultivadas a la sombra tienen un menor desarrollo. en comparación con los cultivados a plena exposición solar (García et al., 2020).

2.2.5 Generalidades del Cultivo de banano

Los plátanos se encuentran en el sudeste asiático y se cultivan ampliamente en climas tropicales donde se les conoce como plátanos. Esta fruta pertenece al género Musa y es valorada en todo el mundo por su valor nutricional. Las plantas de plátano son famosas por su rápido crecimiento, alto consumo de agua, amplia distribución de raíces y necesidad de suelo suelto y profundo para un desarrollo óptimo, pertenece a la familia de las Musáceas y se cultiva principalmente por su fruto, las plantas de banano suelen ser altas y fuertes, para algunas especies, la altura puede alcanzar 4 metros, cada tubérculo o tallo falso puede producir racimos de plantas y las inflorescencias tienen forma de racimos colgantes (Saúco & Robinson, 2013).

La producción total de bananos en el mundo es de 173.312,492 toneladas, siendo India el mayor productor de banano con 25,124,000 toneladas por año, China ocupa el segundo lugar con 14.314,337 toneladas de producción anual, seguido de Indonesia con 7.507,125 toneladas, Brasil con 6.964,324 toneladas y Ecuador que produce 6,529,676 toneladas al año (Anchundia, 2021).

El banano se cultiva en regiones tropicales y subtropicales y se destaca como la fruta más demandada a nivel mundial por su alto contenido en fibra y potasio, combinado con un bajo contenido en sodio, lo que lo convierte en un alimento saludable y apto para el consumo humano. Los mercados locales hasta las transacciones internacionales y las plantaciones de banano son las más extensas en términos de superficie de tierra cultivada. India, Ecuador, Brasil y Colombia son los principales países productores de esta versátil y nutritiva fruta; Las exportaciones interanuales en todo el mundo rondan los 76 millones de toneladas, lo que también contribuye a la creación de empleo (Borja, 2016).

En el Ecuador tenemos provincias cultivadoras de banano las principales son El Oro, Guayas y Los Ríos, con todas ellas tenemos un total del 91 % de grupos productores en el país, esta actividad es importante para la economía de Ecuador porque de enero a diciembre del año 2008 generó 1500 millones de dólares en exportación (Anchundia, 2021).

2.2.6 Problemas fitosanitarios del cultivo de banano

En el cultivo de banano pueden surgir diversos problemas debido a plagas y enfermedades que pueden infectar y dañar las raíces del paisaje en flor. La causa pueden ser bacterias, virus, hongos y nemátodos fitoparásitos. Estos problemas no sólo conducen a una reducción de la producción, sino que también minimizan la producción final y esto puede provocar la pérdida final de la cosecha y también costes económicos (Nyang'au et al., 2022).

Los plátanos son susceptibles a enfermedades fúngicas, bacterianas y virales, así como a ataques de insectos y nemátodos. Después de la sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis*, enfermedad considerada como el mayor problema fitosanitario que afecta al banano a nivel mundial, los nemátodos son fitoparásitos, entre ellos podemos estudiar *Radopholus*, *Meloidogyne* y *Pratylenchus* son considerado el segundo problema que enfrenta el banano, en tercer lugar, se encuentra la bacteria *Ralstonia solanacearum*, la causante. agente de la marchitez bacteriana, y en cuarto lugar el hongo *Fusarium oxysporum cubense*, agente causante del mal de Panamá (Crespo et al., 2023; Londoño et al., 2023).

2.2.7 Importancia del cultivo de banano a nivel mundial

Según el Foro Mundial del Banano (FMB), el cultivo de banano es la fruta fresca más exportada a nivel mundial, siendo tanto una valiosa fuente de ingresos como un generador importante de empleo para diversas familias, tanto por su volumen de producción como por su significativo valor económico, en el mundo existe países productoras de este cultivo incluyendo la india, Ecuador, Brasil, China, Colombia y Costa Rica, ellos poseen en 81% de la producción global con un valor de 13 billones de dolares para el año 2018, lo que tuvo un crecimiento del 8.5% en relaciones con los años anteriores (García et al., 2021).

En los momentos actuales, el banano (*Musa AAA*) es el rubro más importante en alimentario mundial, pues en términos de importancia es superado solo por el arroz, maíz y el trigo, en el ámbito comercial el banano es la fruta que más se exporta en términos de volumen y la segunda en términos de valor comercial, siendo superada solamente por algunos cítricos, en

Ecuador se registra en la actualidad una superficie aproximada de 250.610 hectáreas (MAGAP, 2016), con una producción aproximada de 259,338.649 cajas de 18,14 kilogramos de peso en el 2015, junto con Brasil que se consideran los mayores productores de banano en Latinoamérica (Saúco & Robinson, 2013).

2.2.8 Importancia del cultivo de banano a nivel nacional

El cultivo de banano es de suma importancia para el sector agrícola de nuestro país. Según estadísticas de Acorbanec, las exportaciones totales de Ecuador aumentaron un 8,9% en los primeros cuatro meses de 2020 a 150,13 millones de cajas, generando ingresos por \$1.855,0 millones. En 2019 se replantaron 4.000 hectáreas de banano en Ecuador y alrededor de 4.000 hectáreas adicionales. Estas nuevas plantaciones comenzaron a producir entre noviembre y diciembre, resultando en un aumento significativo de la producción exportable para el año 2020, destacándose el crecimiento de las exportaciones de banano en la Unión Europea en un 17,26%; Medio Oriente con un 25,7% y Europa del Este con un aumento del 16,04% (Borja, 2016).

2.2.9 Los nemátodos en los cultivos

El daño directo causado por los nemátodos durante la alimentación es muy pequeño, la mayor parte del daño parece ser causado por la secreción de saliva que se introduce en el tejido vegetal durante el proceso de alimentación, penetran en la pared celular, en el citoplasma, extraen parte del contenido celular y se movilizan en pocos segundos, en las últimas décadas se ha observado como el control químico, a pesar de tener una alta eficiencia económica y biológica, no ha demostrado ser sostenible debido a su gran impacto en el medio ambiente, por lo que mediante el concepto de MIP hay que hacer cosas urgentes parece existir la necesidad de reducir su participación en el control de plagas, dirigiendo la búsqueda principalmente hacia estrategias de bajo impacto ambiental, como el control cultural y biológico (Guzmán et al., 2023; Were et al., 2023).

El proceso de alimentación provoca una reacción en las células vegetales afectadas, provocando la muerte o debilitamiento de las puntas de raíces y brotes, la formación de lesiones,

daños tisulares, protuberancias, agallas, arrugamiento, deformación de tallos y hojas, algunas de estas manifestaciones son causados por la degradación del tejido afectado por enzimas, con o sin ayuda de metabolitos tóxicos de estos nemátodos, provocan la desintegración del tejido y la muerte celular (Chávez et al., 2022).

El control biológico se define como la acción de enemigos naturales, como artrópodos depredadores, insectos parasitoides y patógenos microbianos, que regulan sus poblaciones de huéspedes a niveles bajos, evitando que aumenten en ausencia de dichos enemigos. Categorías principales: control biológico natural y aplicado, el primero ocurre cuando los enemigos naturales nativos reducen las poblaciones de artrópodos nativos, mientras que el segundo implica la intervención humana para aumentar la actividad de estos enemigos (Torres et al., 2023; Viera et al., 2020).

2.2.10 Biología y ecología básica de los nemátodos

Los nemátodos suelen ser parecidos a gusanos largos y delgados, con cuatro etapas juveniles antes de la madurez y con grandes necesidades de agua para su locomoción y movimiento. Como todos los animales, los nemátodos son heterótrofos y algunas especies dependen de los autótrofos para su nutrición. Pero los efectos de los nemátodos de las plantas o poblaciones, la microflora y la microfauna dependen del tamaño de la población de nematodos; los nemátodos fitoparásitos pueden provocar la pérdida de cultivos (patogenicidad); Aunque, si son saprofitos o de vida libre, pueden estimular el ciclo de nutrientes en la planta, el acceso a una amplia gama de fuentes de nutrientes depende en gran medida de factores físicos del suelo, como el tamaño de los poros, la humedad y la temperatura (Bogale et al., 2020; Maggenti, 2020).

2.2.11 Diferentes grupos tróficos de nemátodos

Los parásitos se pueden dividir en los siguientes grupos tróficos como bacterívoros, fungívoros, omnívoros, depredadores y parásitos. En general, los nematodos se pueden encontrar en una de estas categorías examinando el tipo de boca o estoma y la forma del esófago según esta investigación. Otras características como el tamaño corporal y estilo de vida del

nemátodo, si está vivo, si se mueve rápido o lento, también sirve para caracterizarlos, los depredadores son activos y rápidos mientras que los parásitos de las plantas son casi siempre más inactivos, el análisis de la composición de la fauna de los nemátodos proporciona información sobre la sucesión y cambios en las vías de descomposición del suelo en los lugares donde se encuentran alimentos, estratos de nutrientes, fertilidad, acidez del suelo y el impacto del suelo contaminado (Yeates & Bongers, 1999).

Nemátodos endoparásitos

Se incluye en el grupo de los nemátodos que pasan parte o todo su ciclo de vida en el tejido vegetal, como fuente de alimento. Los endoparásitos se pueden clasificar según su actividad en migratorios y sedentarios (Ankrom et al., 2020).

Endoparásitos sedentarios

Se trata de organismos que se alimentan desde el interior de las raíces y allí completan su ciclo vital, incluida la fase de puesta de huevos. Un ejemplo representativo de esta categoría son los nemátodos agalladores como *Meloidogyne sp.*, *Heterodera sp.*, *Globodera sp.*, *Cactodera sp.*, *Punctodera sp.* Las hembras de estos géneros adoptan una forma esférica e inmóvil, mientras que los machos carecen de un sistema digestivo convencional y presentan células alteradas. Estos nemátodos provocan deformaciones en las raíces, formando agallas fácilmente reconocibles (Weischer & Brown, 2000).

Endoparásitos migratorios

Los nemátodos migratorios no se quedan en un solo lugar, migran alternativamente, también podemos encontrarlos en las raíces y el suelo, se alimentan del tejido vegetal, penetran en las raíces y las dejan terminar su ciclo de vida, provocando necrosis en el tejido vegetal (García et al., 2021).

Nemátodos Semiendoparásitos

Las hembras hinchadas se alimentan dejando parte de su cuerpo en las raíces mientras los machos y juveniles permanecen en el suelo, como: *Tylenchulus semipenetrans*, el nemátodo de los cítricos, *Rotylenchus reniformis*, *Sphaeronema sp* (Avhad, 2023).

Nemátodos ectoparásitos

Esta especie se alimentan del tejido de las raíces, pero no penetran, se encuentran mayoritariamente en el suelo, por lo que son los más expuestos a los nematicidas, en este grupo podemos encontrar: *Trichodorus sp.*, *Xiphinema sp.*, *Longidorus sp.*, *Tylenchorhynchus sp.*, *Merlinius sp* y *Paratylenchus sp* (Aguilar et al., 2022).

Nemátodos en el cultivo del banano

El cultivo de banano es el producto alimenticio más importante, los nemátodos fitoparásitos son una de las principales limitaciones de la producción de banano, provocando pérdidas de hasta el 55%, lo que aumenta la susceptibilidad a plagas y enfermedades, por lo tanto representan una amenaza para la seguridad alimentaria, alrededor de 30 millones nemátodos por m². Son los organismos multicelulares más abundantes que se encuentran en el agroecosistema, son organismos pertenecientes al reino animal que son capaces de adaptarse a diferentes ecosistemas para poder sobrevivir (Quénéhervé et al., 2006).

La industria bananera en Ecuador enfrenta desafíos continuos relacionados con la sobreproducción y los bajos precios, principalmente debido a importantes patógenos como la sigatoka negra y los nemátodos. Sobre la presencia de asociaciones de nemátodos poliespecíficos, que incluyen *R. similis*, *Helicotylenchus spp.*, *Pratylenchus spp.* y se ha informado que *Meloidogyne* pertenecen; Las pérdidas de producción debido a los daños causados por nemátodos varían significativamente, con estimaciones de hasta 5,35 kg por racimo en plantaciones comerciales en Ecuador, lo que representa una pérdida del 24% en el rendimiento total. *R. similis* es la especie predominante cuando la densidad poblacional supera los 10.000 individuos por 100 g de raíces, marcando el umbral crítico más allá del cual se observan impactos significativos (Özarlandan, 2020).

