UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE NEMATODOS EN EL CULTIVO DE BANANO, CANTÓN EL TRIUNFO, ECUADOR

AUTORA:

Diana Karina Mosquera Cadena

Directora

Ing. Dolores Mariela Carrera Maridueña, PhD.

Milagro, 2025

Derechos de Autor

Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Yo, **Diana Karina Mosquera Cadena,** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster 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, concedo 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. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo 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.

El autor declara 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 agosto del 2025

Firmado electrónicamente por:
DIANA KARINA
MOSQUERA CADENA
Validar únicamente con FirmaEC

Dra. Diana Karina Mosquera Cadena.
C.I.: 1205488750

Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Dolores Mariela Carrera Maridueña**, en mi calidad de directora del trabajo de titulación, elaborado por **Diana Karina Mosquera Cadena**, cuyo tema es **Aplicación de biotecnología para el control de nematodos en el cultivo de banano, cantón El Triunfo, Ecuador**, 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 **Magíster 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 agosto del 2025

Dolores Mariela Carrera Mariduena
Time Stamping Security Data

_____

Ing. Dolores Mariela Carrera Maridueña, PhD.
C.I.: 0921110359

UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
ACTA DE SUSTENTACIÓN
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los cinco días del mes de agosto del dos mil veinticinco, siendo las 11:00 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, DR. MOSQUERA CADENA DIANA KARINA, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE NEMATODOS EN EL CULTIVO DE BANANO, CANTÓN EL TRIUNFO, ECUADOR**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY, Presidente(a), Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA en calidad de Vocal; y, Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo la calificación de: **97.60** equivalente a: **EXCELENTE**.

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 12:00 horas.

DIEGO GEOVANNY BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL

MARIA FERNANDA GARCES MONCAYO

Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA
VOCAL

DELIA DOLORES NORIEGA VERDUGO

Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DIANA KARINA MOSQUERA CADENA

DR. MOSQUERA CADENA DIANA KARINA
MAGISTER

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.

Mi familia por haber sido mi soporte a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, contribuyendo a mi formación tanto profesional y como ser humano. La presente investigación está también dedicada a la comunidad académica y científica que se esfuerza en encontrar repuesta a sus incógnitas.

¡Que nadie se quede afuera, se los dedico a todos!

Agradecimientos

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

Resumen

El presente trabajo de informe de investigación analiza la aplicación de biotecnología para el control de nematodos en el cultivo de banano en el cantón El Triunfo, Ecuador, centrándose en el uso del hongo *Paecilomyces lilacinus* como agente biocontrolador del nematodo *Radopholus similis*. Se evaluaron variables de crecimiento como diámetro del pseudotallo, altura de la planta y longitud de raíces, determinando la efectividad del biofertilizante en diferentes dosis. El diseño estadístico utilizado fue de Bloques Completamente al Alzar (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, utilizando el ANAVA y la prueba de Tukey al 5% de significancia. Los tratamientos fueron T1 (5 g/10L de agua), T2 (7.5 g/10L de agua), T3 (10 g/10L de agua) del hongo antagonista *P. lilacinus*, y T4 como testigo sin aplicar. Los resultados demostraron que el tratamiento con *P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua obtuvo los valores más altos en todas las variables de desarrollo, favoreciendo el crecimiento del cultivo de banano. Además, el tratamiento con 7,5 g/10L y 10 g/10L de agua logró reducir significativamente la población de *R. similis*, evidenciando su eficacia como método de control biológico. Las líneas de regresión en función al desarrollo vegetativo del cultivo de banano, se observó que el tratamiento 3 *P. lilacinus* (10 g/10 L de agua) obtuvo el mayor desarrollo vegetativo en cuanto a la variable altura y diámetro con un crecimiento polinomial. En base a los resultados, se evidencia el potencial del uso de biofertilizantes en el manejo sostenible de plagas agrícolas, promoviendo alternativas ecológicas frente a los métodos convencionales de control.