Existen muchas especies de nemátodos asociados al banano, el de mayor importancia económica es *R. Similis*, las heridas que provoca su actividad son mediante la penetración de microorganismos secundarios que provocan coloración rosada, oscurecimiento de los vasos

sanguíneos y pudrición, este nemátodo está presente en diversas zonas tropicales y subtropicales, el género *Helicotylenchus spp.* y las especies de *Rotylenchulus Reniformis* son importantes como parásitos de musáceas en muchas zonas productoras de plátano o banano, lo que puede provocar pérdidas económicas y reducción de la producción (Quénéhervé et al., 2006).

Los síntomas que causan daño severo a las raíces varían dependiendo de la naturaleza del nemátodo: *Meloidogyne*, *Pratylenchus coffeae* y *Paratylenchus sp.* Además, los daños causados por este patógeno muchas veces se confunden con situaciones de estrés abiótico y bloqueo de nutrientes, como amarilleamiento y pudrición de las hojas principalmente (Chávez & Araya, 2010).

Los nemátodos de las plantas causan importantes daños económicos a una amplia gama de cultivos y pueden reducir los rendimientos mediante la destrucción celular directa, la transmisión de virus o indirectamente al facilitar la invasión de hongos y bacterias a través de su alimentación y movimiento a lo largo de las raíces. Los parásitos pueden ser bacterívoros, fungívoros, omnívoros, carnívoros e insectos de plantas, no todos causan daños a la agricultura, algunos de estos animales juegan un papel importante en el control biológico de plagas (Monteiro et al., 2020).

Importancia de las enmiendas orgánicas y control biológico de nemátodos

Según, Holguín et al. (2023), actualmente la alternativa más utilizada es el control de nematodos fitopatógenos, la inclusión de enmiendas orgánicas debido a su bajo impacto económico para pequeños y grandes productores y fácil acceso a materiales, así como su potencial uso para el control de fitopatógenos, los aditivos orgánicos aumentan las poblaciones de microorganismos antagonistas, secretan y estimulan la producción de metabolitos tóxicos para condiciones infecciosas y cambian las propiedades fisicoquímicas del suelo de tal manera que hacen que el ambiente sea favorable para el proceso de los cultivos.

La aplicación de aditivos orgánicos que, por su descomposición, producen compuestos con actividad nematicida y al mismo tiempo estimulan las poblaciones de microorganismos que

antagonizan a los nemátodos. También hay pruebas sólidas de las investigaciones realizadas de que la adición de materiales orgánicos o quitinosos en forma de fertilizantes reduce las poblaciones de nemátodos y el daño asociado, lo que parece deberse a un aumento en las poblaciones de microorganismos que antagonizan a los parásitos. Todos los aditivos orgánicos tienen un espectro de efectos amplio y completo sobre la microflora nativa de la rizosfera y el tejido, pero el tipo y grado de control biológico también están determinados por la composición, maduración y forma de aplicación de los suplementos (Aguirre et al., 2016).

En plantaciones de banano y plátano del Ecuador se han identificado dos hongos conocidos como controles biológicos, como son *Trichoderma harzianum* y *P. lilacinus*, que han demostrado gran efectividad para colonizar los cuerpos de los nemátodos y provocar su muerte. Los hongos del género *Trichoderma spp* han sido utilizados en el control biológico de diversos fitopatógenos, la interacción de materiales orgánicos y microorganismos antagonistas es una alternativa de control biológico para nemátodos que muestra un efecto significativo, alcanzando la misma población más baja. en el suelo y las raíces de las plantas de banano (Sikora et al., 2018).

Metodología de muestreo para monitoreo de nemátodos

Se sabe por experimentos en granjas agrícolas, para el muestreo de raíces y el monitoreo de estos parásitos, se debe seleccionar una parcela de tierra en la granja que tenga un alto nivel de infestación de nemátodos. En este caso a modo de ejemplo: Parcela 1, que tiene como fondo una infestación. A partir de 9500 *R. similis*/100 g de raíces vivas se realizan 6 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, el área para cada repetición es de 50m x 50m (2500 m²). Serán 5 plantas de las cuales se tomarán arbustos + 3 con una altura entre 30 y 60 cm, las cuales serán marcadas con un anillo para indicar a qué tratamiento pertenecen con el color asignado. El muestreo de raíces se realiza para todos los tratamientos en la semana 8 y 16 después de la aplicación, las muestras impares se evalúan a las 8 semanas después de la aplicación y a las 16 semanas después de la aplicación (Araya, 2003).

Metodología de extracción de nemátodos en raíces y suelo

Las raíces de cada muestra se lavan principalmente con agua corriente para eliminar los residuos del suelo, luego las raíces se cortan en trozos de 1 cm, se homogeneizan y se pesan para aislar los nemátodos. Se colocan en una licuadora, se agregan 100 ml de agua y se licuan a baja velocidad durante 20 segundos en dos etapas con un reposo de cinco segundos. El líquido licuado se pasa por un juego de tres tamices N° 60, 100 y 500, superpuestos de arriba hacia abajo, el primer y segundo tamiz se lavan durante 1 minuto cada uno, el sedimento contenido en el tamiz N° 500 se recoge en un vaso graduado, lavado con un vaso de precipitado; y finalmente se mide el contenido en el vaso a 100 ml, luego se homogeneiza usando una bomba de aire y se toma una alícuota de 4 ml para identificar y contar los nematodos usando un microscopio, contando el número de nematodos de cada especie o sexo (López et al., 2021).

Extracción de nemátodos en raíces de banano

Las raíces muestreadas (cinco plantas) se lavaron y con un cuchillo pequeño se separaron las raíces funcionales (sanas y de color marrón rojizo sin tejido necrótico) y las raíces no funcionales (tejido negro o necrótico) y se pesaron por separado cuando no esté demasiado húmedo, especialmente aquellos que no funcionan. Con estos dos valores se calcula el porcentaje de raíces funcionales. Ambas categorías de raíces se cortaron en trozos de aproximadamente cm de largo, excepto aquellas que tenían más de 80% de tejido necrótico y se homogeneizaron manualmente, se pesaron 25 gramos de raíces totales (funcionales y no funcionales), se pusieron en una licuadora y se agregaron 100 gramos mL de agua, licue cada uno por 10 segundos. El batido se pasa por tres tamices superpuestos de arriba a abajo con los números 60, 100 y 400 (López et al., 2021; Sikora et al., 2018).

El primer y segundo filtro se lavaron durante uno y dos minutos respectivamente, el sedimento en el filtro se recoge 400ml en una taza medidora, luego se lava con un filtro y se mide en 100 ml, se homogeneiza con una bomba de aire y se tomó una alícuota de 2 mL para identificación y conteo de nematodos en un microscopio con ayuda de un contador - verificador.

El valor de cada especie o género se multiplica por 200 y el valor equivalente corresponde a la densidad de población en 100 g de raíces totales (López et al., 2021; Sikora et al., 2018).

Manejo del nemátodo en el cultivo de banano

Para reducir el número de estos parásitos que se encuentran en el suelo, se utiliza material vegetal limpio y libre de nemátodos y chupones, el método más sencillo es pelar superficialmente los rizomas para eliminar el tejido dañado y exponer el material al sol durante dos semanas, es posible reducir aún más la población de nemátodos, pero esta técnica no se puede aplicar a los brotes pequeños, que son bastante frágiles y necesitan ser replantados rápidamente, limpiados y luego sumergidos en agua caliente (52-55° C a 15-15°C). 20 minutos) es una práctica común y muy efectiva en Centroamérica, también ayuda sumergir los rizomas limpios en hipoclorito de sodio al 1% durante 5 minutos, esto se considera un tratamiento efectivo, económico y no tóxico antes de plantar (Valencia et al., 2014).

Materia orgánica y buena fertilización en todas las variedades resistentes o tolerantes a los nemátodos que se encuentran en el suelo, siempre se recomienda aplicar un nematicida biológico, *P. lilacinus*, extractos de plantas para mejorar la calidad del suelo y aumentar la masa radicular para una mejor absorción de nutrientes y agua (Chagüezá, 2011).

Control Cultural

La preparación del terreno, el manejo agrotécnico más importante en las plantaciones, es una práctica cultural que es necesario tener en cuenta, además de conocer el origen del material de siembra, porque de esta manera se produce con mayor frecuencia la propagación de enfermedades. Las prácticas culturales que se deben desarrollar son las siguientes: dejar la tierra en barbecho por largos periodos de tiempo, un año, uso de cultivos mixtos o afines y técnicas de inundación del terreno (Sarah & Fallas, 1996).

Control Químico

El uso de productos químicos para controlar los nemátodos es altamente tóxico para las plantas y muy costoso. La aplicación de este producto es en promedio dos veces al año en las

dosis recomendadas por cada empresa comercial. El grupo de los nematicidas es el Carbamato (Carbofurano y Oxamil) y Organofosforados (Terbufos, Etoproprof, Fenamiphos, Cadusafos), los cuales actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa del nemátodo, el uso frecuente de nematicidas cambia la microflora y microfauna del suelo, esto cambia la cadena trófica, eliminando antagonistas. Microorganismos de nematodos parásitos de plantas (Jaramillo et al., 2019).

Control Biológico

El suelo contiene muchos enemigos naturales de los nemátodos, como podemos nombrar bacterias, hongos, protozoos, insectos y ácaros, con la ayuda de estos organismos es posible mantener una población baja de nemátodos fitoparásitos (Fernández et al., 2016).

Hongo *Paecilomyces lilacinus*

P. lilacinus es un biocontrolador importante a nivel agrícola, con potencial control de nemátodos en diversos cultivos, el descubrimiento de este hongo ha estimulado la investigación sobre el control biológico de los nemátodos fitoparásitos. Este género como estrategia biológica, ataca principalmente a especies de *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* y *R. similis*, al parasitar los huevos, este hongo es capaz de deformar su estructura y limitar así su eclosión, reduciendo con éxito futuras poblaciones de nemátodos (Baazeem et al., 2021).

Paecilomyces en su estructura produce conidios que se adhieren a la superficie del nemátodo, cuando germinan producen hifas, estas hifas destruyen las células de la pared externa e interna, consumiendo todos los nutrientes. Otra alternativa viable es la aplicación de bioestimulantes preventivos, estos productos estimulan procesos naturales en las plantas de banano que son beneficiosos para el desarrollo y mejoran la respuesta a enfermedades parasitarias y no parasitarias, además apoyan la absorción y asimilación de nutrientes, muchas especies de *P. lilacinus* ha demostrado ser agentes de control biológico muy prometedores, entre los principales agentes de biocontrol se encuentran *P. carneus*, *P. farinosus*, *P. fumosoroseus* y *P. lilacinus* (Moreno et al., 2020).

Característica de hongo *Paecilomyces lilacinus*

La especie *Paecilomyces lilacinus* tiene hifas hialinas amarillentas, septadas y de paredes delgadas, la mayoría tiene ramas circulares o ramificadas irregularmente, cada rama tiene un grupo de fiálidas en el terminal, que también pueden ser solitarias, consta de partes basales cilíndricos o hinchados, a menudo adelgazados repentinamente para formar un cuello muy llamativo, los conidióforos forman cadenas de conidios; la forma es hialina, unicelular y ovoide, la infección causada por *P. fumosoroseus* se reconoce por su color rosa pálido, mientras que en *Paecilomyces lilacinus* es violeta claro. La especie de género más importante en el control de nemátodos es *Paecilomyces lilacinus* (Baazeem et al., 2021).

Ventajas del Hongo *P. lilacinus*

Es un excelente regulador natural, mantiene las poblaciones de nemátodos a un nivel que no causa ningún daño económico, la presencia de nemátodos se vuelve menor debido al trabajo progresivo de los microorganismos silvestre, también podemos observar que regulan a los nemátodos utilizando formulaciones a base de *P. lilacinus*, requiere menos aplicaciones porque se mantiene y restablece el equilibrio natural del ecosistema, se puede decir que el hongo no contamina el medio ambiente, no es un producto tóxico para la salud humana y animal, cuando se cultiva en el campo proporciona un reservorio útil de inóculo, podemos utilizarlo en agricultura orgánica y convencional (Vargas et al., 2015).

Tabla 2

*Clasificación taxonómica de Hongo *P. lilacinus**

| | |
|-----------------|-----------------------|
| Reino: | Fungi |
| Clase: | Sordariomycetes |
| Orden: | Hipocreales |
| Género: | <i>Paecilomyces</i> . |
| Especie: | <i>P. lilacinus</i> |

Nota. Senthilkumar et al. (2020, pag. 28).

Mecanismo de acción *P. lilacinus*

El hongo *P. lilacinus* ejerce su principal acción contra los nemátodos fitoparásitos mediante la infección directa durante las etapas sedentarias, especialmente en la fase de huevo del desarrollo del nemátodo. Este mecanismo se desencadena después del reconocimiento y la interacción entre el patógeno y el antagonista, que incluye la secreción de complejos enzimáticos quitinolíticos. La actividad nematicida de la enzima proteasa descompone la cáscara del huevo, impidiendo su eclosión. Simultáneamente, la quitinasa rompe la cáscara del huevo, facilitando la entrada del hongo en los huevos de los nemátodos. Durante la descomposición de la quitina, se libera amoníaco, lo que resulta tóxico para los juveniles de segunda fase de los nemátodos de la raíz. El hongo penetra en el huevo y se desarrolla ampliamente dentro y sobre el mismo, dificultando completamente el desarrollo del juvenil (Senthilkumar et al., 2020; Saleh et al. 2023).

El desarrollo del hongo consta de tres fases: adhesión y germinación de la espora en la cutícula del hospedero, penetración y desarrollo que en general resulta la muerte del anfitrión. Posteriormente, el hongo coloniza la rizosfera y realiza su primer contacto con la planta parasitada a través de la cutícula del hospedero (Prabhu et al., 2008).

Los huevecillos de los nemátodos y de las hembras tienen tres capas: vitalina, quitina y pared de lipoproteínas. La capa de vitalina, compuesta de proteínas, da paso a un tubo germinativo y un apresorio. Este último se adhiere a la cutícula, mientras que el tubo germinativo o haustorio permite la penetración en el cuerpo del nemátodo. La penetración implica un mecanismo físico y químico. El primero ejerce presión para romper áreas esclerosadas y membranosas de la cutícula, mientras que el segundo implica la acción enzimática, principalmente de proteasas, lipasas y quitinasas, que provocan la degradación del tejido en la zona de penetración (Moreno et al., 2020).

Producción del hongo *P. lilacinus*

Los hongos se destacan por su potencial en el control biológico, aunque su aplicación a menudo se ve influida por consideraciones económicas. Para lograr un control biológico efectivo,

los hongos necesitan generar esporas virulentas, viables y resistentes, las cuales poseen una estabilidad superior a las células bacterianas. La composición nutricional del medio es un factor crítico para que las esporas sean eficaces en el biocontrol, así como para su resistencia a procesos como el secado y su capacidad de persistir en el ambiente, requisitos esenciales para su viabilidad comercial. El ciclo de vida de los hongos abarca etapas como la latencia de la espora, germinación, desarrollo del micelio y conidiogénesis (Prabhu et al., 2008).

Característica general de *Radopholus Similis*

Tabla 3

Clasificación taxonómica del Nemátodo Radopholus similis

| | |
|-----------------------|-------------------|
| Phylum: | Nematoda |
| Orden: | Tylenchida |
| Super familia: | Tylenchoidea |
| Familia: | Pratylenchidae |
| Sub familia: | Pratylenchinae |
| Género: | <i>Radopholus</i> |
| Especie: | <i>Similis</i> |

Nota. Sarah y Fallas (1996, pag. 31).

Características morfológicas *Radopholus similis*

Los parásitos son microorganismos pequeños, con una longitud menor a 1 mm. El nemátodo *R. similis*, un parásito barrenador, exhibe un notorio dimorfismo sexual en la región anterior. La hembra presenta una región cefálica baja, fuertemente esclerotizada y continua o ligeramente separada, con un estilete bien desarrollado de 14 a 23 μ m. El metacarpus es bien desarrollado en el esófago, con glándulas alargadas que traslapan el intestino dorsal. La vulva se localiza entre el 50 y 60 % de la longitud del cuerpo, y la cola es alargada de conoide a subcilíndrica. En contraste, el macho presenta una región cefálica alta y redonda, separada del

resto del cuerpo por una incisura. Tiene un estilete y esófago reducidos, y su cola generalmente es más afilada que la de la hembra (Sarah & Fallas, 1996).

Biología de *Radophulus Similis*

R. similis, un nemátodo que afecta los cultivos de banano, presenta una notable capacidad de persistencia en el suelo, llegando a mantenerse hasta 5 años sin la presencia de banano. Durante este período, su supervivencia se atribuye posiblemente a la existencia de maleza hospedante. La dispersión de este nemátodo se realiza a través de material vegetal y suelo, extendiéndose de 3 a 6 metros en una plantación de banano. Sus larvas todas infectivas, penetran las raíces, causando extensas cavidades al alimentarse de la corteza. El ciclo de vida de *Radophulus S.* abarca aproximadamente 20 a 25 días en temperaturas de 24 a 32 °C, incluyendo estadios desde huevo hasta la fase adulta (Uribe et al., 2010).

En cuanto a la reproducción, las hembras depositan entre cuatro y cinco huevos diarios durante dos semanas, lo que facilita un rápido incremento de la población. En condiciones favorables, la densidad puede llegar a alrededor de 3,000 individuos por gramo de suelo y más de 100,000 por 100 gramos de raíz (Lassalle, 2022).

Síntomas de plantas atacadas por *R. Similis*

Este hongo, *R. similis*, induce síntomas diversos en el sistema radical del banano, caracterizados por lesiones oscuras en la epidermis que atraviesan el parénquima cortical y en casos extremos alcanzan el cilindro vascular. Dichas lesiones se originan una atrofia del tejido radical. En situaciones de alta infestación, el nemátodo se desplaza hacia el cormo, generando lesiones de color pardo rojizo y manchas negras que se extienden incluso a los cormos de los brotes recién surgidos, afectando también el rizoma del banano (Viveros et al., 2022).

En un análisis histológico realizado por Holguín (2023) sobre las raíces de *Musa spp.*, se observa que *R. similis* se posiciona entre las células del parénquima cortical, donde se alimenta del citoplasma circundante. Este proceso resulta en un aumento del tamaño del núcleo y el nucleolo, la desaparición casi total del citoplasma, la desintegración del núcleo y la ruptura de la

pared celular, generando cavidades en el tejido. El nemátodo se mueve a lo largo de estas cavidades en búsqueda de nuevos sitios para alimentarse.

El nemátodo *Meloidogyne* spp.

Meloidogyne, un género fitoparásitos, incluye más de 100 especies de nemátodos agalladores. Estos nemátodos son endoparásitos biotróficos que pueden infectar diversas plantas, presentando una distribución global casi cosmopolita. Su rápida reproducción durante el ciclo de cultivo provoca daños significativos. La hembra, al alimentarse, induce deformaciones en las raíces llamadas agallas o nódulos, resultantes de la modificación y crecimiento anormal de las células radicales, lo que hace que el tejido infectado sea más susceptible a otras infecciones por patógenos (Eisenback & Triantaphyllou, 2020).

Estas especies de *Meloidogyne*, también conocidas como nemátodos agalladores de la raíz, son endoparásitos sedentarios. Su reproducción ocurre únicamente cuando el segundo estadio larval infectivo penetra en las raíces o partes subterráneas de una planta adecuada. Migran por el interior de las raíces sin romper las células, dando inicio al desarrollo de células gigantes donde se alimentan y se convierten en hembras que producen huevos (Yigezu, 2021).

Los huevos de *Meloidogyne* dan origen a larvas infectivas del segundo estadio, destacando su impacto significativo en el cultivo del banano. Estudios de nocividad han revelado pérdidas de rendimiento superiores al 60% en campos afectados, ya que este género de nemátodos destruye por completo las raíces, limitando la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Los síntomas incluyen abstención de brotes, crecimiento reducido y deficiencias nutricionales, manifestadas como clorosis foliar. *Meloidogyne* afecta la producción y translocación de hormonas y sustancias relacionadas con la fotosíntesis, causando marchitez temporal a pesar de la humedad adecuada en el suelo debido al daño en el sistema radical y la interrupción del flujo normal de agua y nutrientes (Sarah & Fallas, 1996; Yigezu, 2021).

Pérdida de brotes, disminución del crecimiento y falta de nutrición en forma de clorosis de las hojas, debido a que los nemátodos interfieren en la producción y translocación de sustancias

desde las raíces, como las hormonas giberelinas y citoquininas, así como sustancias que regulan la fotosíntesis, debido al menor tamaño del sistema radicular y al hecho de que los elementos vasculares de los nódulos se rompen y deforman interfiriendo mecánicamente con el flujo normal de agua y nutrientes (Eisenback & Triantaphyllou, 2020).

Tabla 4

*Clasificación taxonómica del nemátodo *Meloidogyne**

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Orden: | Tylenchida |
| Sub Orden: | Tylenchina |
| Súper-familia: | Heteroderoidea. |
| Familia: | Meloidogynidae |
| Género: | Meloidogyne |

Nota. Eisenback y Triantaphyllou (2020, pag. 33).

Sintomas de *Meloidogyne*

Los síntomas más evidentes son agallas en las raíces primarias y secundarias, provocando en ocasiones que éstas revienten y se deformen (Lara, 2016).

Biología y su ciclo de vida

El ciclo de vida, la histopatología y la etiología de la enfermedad en el cultivo de banano son comparables a los informados en otros hospedantes. En las raíces primarias y secundarias, las masas de huevo pueden sobresalir de la superficie de la raíz y varios ciclos pueden completarse dentro de la misma, dependiendo de su longevidad y la severidad de la necrosis. En infestaciones mixtas y la competencia con *R. similis* comienza aproximadamente a 60-90 cm del rizoma, afectando la influencia de la población de *Meloidogyne* (Dos Santos, 2012; Eisenback & Triantaphyllou, 2020).

El nemátodo *Helicotylenchus* spp.

Helicotylenchus, también conocido como “nemátodo espiral”, se encuentra en muchas regiones productoras de banano, en áreas tropicales donde se encuentra *R. similis*, el nemátodo

espiral, puede superar en número al parásito *R. similis* en lugares donde coexisten las especies (Karakas, 2007; Shokoohi et al., 2021).

Tabla 5

Clasificación taxonómica de la especie *Helicotylenchus*

| | |
|-----------------|---------------------------|
| Reino: | Animalia |
| Filo: | Nematoda |
| Clase: | Secernentea |
| Orden: | Tylenchida |
| Familia: | Hoplolaimidae |
| Género: | <i>Helicotylenchus</i> |
| Especie: | <i>H. multincinctus</i> . |

Nota. Golden (1956, pag. 25); Daramola et al. (2020, pag. 21).

Importancia económica de los nemátodos *Helicotylenchus* spp

El género *Helicotylenchus* contiene más de 160 especies y es uno de los más numerosos del orden *Tylenchida*, al que pertenecen la mayoría de los nemátodos fitoparásitos, la frecuencia y densidad poblacional a lo largo del año y en las zonas productoras de musáceas de cada país el *H. multincinctus* es la especie de parásito de plantas más común y representa el 82 al 92% de la población de nemátodos en raíces y cormos; Sin embargo, esto puede variar dependiendo del cultivo, variedad y condiciones agroecológicas (Kasapoğlu, 2015).

Morfometría de nemátodos *Helicotylenchus* spp.

La longitud del cuerpo de las hembras es de 0,47 a 0,53 mm, en estado relajado está curvado en forma de C; Tiene anillos distintos de aproximadamente 1,5 µm de ancho en el centro del cuerpo, campos laterales no areolados, con 4 muescas que representan aproximadamente un cuarto del ancho del cuerpo, región labial semiesférica ligeramente desplazada con 3-5 (generalmente 4) anillos y un receso oral terminal pronunciado, marco de cabeza altamente esclerotizado, con bordes exteriores prominentes que se extienden posteriormente a través de 3-

4 anillos corporales, que son mucho más grandes y estrechos en esta región que en los demás. El cuerpo de los machos tiene una longitud de 0,43-0,55 mm, similar al de la hembra, salvo el dimorfismo sexual (McSorley & Parrado,1983).

Daño y síntomas de la especie *Helicotylenchus* spp.