Palabras Clave: *Banano, Nematodos, Paecilomyces lilacinus, pseudotallo, Radopholus similis y raíces.*

Abstract

This research report analyzes the application of biotechnology for nematode control in banana cultivation in the El Triunfo canton of Ecuador, focusing on the use of the fungus *Paecilomyces lilacinus* as a biocontrol agent against the nematode *Radopholus similis*. Growth variables such as pseudostem diameter, plant height, and root length were evaluated to determine the effectiveness of the biofertilizer at different dosage levels. The experimental design followed a Completely Randomized Block Design (CRBD) with four treatments and five replications. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level. The treatments included T1 (5 g/10 L of water), T2 (7.5 g/10 L of water), and T3 (10 g/10 L of water) of the antagonistic fungus *P. lilacinus*, and T4 as the untreated control. Results showed that the treatment with *P. lilacinus* at 10 g/10 L of water achieved the highest values across all growth variables, significantly enhancing banana plant development. Furthermore, treatments with 7.5 g/10 L and 10 g/10 L of water effectively reduced the population of *R. similis*, demonstrating their efficacy as biological control methods. Regression analysis based on vegetative growth revealed that Treatment 3 (*P. lilacinus*, 10 g/10 L) produced the greatest increase in both plant height and pseudostem diameter, showing a polynomial growth pattern. Based on these findings, the potential of biofertilizers as a sustainable pest management tool is evident, offering ecological alternatives to conventional control methods.

Keywords: *Banana, Nematodes, Paecilomyces lilacinus, pseudostem, Radopholus similis, roots.*

Lista de Figuras

Figura 1. *Aumento de la altura de las plantas expresado en centímetros* 32

Figura 2. *Aumento del diámetro de las plantas expresado en centímetros* 34

Figura 3. *Resultados del análisis nematológico al inicio de la investigación* 52

Figura 4. *Resultados del análisis nematológico al finalizar de la investigación* 53

Lista de Tablas

Tabla 1. *Taxonomía del banano* 10

Tabla 2. *Clasificación taxonómica del nematodo Radopholus similis* 17

Tabla 3. *Clasificación taxonómica del hongo P. lilacinus* 21

Tabla 4. *Andeva del experimento* 26

Tabla 5. *Diámetro de la planta a los 0, 15, 30 y 45 días* 27

Tabla 6. *Altura de la planta a los 0, 15, 30 y 45 días* 28

Tabla 7. *Longitud de la raíz de la planta a los 45 días* 29

Tabla 8. *Resultados el análisis de nematodos en muestra inicial* 30

Tabla 9. *Resultado del análisis de los tratamientos a los 45 días de la aplicación de los tratamientos* 30

Tabla 10. *Aumento de la altura de las plantas expresado en centímetros* 32

Tabla 11. *Aumento del diámetro de las plantas expresado en centímetros* 33

Índice / Sumario

Derechos de
Autor……ii
Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación iii
Certificación de Defensa ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Dedicatoria..... v
Agradecimientos vi
Resumen vii
Lista de Figuras 1
Lista de Tablas..... 2
Índice / Sumario 3
1. Introducción..... 1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación..... 4
1.1 Planteamiento del problema 4
1.2 Delimitación del problema..... 4
1.3 Formulación del problema..... 5
1.4 Preguntas de investigación 5
1.5 Objetivos..... 5
1.5.1. Objetivo general..... 5
1.5.2. Objetivos específicos..... 5
1.6 Hipótesis..... 6
1.7 Justificación 6
1.8 Declaración de las variables (Operacionalización)..... 7
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial..... 8
2.1 Antecedentes..... 8
2.2 Contenido teórico que fundamenta la Investigación 9
2.2.1 Producción del cultivo de banano 9
2.2.2. Taxonomía del banano 10

2.2.3. Descripción botánica del banano 10
2.2.4. Sistema radicular 11
2.2.5. Cormo 11
2.2.6. Pseudotallo 11
2.2.7. Hojas 12
2.2.8. Inflorescencia 12
2.2.9. Fruto 13
2.3 Factores ambientales del cultivo de banano 13
2.3.1. Latitud y altitud 13
2.3.2. Temperatura 13
2.3.3. Precipitación 13
2.4 Problemas fitosanitarios en el cultivo de banano 14
2.4.1. Nematodos en el cultivo de banano 14
2.4.2. Radopholus similis (Nematodo lesionador de raíces del banano) 15
2.4.3. Hongo biocontrolador: Paecilomyces lilacinus 18
2.4.4. Muestreo de las raíces 21
2.4.5. Bioplaguicidas 22
2.4.6. Medidas de control 22
2.4.7. Aplicación Paecilomyces lilacinus 22
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico 23
3.1 Tipo y diseño de investigación 23
3.2 La población y la muestra 23
3.2.1. Característica de la población 23
3.2.2. Delimitación de la población 23
3.2.3. Tipo de muestra 23
3.2.4. Tamaño de la muestra 23
3.2.5. Proceso de selección de la muestra 24