Los nemátodos espirales atacan y se alimentan de las células externas de la corteza de la raíz y producen pequeñas lesiones, el desarrollo de lesiones radiculares causadas por *H. multicinctus* es más lento que el causado por *R. similis*, las lesiones en las raíces primarias son poco profundas pequeñas y tienen muchas líneas de color rojizas a negras. Sin embargo, en ataques graves, estas lesiones pueden provocar una necrosis radicular extensa de la piel exterior; También se pueden encontrar lesiones en los tubérculos, el efecto de *H. multicinctus* en bananos y plátanos puede provocar un retraso en el crecimiento de las plantas, un alargamiento del ciclo vegetativo, una reducción del tamaño de las plantas y del peso de los racimos, así como una reducción de la vida productiva de la siembra del cultivo de musáceas (Sikora et al., 2018).

Biología y ciclo de vida del nemátodo *Helicotylenchus* spp

El nemátodo *H. multicinctus*, a diferencia de la mayoría de las otras especies de *Helicotylenchus*, se considera una especie endoparásita que también puede completar su ciclo de vida en la parte cortical de la raíz, donde se encuentran los sexos y todos los estadios juveniles incluidos los huevos. Los nemátodos se alimentan del citoplasma de las células que se encuentran alrededor de la corteza de la raíz, el tejido infectado mostró varios tipos de daño celular, como citoplasma contraído paredes distorsionadas o dañadas y núcleos agrandados, pero a diferencia de lo observado en *R. similis*, los cambios histológicos se limitaron a las células parenquimatosas cercanas a la epidermis (Barekye et al., 2000).

El nemátodo *Pratylenchus*

El *Pratylenchus coffeae*, tiene la región bucal ligeramente desplazada, posee dos anillos especiales, el estilete mide más de 15 μ m, la posición de la vulva es del 79% y el saco peritoneal es de 1,0. - 1,5 veces el diámetro del ovario. Además, la cola de la hembra es truncada o

semiesférica. Por otro lado, existe la especie *P. goodeyi*, este nemátodo es considerado como el más importante en las tierras altas de África y más peligroso del cultivo de banano “Cavendish”, en las Islas Canarias el banano y plátano es el único huésped conocido de *P. coffeae*, es común en los trópicos, América del Sur y Central, parece estar más relacionado con los clones del plátano que con los de Cavendish, pero esto no significa que sólo algunas musáceas sean sus huéspedes preferidos (Holguín, 2023).

Pratylenchus coffeae puede penetrar cualquier parte de la raíz, pero prefiere áreas con mayor cantidad de pelos absorbentes, el ingreso a los tejidos se produce de la siguiente manera: el nemátodo penetra la epidermis, la pared celular y luego digiere parcialmente el contenido radicular, este patrón de ataque se repite a medida que los nemátodos se mueven de un lado a otro para alimentarse de la corteza de la raíz (Saleh, 2023).

Los nemátodos se distribuyen por todo el mundo y el clima no parece tener mucha influencia en su distribución, algunas especies pueden estar adaptadas a regiones frías y otras a regiones cálidas. Los informes indican que generalmente son, más abundantes en las partes cálidas de las zonas templadas que en los trópicos y subtropicos, probablemente el nemátodo *P. coffeae* tenga su origen en el Océano Pacífico, probablemente se ha extendido por todo el mundo a través del material de siembra comercial; en las islas del Pacífico es la especie de nemátodo dominante que afecta tanto a los bananos diploides como a los triploides; en el sudeste asiático, como en Tailandia es el nemátodo principal que afecta a Pisang Awak (Musa AAB). En Centro y Sudamérica, esta especie es particularmente destructiva para la variedad Cavendish (Musa AAA) (Martínez & Rey, 2021).

Pratylenchus coffeae

Este género es considerado uno de los más importantes y peligrosos para el cultivo de banano y plátano. El nemátodo *P. coffeae* está muy extendido en varias zonas productoras y puede causar daños importantes a las raíces, lo que resulta en una disminución de la absorción de nutrientes y agua (Fonseca et al., 2022).

Pratylenchus goodeyi

Esta familia también ha sido identificada como nemátodos fitoparásitos del banano y plátano, los nemátodos *P. goodeyi* pueden afectar el sistema radicular de las plantas, provocando necrosis y disminución de la absorción de nutrientes. Los nemátodos de este género son plagas destructivas para muchas plantas y se mueven libremente entre las raíces y el suelo, el síntoma típico es la aparición de lesiones estrechas y alargadas en la superficie de la raíz (García et al., 2021).

Tabla 6

Clasificación taxonómica de la especie Pratylenchus

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Nombre común: | Nemátodo de las lesiones |
| Phylum: | Nematoda |
| Clases: | Secementea |
| Orden: | Tylenchida |
| Familia: | Pratylenchidae |
| Género: | Pratylenchus |
| Especie: | <i>P. coffeae</i> |

Nota. Golden (1956, pag. 23).

Daños y síntomas

Los síntomas comunes de las plantas infectadas con *Pratylenchus spp* son necrosis de las raíces, reducción de tamaño y raquitismo, cuando las raíces se abren se puede observar deformación tubérculos, así como daños internos, el ciclo de vida de *Pratylenchus coffeae* oscila entre 55 y 65 días dependiendo de las condiciones climáticas, hospedante y tipo de suelo (Lara et al., 2016).

Biología y su ciclo de vida

Los nemátodos *P. coffeae* y *P. goodeyi* son endoparásitos migratorios de la corteza de la raíz y del corno del banano, todos los estadios juveniles son invasivos, el ciclo de vida se

completa dentro de la raíz debido a los cambios histológicos posteriores a la inoculación de *P. coffeae* en las raíces de los clones de AAB, después de la penetración en las raíces, el nemátodo migra entre y dentro de las células, ocupando una posición paralela a la estela, se alimenta del citoplasma de las células vecinas, provocando con el tiempo la fusión de las cavidades, seguido de la destrucción del parénquima cortical, la acción de las raíces de plátano por *P. coffeae* es muy similar a la acción del nemátodo *R. similis*, excepto que no se observó agrandamiento celular ni un aumento en el tamaño del núcleo o nucléolo celular (Araya, 2003).

Medidas de control

Para combatir el nemátodo *Pratylenchus coffeae*, que ataca los cultivos de banano y plátano, se utilizan agentes químicos-sintéticos, así como prácticas culturales y agronómicas encaminadas a reducir el desperdicio de cultivos y las pérdidas de producción (Ankrom et al., 2020).

Control cultural

En el cultivo del banano, las medidas de control están dirigidas a eliminar las raíces dañadas o necróticas, separar el rizoma de la capa superior y eliminar el tejido dañado, exponer el material cortado a la luz solar directa y reducir la población restante de nemátodos (Ankrom et al., 2020).

Control biológico

La base del sistema de control biológico de este grupo es el uso de hongos como *P. lilacinus*, *Trichoderma*, *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria* y más recientemente la bacteria *Corynebacterium paurometabolum* del género *Glomus* y *Micorrizas*, que son excelentes controladores de nemátodos y hongos (Aguirre et al., 2016).

Control químico

El uso de productos químicos para el control de nemátodos es muy tóxico y costoso, aplicándose estos productos en promedio dos o tres veces al año con las dosis recomendadas por cada tienda comercial (Herrera, 2017).

CAPITULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

El estudio que se realizó en esta investigación fue de carácter descriptiva y experimental.

3.2 La población y la muestra

La presente investigación se llevó a cabo en la hacienda bananera “KAREN LYNN”, En el Cantón vía la Troncal, Provincia del Cañar, propietaria la Sra., Karen Zúñiga, la ubicación es -25 msnm, en las coordenadas Geográficas es de 2°22'18" S, 79°24'4" O y 50 metros de altitud.

3.2.1 Características de la población

El factor de estudio fue el efecto del hongo *P. lilacinus* como un biocontrolador de nemátodo en la industria bananera.

3.2.2 Delimitación de la población

El área de trabajo fue una hectárea, los tratamientos fueron 4 y 3 repetición cada tratamiento fue de 100 plantas, total de plantas fueron 1200.

3.2.3 Tipo de muestra

Los nemátodos y el sistema radicular de la planta de banano.

3.2.4 Tamaño de la muestra

Se tomó como variable para el tamaño de la muestra 12 fundas con un peso 500g que contenía raíces, vivas, raíces muertas, raíces dañadas por otras causas y raíces con nemátodos. La unidad experimental estuvo constituida por 5 plantas por repetición y 4 tratamientos.

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

Se tomó la muestra frente a la madre recién parida, tanto el diámetro como la profundidad del corno fueron de 30 cm y 30 cm de profundidad.

3.3 Los métodos y las técnicas

El ensayo se realizó en cultivo comercial de banano, de la siguiente fase.

3.3.1 Diseño de investigación

El diseño que se utilizó fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), la investigación consta con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

3.3.1.1 Fase 1 (Día 1)

Se recolectó al azar 5 plantas de banano en cada repetición para extraer las raíces y luego se llevó al laboratorio donde se analizó, debemos recordar que la planta de banano debe estar recién parida entre 0 – 1 semana, una vez realizado esté labor, se aplicó la 3 dosis recomendad del hongo *P. lilacinus*, y el testigo sin aplicar.

3.3.1.2 Fase 2 (1 a 30 Días)

Una vez pasado los 30 días de la aplicación del hongo *P. lilacinus*, se volvió aplicar la 3 dosis recomendad en cada repetición y el testigo sin aplicar, rápidamente se recolectó 5 plantas al azar para extraer las raices y luego se llevó al laboratorio donde se analizó.

3.3.1.3 Fase 3 (60 Días)

En esta fase no se aplicó ningún producto, solo se cogió 5 plantas al azar por cada repetición donde se analizó en el laboratorio.

3.3.2 Variables de estudio

3.3.2.1 Raíces sanas

Se colectó las raíces sanas del cultivo de banano.

3.3.2.2 Raíces dañadas por otras causas

Separamos las raíces dañadas por cortes de una herramienta sea cuchillo, machete o por exceso de agua de riego y agua lluvia.

3.3.2.3 Raíces dañadas por nemátodos

Lo aislamos por presencia de ataques de nemátodos que encontramos en las raíces.

3.3.2.4 Raíces totales

Se sumaron las raíces totales, de sanas, enferma y por nemátodo.

3.3.2.5 Poblaciones nemátodos

Se observará en los resultados obtenido por el análisis en el laboratorio.

Tabla 7

Tratamiento de estudio del hongo P. lilacinus con sus dosis de investigación

| No. | Tratamientos | Dosis x ha | Frecuencia (Días) |
|-----|---------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | <i>P. lilacinus</i> | 100 g/ha | 1 – 30 |
| 2 | <i>P. lilacinus</i> | 200 g/ha | 1 – 30 |
| 3 | <i>P. lilacinus</i> | 300 g/ha | 1 – 30 |
| 4 | Testigo | Sin tratamiento | Sin aplicación |

Nota. Vélez (2024).

Técnicas de preparación de raíces

Las muestras de raíces fueron extraídas según los tratamientos, las plantas con características de recién paridas, hijo de sucesión de 1,5 metros de altura, al frente de cada planta se cavó un hoyo de 30 cm largo x 15 cm ancho x 30 cm profundidad (13,5 dm³).

Las muestras de las raíces fueron colectadas en una funda plástica identificándose con el número correspondiente a los tratamientos; luego, en el laboratorio, se lavaron las raíces de cada muestra, se las dejó al ambiente para la eliminar el exceso de agua y se pesó en gramos, después de pesadas las raíces, se cortaron en pedazos de 1 cm aproximadamente y se mezclaron sanas y dañadas. Se pesaron 25 gramos y se licuaron con 100 mL de agua común por 20 segundos (en dos etapas de 10 seg).

El licuado se pasó por un juego de tres tamices de arriba hacia abajo de números 60, 100 y 400 (250, 150, 38 μ), el primero se lavó por dos minutos, el segundo por un minuto y en el último se colectaron los nemátodos. Este sedimento agua - nemátodos se colectó en un vaso y con una piceta se aforó en 100 mL de agua. Esta solución se homogeneizó con una bomba de aire y con una pipeta se colocó 2 mL en una cámara contadora. Seguidamente se observó en el estéreo

microscopio y se cuantificó el número de nemátodos por cada género antes mencionado. Por cálculo matemático se obtuvo la densidad poblacional en 100 gramos de raíces. Esta metodología es la que se utiliza en la Estación Experimental Litoral Sur en las evaluaciones de rutina.

3.4 Procesamiento estadístico de la información

El análisis de datos se lo realizó en el programa infostat y los gráficos se ejecutaron en Excel. Los datos fueron sometidos a la prueba de rango múltiples de Tukey al 0.05 %.

Tabla 8

Andeva del experimento

| Andeva | Grados de libertad |
|--------------------|---------------------------|
| Tratamientos | $4-1= 3 (t-1)$ |
| Bloques | $3-1= 2 (r-1)$ |
| Error experimental | $3*2= 6 (t-1) (r-1)$ |
| Total | $4*3-1= 11 (tr-1)$ |

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de los resultados

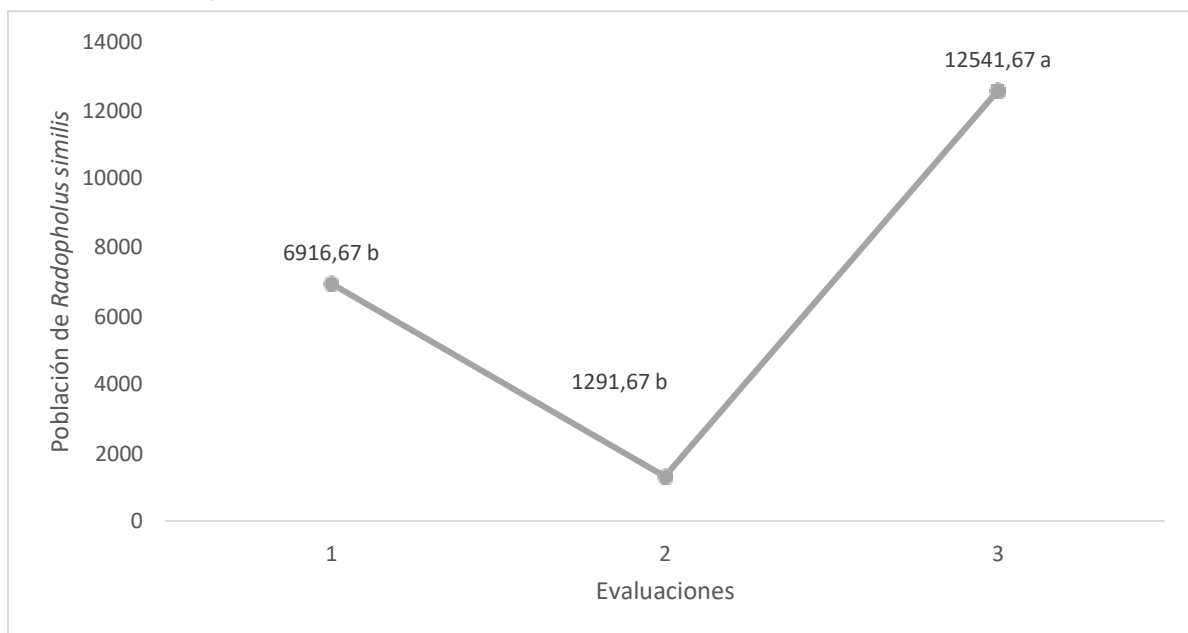
Determinación de la eficiencia de *Paecilomyces lilacinus* para el manejo poblacional del nemátodo barrenador *Radopholus similis* en el cultivo de banano

Poblaciones de *R. similis*

Con respecto a la población de *R. similis* se pudo determinar que la población de este nemátodo no se vio afectada por las aplicaciones de *Paecilomyces*, sin embargo, en las evaluaciones este espécimen aumentó la población en la tercera evaluación como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Poblaciones de Radopholus similis en los cuatros tratamientos estudiados



Nota. Representación gráfica de evaluaciones a través del tiempo.

En estudio no demostró diferencia estadística entre tratamientos de *Paecilomyces* inoculados en el sistema radical del banano, sin embargo, hay diferencia aritmética entre los cuatro tratamientos estudiados como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9*Poblaciones del nemátodo R similis de los cuatros tratamientos estudiados*

| Tratamientos | Poblaciones de <i>R. similis</i> | |
|---------------------|---|---|
| Paecilomyces 100 g | 5833 | a |
| Paecilomyces 200 g | 8722 | a |
| Paecilomyces 300 g | 6556 | a |
| Testigo | 6556 | a |

Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

4.2 Estudio del efecto de *Paecilomyces lilacinus* sobre el nemátodo espiral *Helicotylenchus multicinctus* y su índice reproductivo

Poblaciones de *Helicotylenchus multicinctus*

Las poblaciones de *H. multicinctus* tratadas con el hongo antagonista de nemátodos no tuvo significancia significativa, sin embargo, sobresalió el tratamiento con dosis de 100 g (T1) de *Paecilomyces* obteniendo menor población que el resto de tratamientos, como se observa en el Tabla 10.

Tabla 10*Poblaciones de H. multicinctus en los cuatros tratamientos estudiados*

| Tratamientos | Poblaciones de <i>H. multicinctus</i> | |
|---------------------|--|---|
| Paecilomyces 100 g | 10389 | a |
| Paecilomyces 200 g | 13556 | a |
| Paecilomyces 300 g | 17611 | a |
| Testigo | 16167 | a |

Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

4.3 Análisis del efecto de *P. lilacinus* sobre la sanidad del sistema radical del cultivo de banano

Correlación de Pearson

El peso de raíces sanas se correlacionó positivamente y con significancia estadística con el peso de raíces dañadas por nemátodos y raíces totales e inversamente proporcional con las poblaciones de *Helicotylenchus multicinctus* Tabla 11.

Tabla 11

Correlación de Pearson de los cuatros tratamientos estudiados

| | | Correlaciones | | | | | | |
|-------------------|------------------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|----------------|-------------------|------------------------|
| | | Raíces sanas | Raíces nemátodos | Raíces podridas | Raíces Total | % Raíces Sanas | R. <i>similis</i> | H. <i>multicinctus</i> |
| Raíces sanas | Correlación de Pearson | 1 | ,388* | ,204 | ,917** | ,080 | ,089 | -,066 |
| | Sig. (bilateral) | | ,019 | ,232 | ,000 | ,642 | ,604 | ,704 |
| | N | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Raíces nemátodos | Correlación de Pearson | | 1 | ,010 | ,672** | -,578** | ,212 | ,274 |
| | Sig. (bilateral) | | | ,953 | ,000 | ,000 | ,214 | ,106 |
| | N | | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Raíces podridas | Correlación de Pearson | | | 1 | ,360* | -,428** | -,051 | ,181 |
| | Sig. (bilateral) | | | | ,031 | ,009 | ,768 | ,290 |
| | N | | | | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Raíces Totales | Correlación de Pearson | | | | 1 | -,256 | ,137 | ,097 |
| | Sig. (bilateral) | | | | | ,132 | ,427 | ,574 |
| | N | | | | | 36 | 36 | 36 |
| % Raíces Sanas | Correlación de Pearson | | | | | 1 | -,169 | -,497** |
| | Sig. (bilateral) | | | | | | ,324 | ,002 |
| | N | | | | | | 36 | 36 |
| R. <i>similis</i> | Correlación de Pearson | | | | | | 1 | -,350* |
| | Sig. (bilateral) | | | | | | | ,036 |
| | N | | | | | | | 36 |

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

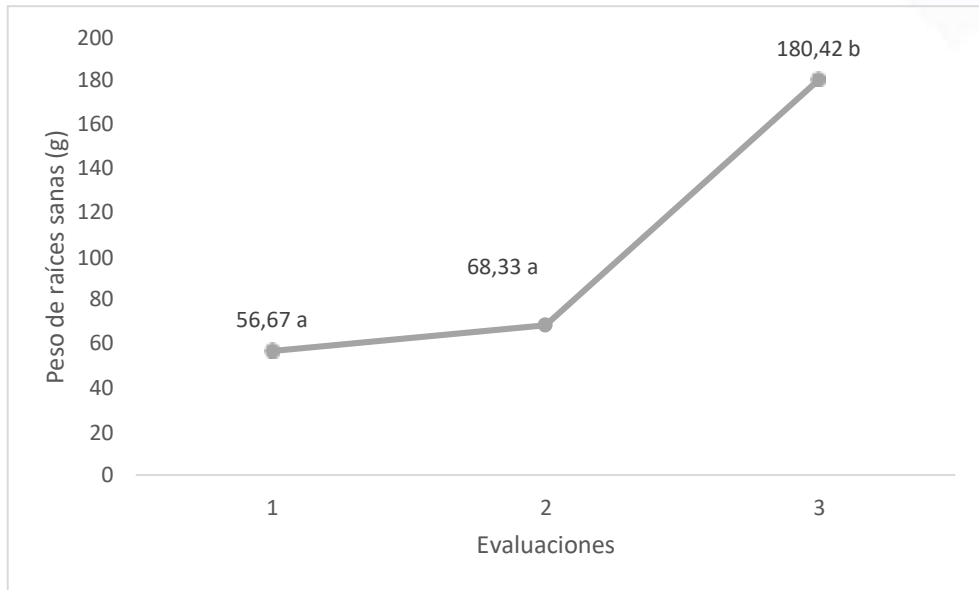
Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

Raíces sanas

En la variable peso de raíces sanas se evidenció diferencia estadística en las fechas de evaluación (Figura 2), obteniendo el mayor peso de raíces en la evaluación tres, mientras que no se obtuvo diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 2

Pesos de raíces sanas (g)



Nota. Representación gráfica de evaluaciones a través del tiempo.

En este estudio, se obtuvo que no hay diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo, hay diferencia aritmética, sobre saliendo el tratamiento T1 (Tabla 12).

Tabla 12

Pesos de raíces sanas (g) de los tratamientos estudiados

| Tratamientos | Peso raíces sanas (g) | |
|--------------------|-----------------------|---|
| Paecilomyces 100 g | 111 | a |
| Paecilomyces 200 g | 95 | a |
| Paecilomyces 300 g | 100 | a |
| Testigo | 101 | a |

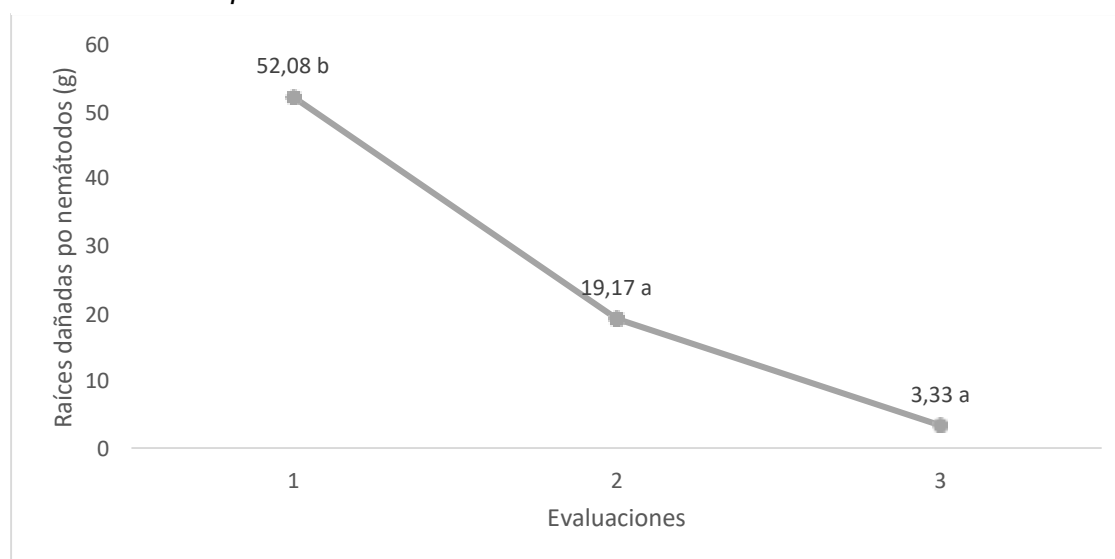
Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

Raíces dañadas por nemátodos

En el peso de raíces dañadas por nemátodos, se obtuvo diferencia estadística en las fechas de evaluación destacando la tercera evaluación, mientras que en los tratamientos no hubo significancia entre sí, pero sobresalió el *Paecilomyces* en dosis de 100 g T1 por ha con el menor peso de raíces dañadas por nemátodos como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Raíces dañadas por nemátodo de los 4 tratamientos estudiados



Nota. Representación gráfica de evaluaciones a través del tiempo.