3.3 Los métodos y las técnicas 24
3.3.1. Fase 1 (Día 1) 24
3.3.2. Fase 2 (Día 15) 24
3.3.3. Fase 3 (Día 30) 24
3.3.4. Fase 3 (Día 45) 24
3.4 Variables de estudio 24
3.4.1. Altura de la planta 24
3.4.2. Cantidad de nematodos por raíces 25
3.4.3. Diámetro de la planta 25
3.4.4. Longitud de la raíz 25
3.4.5. Eficacia de los tratamientos 25
3.5 Diseño de investigación 25
3.6 Procesamiento estadístico de la información 25
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados 27
4.1 Efecto de los *Paecilomyces lilacinus* en diferentes dosis para el control de *Radopholus similis* en el cultivo de banano 27
4.2 Determinación del mejor tratamiento en función de la cantidad de nematodos por raíz en el cultivo de banano 30
4.3 Analizar el efecto de los tratamientos mediante líneas de regresión en función al desarrollo vegetativo del cultivo de banano 32
4.3.1. Líneas de regresión en función de a altura de la planta 32
4.3.2 Líneas de regresión en función de al diámetro de la planta 33
CAPÍTULO V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones 35
5.1 Discusión 35
5.2 Conclusiones 36
5.3 Recomendaciones 37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38
ANEXOS 44

1. Introducción

Ecuador es el mayor exportador de banano a nivel mundial, desde el año 2010 hasta la actualidad tiene como principales países de destinos de exportación de banano a Rusia, Estados Unidos, China, Turquía y Alemania, siendo Rusia el país con mayor participación en comparación a otros países, llegando aportar una economía de $ 3'536.477 dólares al Ecuador durante el período 2010-2020 (Miranda et al., 2022).

La producción de Musa AAA (banano) a nivel mundial está considerada como una de las fuentes más importantes de ingresos y empleo en todos los países donde se cultiva con fines comerciales. Por otra parte, su fruta tiene un alto valor nutricional para la población. Estos factores lo convierten en un eslabón importante para la seguridad alimentaria, tanto para los países donde se cultiva como en los mercados internacionales (Lopéz et al., 2022).

El banano es la fruta fresca más exportada del mundo respecto a volumen. Ocupa el cuarto lugar de importancia a nivel mundial y el primero en frutas. Ecuador tiene un rendimiento promedio anual de producción por hectárea de 36.21 toneladas, la Región Costa está localizada como la principal zona de exportación de banano, las provincias con mayor superficie total cosechada son Los Ríos, Guayas y El Oro, las cuales suman el 84.9%. Los Ríos es la provincia más dedicada a este cultivo, con una producción de 43.23%; Guayas con el 27.06% y El Oro con 23.48% de superficie cosechada (León, 2024).

El cultivo de banano actualmente sufre de problema fitosanitarios debido al ataque severo del nematodo barrenador *Radopholus similis*, el cual ha causado inconvenientes en la producción como son la mala calidad del fruto, los bajos rendimientos y problemas económicos para los agricultores de la zona. Es un nematodo fitoparásito que se encuentra en los cormos y raíces para alimentarse de ellos, y causa daños en el desarrollo de la planta, el cual genera pérdidas entre el 20% al 100% si no se realizan los respectivos controles (Acosta, 2021).