Como podemos observar no hay diferencia estadística entre los tratamientos estudiados, sin embargo, hay diferencia aritmética, sobresaliendo el tratamiento T1 con el menor peso de raíces dañadas por nemátodos (Tabla 13).

Tabla 13

Raíces dañadas por nemátodos de los tratamientos

| Tratamientos | Peso raíces dañadas por nemátodos (g) | Significancia |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------|
| <i>Paecilomyces</i> 100 g | 7 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 200 g | 40 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 300 g | 33 | a |
| Testigo | 20 | a |

Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

Raíces dañadas por otras causas

En este análisis no hay diferencia estadística entre tratamiento, sin embargo, hay diferencia aritmética entre los cuatro tratamientos estudiados Tabla 14.

Tabla 14

Raíces dañadas por otras causas de los cuatros tratamientos de estudios

| Tratamientos | Peso raíces dañadas por otras causas (g) | |
|---------------------------|--|---|
| <i>Paecilomyces</i> 100 g | 14,44 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 200 g | 8,89 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 300 g | 12,78 | a |
| Testigo | 21,67 | a |

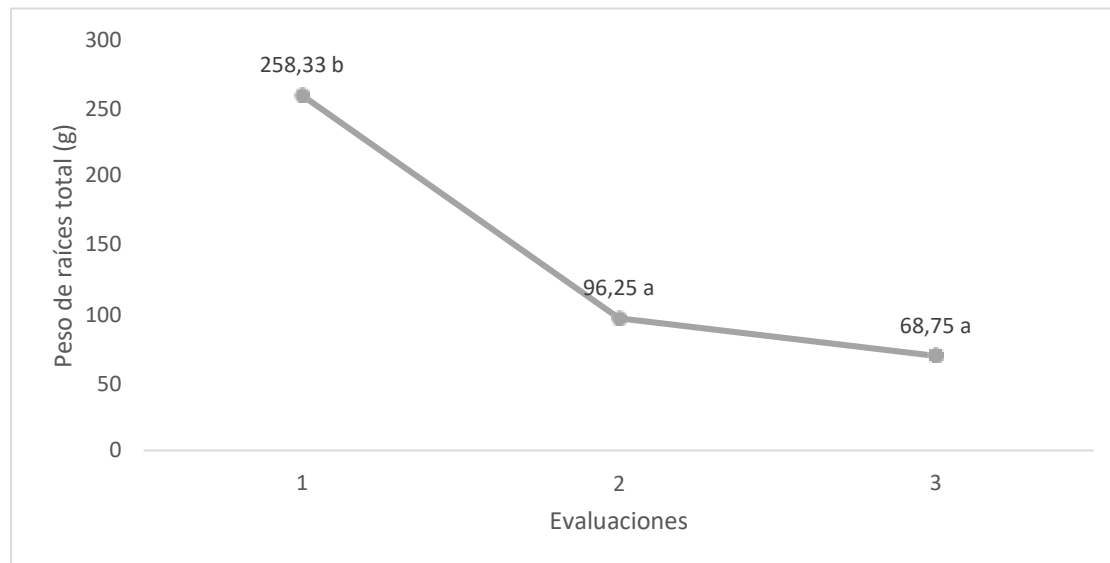
Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

Raíces totales

En el peso de raíces totales se evidenció que en la primera evaluación obtuvo 258 g de raíces totales a diferencia de la evaluación dos y tres. (Figura 4).

Figura 4

Pesos de raíces totales (g) de los cuatros tratamientos estudiados



Nota. Representación gráfica de evaluaciones a través del tiempo.

En este resultado no hubo diferencia estadística entre tratamientos; sin embargo, existe diferencia aritmética entre los cuatro tratamientos estudiados (Tabla 15). Por otro lado, el tratamiento con mayor cantidad de raíces fue *Paecilomyces* en dosis de 300 g (T3).

Tabla 15

Pesos de raíces totales de los cuatro tratamientos estudiados

| Tratamientos | Peso raíces dañadas por otras causas (g) | |
|---------------------------|--|---|
| <i>Paecilomyces</i> 100 g | 132,22 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 200 g | 143,89 | a |
| <i>Paecilomyces</i> 300 g | 145,56 | a |
| Testigo | 142,78 | a |

Nota. Resultados de los tratamientos aplicados en esta investigación.

4.2 Interpretación de los resultados

El nemátodo *Radopholus similis* es el nemátodo de mayor importancia en el cultivo de banano y en esta investigación se probaron dosis de *Paecilomyces lilacinus* con la finalidad de estudiar el efecto sobre el nemátodo barrenador.

Se estableció que las poblaciones de *Radopholus similis* fueron afectadas por el uso de *Paecilomyces* en baja dosis, provocando reducción no significativa en los individuos tratados con este hongo nematófago, estos resultados concuerdan con Saleh et al. (2022) y Prasad et al. (2020) quienes encontraron que, *P. lilacinus* provoca reducción en la población del nemátodo barrenador mejorando el sistema radical del cultivo, sin embargo, no reportaron significancia estadística en sus investigaciones.

Por otro lado, la población de *R. similis* se incrementó a través del tiempo, ocasionando pérdidas en el cultivo lo cual concuerda con Viveros et al. (2022) quienes publicaron que el nemátodo barrenador incrementa sus poblaciones a media que aumentaba el tiempo de evaluación.

Las poblaciones de los nematodos barrenador fueron afectadas por el hongo nematófago ocasionando una disminución en el número de individuos, además, que este hongo puede parasitar huevos de nemátodos esto concuerda con Kisaakye (2023), Kumar y Dara, (2021) quienes encontraron resultados similares mediante el uso de hongos biocontroladores de nemátodos reduciendo la población mediante el parasitismo de huevos.

Paecilomyces a través del tiempo reduce la población de los individuos de *R. similis* lo cual está relacionado con Nhung y Tan (2024) quienes en su investigación de extracto acuoso de hoja y tallo de *Eupatorium odoratum* contra *Radopholus similis* demostraron que este extracto redujo la eclosión de huevos al igual que en los juveniles del nemátodo barrenador ocasionó pérdidas en la movilidad.

En relación al nemátodo espiral *Helicotylenchus multicinctus* las poblaciones fueron afectadas por el hongo *Paecilomyces lilacinus* reduciendo las poblaciones de este nemátodo mediante el parasitismo de huevos dado que, el hongo coloniza los huevos causando decremento poblacional lo cual está relacionado con Crespo et al. (2023) quienes reportaron que, las *rizhobacterias* al igual que los hongos nematófago pueden parasitar huevos de diferentes géneros de nemátodos.

En este estudio no hubo presencia de *Meloidogyne* sp. ni *Pratylenchus* sp. esto se debe a que, las poblaciones de nemátodos es muy heterogenia concordando con Cruz (2021) quienes reportan que en su investigación evidenciaron que las poblaciones de nemátodos no son homogéneas y por consiguiente en algunos en sitios muestreadas no hay presencia de nemátodos.

Por otro lado, las poblaciones de *H. multicinctus* se relacionaron de forma negativa con la sanidad radical del cultivo de banano, provocando reducción en el índice poblacional del nemátodo espiral, así mismo Vargas et al. (2011) encontraron que, para el caso del nemátodo barrenador no hubo relación entre sanidad radical, pero si con *H. multicinctus* que fue inversamente proporcional es decir mientras un género crece el otro decrece sin embargo,

Castilla et al. (2017), Chávez y Araya (2009) no encontraron relación entre las poblaciones de nematodos y el peso de raíces.

El peso de raíces sanas se incrementó más del 160 % durante la ejecución de esta investigación, lo cual se verá reflejado en la producción dado que, por cada 10 g de incremento el banano puede producir entre una a tres manos adicionales mejorando la producción del cultivo de banano, estos resultados concuerdan con Vargas y Araya (2018) y Ríos et al. (2021) los que en sus investigaciones reportan que, el sistema radical del cultivo de banano es de vital importancia para el anclaje y nutrición del cultivo.

Las raíces son esenciales para el soporte de las plantas y es el órgano vegetativo que se encarga de la absorción de nutrientes para el normal desempeño del cultivo de banano y con el uso del hongo *Paecilomyces* se obtuvo una alta tasa o peso de raíces sanas concordando con Salvador et al. (2021), Castillo et al. (2022), Velepucha et al., (2022) quienes argumentan que, el uso de microorganismo beneficia el sistema radical de banano y con ello provee de tolerancia a la planta a cierto estrés biótico o abiótico.

Las raíces dañadas por nemátodos en el cultivo de banano abundan, el daño a esta parte de la planta afecta directamente el desarrollo y funciones de desarrollo, sin embargo, el daño de raíz provoca pérdidas en la unidad reproductiva del banano, aunque se pudo observar que las poblaciones de nemátodos Castillo (2022), Castilla et al. (2017), mencionan que los nemátodos causan deterioro en las raíces provocando pérdidas económicas en diversos cultivos.

Las raíces son afectadas por el nemátodo *R. similis* el provoca daños hasta el cilindro central afectando el normal desarrollo del cultivo reflejándose en decrementos en la producción por la poca o nula absorción de nutrientes y agua, además que, provoca el volcamiento de la planta y estos resultados fueron similares a los encontrados por Vargas et al. (2011), Prasad et al. (2020) y Holguín et al. (2023) los cuales sostienen que, el nemátodo barrenador es el más daño produce en el cultivo de banano, perjudicando la sanidad radical la cual está reflejada en la producción.

Las raíces dañadas prácticas agrícolas como el uso del trinche (Hércules) provoca heridas en las raíces y con el exceso de agua ocasiona oxidación y muerte de las raíces, afectando directamente el anclaje y producción en el cultivo de banano caso que concuerda con Girón et al. (2022) quienes mencionan que, las prácticas de laboreo del cultivo en ocasiones perjudican al sistema radical del banano.

El peso de raíces totales fue favorable para determinar el efecto del producto sobre los nemátodos, caso que no fue evidente dado que, las poblaciones de *R. similis* y *H. multicinctus* fueron creciendo a través del tiempo, sin embargo, el peso de raíces se incrementó aritméticamente ayudando a la unidad productiva con su normal desarrollo los cual es proporcional a lo registrado por Girón et al. (2022) y Holguín et al. (2023) quienes reportan que el peso así como la masa radical favorece el desarrollo circunstancial del banano.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación “Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera” se determinaron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 Conclusiones

- En el presente trabajo de investigación se puede concluir que el nemátodo *Radopholus similis* fue afectado en bajas dosis del microorganismo *paecilomyces lilacinus* en el cultivo de banano. Sin embargo, en la evaluación a través del tiempo el nematófago *R. similis* ocasionó pérdidas en el cultivo.
- El hongo benéfico *Paecilomyces lilacinus*, si hubo control con el nemátodo espiral *Helicotylenchus multicinctus* reduciendo la población de sus huevos que se encontraba en las raíces del cultivo de banano.
- El efecto del microorganismo *Paecilomyces lilacinus* sobre el sistema radicular del cultivo de banano si aumento el volumen de raíces, lo cual es muy importante para la planta el absorber agua y nutrientes para su mayor producción y el anclaje para tener estabilidad y no se valla a virar cuando tenga el racimo la planta.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios sobre el manejo de estos nemátodos en la plantación del cultivo de banano para bajar los índices de daños que afecta a la producción y a la economía.
- Se recomienda realizar dos veces al año análisis de nemátodo para bajar su población de estos parásitos.
- Se recomienda aplicar microorganismo benéfico para ayudar al suelo y las raíces y los organismos naturales que se encuentra en la rizósfera de la tierra.
- Explotar los beneficios que nos ofrece los microorganismos ya que ellos poseen nutrición y la protección del suelo y de sus raíces.

Bibliografía

Aguilar, C., Barrezueta, S., & Aguilar, E. (2022). Efecto de hongos entomopatógenos para el control de nemátodos en el sistema radicular del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 107-114.

Aguirre, O., Chávez, C., Giraud, A., & Araya, M. (2016). Frequencies and population densities of plant-parasitic nematodes on banana (*Musa AAA*) plantations in Ecuador from 2008 to 2014. *Agronomía colombiana*, 34(1), 61-73.

Anchundia, D., Cunuhay, J., & Morán, R. (2021). Análisis económico del banano orgánico y convencional en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Avances*, 23(4), 419-430.

Ankrom, K., Franco, A., Fonte, S., Gherardi, L., de Tomasel, C., Andriuzzi, W., & Wall, D. (2020). Ecto-and endoparasitic nematodes respond differently across sites to changes in precipitation. *Oecologia*, 193, 761-771.

Araya, M. (2003). Situación actual del manejo de nemátodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. *Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos*, 79-102.

Araya, M., Tapia, A., Mata, R., Serrano, E., & Acuña, O. (2014). Efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos, nemátodos fitoparásitos del suelo y la salud del sistema radical en el cultivo del banano (*Musa AAA*) sembrado en domos. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 93-105.

Avhad, S. (2023). Plant parasitic nematodes and their management in banana (*Musa sp.*): A review. *Research and Reviews in Agriculture Science Volume III*, 32.

Basak, S., Saxena, S., Narkar, R., & Mahangade, R. (2015). Banana pseudostem sap: A waste plant resource for making thermally stable cellulosic substrate. *Journal of Industrial Textiles*. <https://doi.org/10.1177/1528083715591580>.

Baazeem, A., Alorabi, M., Manikandan, P., Alotaibi, S. S., Almanea, A., Abdel-Hadi, A., & Kim, H. (2021). *Paecilomyces formosus* MD12, a biocontrol agent to treat *Meloidogyne incognita* on brinjal in green house. *Journal of Fungi*, 7(8), 632.

Barekye, A., Kashaija, I. N., Tushemereirwe, W. K., & Adipala, E. (2000). Comparison of damage levels caused by *Radopholus similis* and *Helicotylenchus multicinctus* on bananas in Uganda. *Annals of Applied Biology*, 137(3), 273-278.

Bogale, M., Baniya, A., & DiGennaro, P. (2020). Nematode identification techniques and recent advances. *Plants*, 9(10), 1260.

Borja, J. (2016). La producción de banano bajo el sistema de comercio justo: un análisis del caso ecuatoriano. *Siembra*, 3(1), 7-10.

Castilla, E., Millán, E., Mercado, J., & Millán, C. (2017). Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(3), 24-34.

Castillo, T. (2022). Alternativas biológicas y químicas para el manejo de Fitonematodos en cultivo de plátano AAB (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, Nicaragua. *Revista Universitaria del Caribe*, 28(01), 95-102.

Chabannes, M., Marc, G., Aksa, A., Galzi, S., Dufayard, J., & Caruna, M. (2021). Badnavirus y genomas del banano una larga asociación arroja luz sobre la filogenia y el origen de *Musa*. *Molecular Plant Pathology*. doi:10.1111/mpp.13019

Chagüezá, Y. (2011). *Alternativas biológicas para el control de nemátodos fitoparásitos en cultivo del plátano* (Doctoral dissertation).

Chávez, César., Solórzano, Francisco., & Araya, M. 2009. Relación entre nemátodos y la productividad del banano (*Musa* AAA) en Ecuador *Agronomía Mesoamericana*, vol. 20, núm. 2, 2009, pp. 351-360

Chávez, C., & Araya, M. (2010). Spatial-temporal distribution of plant-parasitic nematodes in banana (*Musa* AAA) plantations in Ecuador. *Journal of Applied Biosciences*, 33, 2057-2069.

Chávez, V., Garcías, A., Espinoza, E., & Zambrano, P. (2022). *Respuesta morfofisiológico de raíz del arroz (Oryza Sativa L.) variedad SFL en la fase de semillero a la aplicacion de cepas nativas de Trichoderma sp. y lixivido de vermicompost bovino*. Manabi. La Técnica: Revista de las Agrociencia.

Crespo, Á. M., Canchignia, H., & Fiallos, F. R. G. (2023). Nematodes and root system are affected by rhizobacterial consortium in the third generation of commercial banana plants. *Revista de agricultura neotropical*, 10(3), e7725-e7725.

Cruz, B. (2021). Abundancia, distribución de Radophulus similis y hongos antagonistas de nematodos y endófitos en plátano (Musa sp) (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Daniells, J., & Janssens, S. B. (2020). Identifying and classifying banana cultivars. In *Achieving sustainable cultivation of bananas* (pp. 59-80). Burleigh Dodds Science Publishing.

Daramola, F., Orisajo, S., Malan, A., & Marais, M. (2020). Molecular characterization of *Helicotylenchus multincinctus* and *H. dihystra* (Tylenchida: Hoplolaimidae) from Theobroma cacao in Nigeria. *Zootaxa*, 4778(2), 343-356.

Dos Santos, M., Furlanetto, C., Almeida, M., Carneiro, M., Mota, F., Gomes, A., & Carneiro, R. (2012). Biometrical, biological, biochemical and molecular characteristics of *Meloidogyne incognita* isolates and related species. *European Journal of Plant Pathology*, 134, 671-684.

Eisenback, J., & Triantaphyllou, H. (2020). Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races. In *Manual of agricultural nematology* (pp. 191-274). CRC Press.

Ernawiati, E., Pratami, G., Setyaningrum, E. & Ulhaq, S. (2021). Caracterización de la estructura morfológica de la flor de cultivares variables de pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). En *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1751, No. 1, p. 012046). Publicación PIO.

Fernándezn, G., Cerna, L., Chico, & J. (2016). Eficacia de *Paecilomyces lilacinus* en el control de *Meloidogyne incognita* que ataca al cultivo de *Capsicum annuum*, “pimiento piquillo” Fitosanidad, vol. 20, núm. 3, pp. 109-119

Fonseca, L., Garavello, M., Baruque, J., Kohan, L., Oliveira-Duarte, L., Fernandes, P., & Fangueiro, R. (2022). Banana Pseudostem Fibers (*Musa* sp.—cultivar AAB Prata): Physicochemical Characteristics. *Materials Circular Economy*, 4(1), 21.

García, H., Pedraza, A., Pineda, M., Casanova, M., Yzquierdo, G., & Bracho, A. (2021). Poblaciones de fitonemátodos asociados al vigor de plantas de plátano. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 163-177.

García-Velasco, R., Portal-González, N., Santos-Bermúdez, R., Yanes-Paz, E., Lorenzo-Feijoo, J. C., & Companioni-González, B. (2020). Método rápido aplicado en evaluación previa de resistencia del banano a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(3), 384-397.

Girón, Y., Guerrero, J., & Álava, A. (2022). Evaluación de Estimulantes Radiculares en el Cultivo de Banano (*Musa x Paradisiaca*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 148-157.

González, H., González, A., Pineda, M., Casanova, M., Rodríguez, G., & Soto, A. (2021). Poblaciones de fitonemátodos asociados al vigor de plantas de plátano. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (1), 163–177. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.39697>.

Golden, A. (1956). Taxonomy of the spiral nematodes (*Rotylenchus* and *Helicotylenchus*), and the developmental stages and host-parasite relationships of *R. buxophilus*, n. sp., attacking boxwood. *Bulletin of the Maryland Agricultural Experiment Station*, (A-85).

Guzmán, O., Zamorano, C., Leguizamon, J., Castro, B., & López, H. (2023). Effect of *Radopholus similis*, *Pratylenchus araucensis*, *Meloidogyne* spp. and their interaction on *Musa* AAB ‘Dominico Hartón’seedlings. *Journal of Nematology*, 55(1).

Herrera, I. (2017). *Desinfestación de suelo para el control de Nacobbus aberrans (Nematoda: Pratylenchidae) mediante el uso de enmiendas orgánicas y reguladores biológicos* (Master's thesis).

Holguín, C., Padilla, F., Quintana, D., Martínez, H., Moreira, Á., & Intriago, E. (2023). Efecto de bioformulados bacterianos como controladores de *Radopholus similis* y potenciadores del desarrollo de plántulas de banano (*Musa acuminata*) cultivar Williams. *Ciencia y Tecnología*, 16(2), 9-16.

Inta, W., Traiperm, P., Ruchisansakun, S., Janssens, S. B., Viboonjun, U., & Swangpol, S. C. (2023). Evolution and Classification of Musaceae Based on Male Floral Morphology. *Plants*, 12(8), 1602.

Jaramillo, J., Vintimilla, M., Rubio, D., Soto, G., Tobar, M., Salas, E., & Araya, M. (2019). Efecto de la rotación de nematicida en el control de nemátodos y la producción de banano (*Musa* AAA cv. Williams). *Agronomía colombiana*, 37(2), Colombia. DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.79099>.

Karakaş, M. (2007). Life cycle and mating behavior of *Helicotylenchus multicinctus* (Nematoda: Hoplolaimidae) on excised *Musa cavendishii* roots. *Biologia*, 62(3), 320-322.

Kasapoğlu, E. B., Yoraz, G., & Elekçioğlu, İ. H. (2015). Investigation on population dynamics of important plant parasitic nematodes (*Helicotylenchus multicinctus*, *H. dihystra* and *Meloidogyne* spp.) (Nemata) in banana greenhouses grown in Bozyazı (Mersin). *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 39(2), 199-207.

Kisaakye, J. (2023). *Microbios antagonistas para el manejo de Cosmopolites sordidus y Radopholus similis en bananos de África Oriental* (Tesis doctoral, Universidad del Noroeste (Sudáfrica)).

Kumar, K. K., & Dara, S. K. (2021). Fungal and bacterial endophytes as microbial control agents for plant-parasitic nematodes. *International journal of environmental research and public health*, 18(8), 4269.

Lara, S., Núñez, Á., López, D., & Carrión, G. (2016). Nemátodos fitoparásitos asociados a raíces de plátano (*Musa acuminata* AA) en el centro de Veracruz, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 34(1), 116-130.

Lassalle, E. (2022). Evaluación del híbrido de banano FHIA-02, *Musa* AAAA Mona Lisa, en respuesta a nemátodos fitoparasíticos en Puerto Rico (Doctoral dissertation).

Li, X., Yu, S., Cheng, Z., Chang, X., Yun, Y., Jiang, M., & Wen, X. (2023). Origen y evolución del genoma triploide del banano cultivado. doi:10.1038/s41588-023-01589-3.

Londoño, J., Uribe, M., Buitrago, M., Cortés, A., & Muñoz, J. (2023). Molecular Identification and Phylogenetic Diversity of Native Entomopathogenic Nematodes, and Their Bacterial Endosymbionts, Isolated from Banana and Plantain Crops in Western Colombia. *Agronomy*, 13(5), 1373.

López, H., Soilán, L., Caballero, G., Grabowski, C., & Enciso, G. 2021. Manual de nematología agrícola. Asunción: Grupo Editorial Atlas. ISBN: 978-99925-273-6-8.

Lumowa, S., Sunaryo, W., Reflinur, R., Turista, D., Nasution, R., Anwar, Y., & Kurniawati, Z. L. (2022). The diversity of banana cultivars in East Kalimantan based on morphological characteristic. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, 7(02), 189-196.

Madail, R., Pio, L., Rezende, R., & Pasqual, M. (2022). Banana leaf anatomy characteristics related to ploidy levels. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 44.

Maggenti, A. R. (2020). General nematode morphology. In *Manual of agricultural nematology* (pp. 3-46). CRC Press.

Martínez, G., & Rey, C. 2021. Bananos (*Musa* AAA): Importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 32, núm. 3, pp. 1034-1046.

Mata, D., Suatunce, J., & Poveda, R. (2021). Análisis económico del banano orgánico y convencional en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Avances*, vol. 23, núm. 4, pp. 419-430.

Monteiro, J., Santos, M., Santos, J., Cares, J., Marchão, R., Amorim, E., & Costa, D. (2020). Identification of plant parasitic nematodes in triploid and tetraploid bananas in Brazil. *Revista Caatinga*, 33, 865-877.

Moreno, A., Huertas, V., Diáñez, F., Sánchezsinos, B., & Santos, M. (2020). *Paecilomyces* and its importance in the biological control of agricultural pests and diseases. *Plants*, 9(12), 1746.

McSorley, R., & Parrado, J. (1983). The spiral nematode, *Helicotylenchus multicinctus*, on bananas in Florida and its control. In Proceedings of the Florida State Horticultural Society (Vol. 96, pp. 201-206).

Nadal, R., Manzo, G., Orozco, J., Orozco, M., & Guzmán, S. (2009). Diversidad genética de bananos y plátanos (*Musa* spp.) determinada mediante marcadores RAPD. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(1), 01-07. Recuperado en 03 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001&lng=es&tlng=es.

Nhung, T., & Tan. L. (2024). Assessment of antioxidant potential and nematicidal efficacy against *Radopholus similis* infestation in Cavendish banana plants using aqueous extract from *Eupatorium odoratum* Linn: An in vitro and in vivo study.

Nyang'au, D., Atandi, J., Cortada, L., Nchore, S., Mwangi, M. & Coyne, D. (2022). Diversity of nematodes on banana (*Musa* spp.) in Kenya linked to altitude and with a focus on the pathogenicity of *Pratylenchus goodeyi*. *Nematology*, 24 (2), 137-147.

Özarslandan, A., Dinçer, D., & Mustafa, Ü. (2020). Nematode damage and management in banana in Turkey. *Turkish Journal of Entomology*, 44(1), 3-12.

Prabhu, S., Kumar, S., Subramanian, S., & Kumar, P. S. (2008). Mass production and commercial formulation of *Paecilomyces lilacinus*. *Indian Journal of Nematology*, 38(2), 131-133.

Prasad, B., Subramanyam, B., Lakshmipathi, R., Ansari, R., Rizvi, R., Sumbul, A., ... & Rachmi, C. M. (2020). Utilization of beneficial microorganisms in sustainable control of

phytonematodes. Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges, 317-337.

Quénéhervé, P., Chabrier, C., Auwerkerken, A., Topart, P., Martiny, B., & Marie-Luce, S. (2006). Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop protection*, 25(8), 860-867.

Rahadiantoro, L., & Hapsari, L. (2022). Morphological Characterization and Seed Germination Study of Wild Banana *Musa acuminata* var. *flava* (Ridl.) Nasution. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. Volume 07, Issue 01: jtbb66645 DOI: 10.22146/jtbb.66645.

Ríos, E., Guerrero, J., & Batista, R. (2021). Drench: evaluación de aplicaciones mensuales de soluciones nutritivas en banano (*Musa X paradisiaca* L.) y sus efectos en la producción y calidad de fruto. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 141-152.

Sarah, J., & Fallas, G. (1996). Biological, biochemical, and molecular diversity of *Radopholus similis*. Proceedings of New Frontiers in Resistance Breeding for Nematode, Fusarium and Sigatoka (eds. EA Frison, JP Horry and D. De Waele). INIBAP, Montpellier, France, 50-57.

Saúco, V., & Robinson, J. (2013). Fisiología, clima y producción de banano physiology, climate and production of bananas. In *Congreso Internacional de bananicultura* (Vol. 20, pp. 43-57).

Salvador, M., Ríos, J., Villegas, P., & Pérez, F. (2021). uso de un enraizante en la propagación vegetativa del plátano (*Musa paradisiaca* L.) clon Harton en condiciones de cámara térmica. *Folia Amazónica*, 30(1), 27-34.

Saleh, H., Ayyash, L., & Shafeeq, F. (2023). Efficiency of Isolates of the Fungus, *Paecilomyces lilacinus* to Control Disease Root-Knot Nematode, *Meloidogyne javanica* on Eggplant. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1252, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.

Saleh, A., Altaş, A., Evlice, E., Özer, G., Imren, M., & Dababat, A. (2022). The efficacy of fosthiazate, fluopyram, and paecilomyces lilacinus against field population of globodera rostochiensis. *Nematropica*, 52(1).

Senthilkumar, M., Anandham, R., & Krishnamoorthy, R. (2020). *Paecilomyces*. In *Beneficial Microbes in Agro-Ecology* (pp. 793-808). Academic Press.

Sikora, R., Coyne, D., & Quénéhervé, P. (2018). Nematode parasites of bananas and plantains. In *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 617-657). Wallingford UK: CAB International.

Shokoohi, E., Marais, M., Mashela, P. W., & Divsalar, N. (2021). Morphological and molecular variations within *Helicotylenchus vulgaris*. *Biologia*, 76, 549-563.

Toro-Trujillo, A., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M., & Ibáñez-Castillo, L. (2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 105-122.

Uribe, G., Bert, W., Vierstraete, A., de la Pena, E., Moens, M., & Decraemer, W. (2010). Burrowing nematodes from Colombia and their relationship with *Radopholus similis* populations, *R. arabocoffeae* and *R. duriophilus*. *Nematology*, 12(4), 619-629.

Valencia, R., Guzmán, Ó., Villegas, B., & Castaño, J. (2014). Manejo integrado de nemátodos fitoparásitos en almácigos de plátano Dominic Hartón (*Musa AAB simmonds*). *Luna Azul*, (39), 165-185.

Vargas, M., Elizondo, E., & Calvo, A. (2011). Relación entre el contenido de nutrientes en suelo y raíces de banano (*Musa AAA*) con el peso de raíces y número de nemátodos. *Fitosanidad*, 15(3), 163-177.

Vargas, R., Wang, A., Obregón, M., & Araya, M. (2015). Efecto de *Trichoderma* spp., *Paecilomyces lilacinus* y la inyección de nematicida en el pseudotallo en el combate de *Radopholus similis* y la producción de banano. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 61-76.

Vargas, R., & Araya, M. (2018). Contenido de raíces en plantaciones comerciales de banano muestreadas en el intermedio madre hijo y frente del hijo de sucesión. *Corbana* 44 (64): 97-124. 2018.

Viera, W, Tello, CM, Martínez, A, Navia, D, Medina, L, Delgado, A, & Jackson, T. (2020). Control biológico: Una herramienta para la agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en el Ecuador. *Revista de la Biosfera Selva Andina*, 8 (2), 128-149.

Viveros, Y., Guzman, A., & Villegas, B. (2022). Efecto de *Radopholus similis* en el crecimiento de genotipos de musáceas de importancia económica. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural*, 26(2).

Were, E., Viljoen, A., & Rasche, F. (2023). Back to the roots: understanding banana below-ground interactions is crucial for effective management of Fusarium wilt. *Plant Pathology*, 72(1), 19-38.

Weischer, B. & Brown, DJ (2000). *Introducción a los nemátodos: nematología general: libro de texto para estudiantes* (núm. 1). Editores de Pensoft.

Yeates, G., & Bongers, T. (1999). Nematode diversity in agroecosystems. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 113-135). Elsevier.

Yigezu, G. (2021). Biology, taxonomy, and management of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in sweet potato. *Advances in Agriculture*, 1-13.

Anexos

Anexo 1. Correlación de Pearson de los tratamientos estudiado. UNEMI. Ecuador, 2024.

| Estadísticos descriptivos | | | |
|------------------------------------|--------------|-----------------------------|----------|
| | Media | Desv. Desviación | N |
| Raíces sanas | 101,8056 | 70,13408 | 36 |
| Raíces con daños nematodos | 24,8611 | 37,74891 | 36 |
| Raíces dañadas por otras causas | 14,4444 | 20,20530 | 36 |
| Raíces totales | 141,1111 | 96,96915 | 36 |
| %de raíces Sanas | 75,3503 | 18,72431 | 36 |
| <i>Radopholus similis</i> | 6916,6667 | 8098,94173 | 36 |
| <i>Helicotylenchus</i> | 14430,5556 | 11119,57911 | 36 |

Anexo 2. Raíces sanas de los tratamientos estudiados UNEMI. Ecuador, 2024.

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| Raices sanas | 36 | 0,69 | 0,51 | 48,26 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 119046,53 | 13 | 9157,43 | 3,79 | 0,0029 |
| Tiempo | 112051,39 | 2 | 56025,69 | 23,21 | <0,0001 |
| Trata | 1229,86 | 3 | 409,95 | 0,17 | 0,9156 |
| rept | 72,22 | 2 | 36,11 | 0,01 | 0,9852 |
| Tiempo*Trata | 5693,06 | 6 | 948,84 | 0,39 | 0,8755 |
| Error | 53111,11 | 22 | 2414,14 | | |
| Total | 172157,64 | 35 | | | |

Anexo 3. Raíces dañadas por nemátodos de los tratamientos estudiados UNEMI.Ecuador,2024.

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|------------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| Raíces nemátodos | 36 | 0,58 | 0,34 | 123,38 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 29175,69 | 13 | 2244,28 | 2,39 | 0,0349 |
| Tiempo | 14843,06 | 2 | 7421,53 | 7,89 | 0,0026 |
| Trata | 5818,75 | 3 | 1939,58 | 2,06 | 0,1346 |
| rept | 3084,72 | 2 | 1542,36 | 1,64 | 0,2169 |
| Tiempo*Trata | 5429,17 | 6 | 904,86 | 0,96 | 0,4732 |
| Error | 20698,61 | 22 | 940,85 | | |
| Total | 49874,31 | 35 | | | |

Anexo 4. Raíces dañadas por otras causas de los cuatros tratamientos estudiados UNEMI. Ecuador, 2024.

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| Raíces enfermas | 36 | 0,37 | 0,00 | 140,50 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 5227,78 | 13 | 402,14 | 0,98 | 0,5019 |
| Tiempo | 2334,72 | 2 | 1167,36 | 2,83 | 0,0803 |
| Trata | 772,22 | 3 | 257,41 | 0,62 | 0,6065 |
| rept | 1088,89 | 2 | 544,44 | 1,32 | 0,2870 |
| Tiempo*Trata | 1031,94 | 6 | 171,99 | 0,42 | 0,8593 |
| Error | 9061,11 | 22 | 411,87 | | |
| Total | 14288,89 | 35 | | | |

Anexo 5. Raíces totales de los cuatros tratamientos estudiado UNEMI. Ecuador, 2024.

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| Raíces totales | 36 | 0,81 | 0,70 | 37,80 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 266498,61 | 13 | 20499,89 | 7,20 | <0,0001 |
| Tiempo | 251876,39 | 2 | 125938,19 | 44,25 | <0,0001 |
| Trata | 983,33 | 3 | 327,78 | 0,12 | 0,9503 |
| rept | 1926,39 | 2 | 963,19 | 0,34 | 0,7165 |
| Tiempo*Trata | 11712,50 | 6 | 1952,08 | 0,69 | 0,6629 |
| Error | 62606,94 | 22 | 2845,77 | | |
| Total | 329105,56 | 35 | | | |

Anexo 6. Poblaciones de R similis de los cuatros tratamientos estudiados UNEMI. Ecuador, 2024.

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| R. similis | 36 | 0,47 | 0,16 | 107,59 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|---------------|-----------|--------------|----------|----------------|
| Modelo | 1077375000,00 | 13 | 82875000,00 | 1,50 | 0,1957 |
| Tiempo | 759375000,00 | 2 | 379687500,00 | 6,86 | 0,0048 |
| Trata | 42250000,00 | 3 | 14083333,33 | 0,25 | 0,8526 |
| Tiempo*Trata | 257958333,33 | 6 | 42993055,56 | 0,78 | 0,5971 |
| Error | 1218375000,00 | 22 | 55380681,82 | | |
| Total | 2295750000,00 | 35 | | | |

Anexo 7. Poblaciones de *Helicotylenchus multicinctus* de los cuatros tratamientos estudiados

UNEMI. Ecuador, 2024.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| <i>Helicotylenchus</i> | 36 | 0,38 | 0,02 | 76,44 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------------|----|--------------|------|---------|
| Modelo | 1650923611,11 | 13 | 126994123,93 | 1,04 | 0,4490 |
| Tiempo | 358680555,56 | 2 | 179340277,78 | 1,47 | 0,2508 |
| Trata | 272076388,89 | 3 | 90692129,63 | 0,75 | 0,5365 |
| rept | 173347222,22 | 2 | 86673611,11 | 0,71 | 0,5014 |
| Tiempo*Trata | 846819444,44 | 6 | 141136574,07 | 1,16 | 0,3625 |
| Error | 2676652777,78 | 22 | 121666035,35 | | |
| Total | 4327576388,89 | 35 | | | |

Anexo 8. Producto Nematex a base del microorganismo *Paecilomyces lilacinus*.



Anexo 9. Aplicación del microorganismo *Paecilomyces lilacinus* en los cuatros tratamientos del ensayo con diferentes dosis.



Anexo 10. Muestreo realizado frente al hijo para extraer la muestra de suelo de raíces para el análisis pertinente.



Anexo 11. Muestra colectadas e identificadas para envío a laboratorio y ser analizadas.



Anexo 12. Los cuatros tratamientos de estudio en la hacienda bananera Karen Lynn



Anexo 13. Culminación de nuestro trabajo de investigación Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador de nemátodos en la industria bananera, en la hacienda bananera KAREN LYNN, ubicado en el Cantón La Troncal, Provincia del Cañar.



UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