Para abastecer la demanda de banano a nivel mundial, los agricultores utilizan constantes dosis de fertilizantes para incrementar la producción y de pesticidas para controlar las plagas, entre ellas los nematodos fitoparásitos. Pero este manejo de altos insumos externos enfocado en un modelo de agricultura intensiva, repercute de manera negativa en el suelo, disminuyendo la actividad biológica. Por otra parte, muchos de estos patógenos han generado resistencia a los pesticidas (nematicidas, insecticidas y fungicidas). En este marco, fitonematodos y artrópodos, al no tener antagonistas, penetran las raíces de los bananos, formando galerías por donde ingresan otros patógenos (hongos, bacterias y virus) que afectan en corto plazo al desarrollo del sistema radicular (Lopéz et al., 2022)

Los nematodos fitopatógenos constituyen una amenaza considerable para la producción agrícola, ya que causan enfermedades en las plantas y generan pérdidas económicas a nivel mundial. Actualmente, la investigación se orienta hacia el desarrollo de compuestos de origen biológico como una alternativa sostenible y ecológica para su control. Los productos derivados de microorganismos actúan mediante diversos mecanismos que ayudan a reducir las poblaciones de juveniles infecciosos de nematodos. Sin embargo, aunque existen revisiones en la literatura sobre los microorganismos y sus metabolitos con propiedades nematicidas, aún se ha profundizado poco en las interacciones específicas entre hongos, bacterias y nematodos, así como en los compuestos que emergen de estas relaciones (Vera et al., 2024).

La biotecnología en cultivos de banano constituye una estrategia moderna y respetuosa con el medio ambiente para enfrentar los retos agrícolas actuales. Este método busca reducir los daños causados por nematodos fitopatógenos, como *R. similis*, que invaden las raíces de las plantas, comprometiendo su crecimiento y disminuyendo la productividad del cultivo. La alta infestación de *R. similis* en plantaciones bananeras ha llevado, en el pasado, a depender de nematicidas, considerando la única opción efectiva; sin embargo, estos productos presentan inconvenientes relacionados con su sostenibilidad y su impacto negativo en la microbiota del suelo afectando su fertilidad. Como alternativa biológica, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) han demostrado tener

potencial para reducir las poblaciones de nematodos a niveles no dañinos. Evaluando bioformulaciones bacterianas que afectan el control de *R. similis* favoreciendo el desarrollo de plántulas de banano, con el objetivo de ofrecer una opción más ecológica y sustentable (Macias et al., 2023)

Las amenazas patógenas y la deficiencia nutricional son los principales problemas que afectan al rendimiento y la productividad en los cultivos vegetales, aumentando la necesidad de aplicar nuevos agentes microbianos para resolver ambos obstáculos. Así, los hongos nematófagos (Nematophagous Fungi, NF) han sido investigados por su doble capacidad como controladores de nematodos y como promotores de crecimiento vegetal que aumentan la biodisponibilidad de nutrientes (Vera et al., 2023)

Variables como la altura, diámetro, longitud de la raíz y cantidad de nematodos por raíz son esenciales para evaluar la eficacia de los tratamientos biotecnológicos, como el uso de *Paecilomyces lilacinus*. La problemática radica en la alta incidencia de nematodos debido a prácticas agrícolas inadecuadas y condiciones ambientales favorables para su proliferación. El diseño teórico y metodológico de este estudio se basa en la evaluación experimental de diferentes dosis del agente biológico y el análisis estadístico mediante líneas de regresión para correlacionar los tratamientos con el desarrollo vegetativo del banano.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

El cultivo de banano es crucial para la economía local en el cantón El Triunfo, provincia de Guayas, Ecuador. Por desgracia, la producción se ve fuertemente afectada por la presencia del nematodo *Radopholus similis.* Este parásito de las raíces de las plantas de banano resulta en una disminución drástica de la capacidad de producción, que a veces conduce a la muerte de las plantas de banano. Aunque el efecto del bloqueo económico llega a ser lo suficientemente hondo, el proceso también amenaza la sostenibilidad general y la seguridad alimentaria. Los agricultores tradicionalmente han aplicado nematicidas químicos, lo cual puede traer consigo varios problemas importantes, como la contaminación del suelo y del agua, además de riesgos para la salud de los trabajadores y los consumidores. En un futuro más lejano, el uso persistente de nematicidas y plaguicidas puede provocar que los nematodos desarrollen resistencia, lo que reduciría su eficacia. Así, en este escenario, la biotecnología podría ser una alternativa novedosa y sostenible para controlar los nematodos en los cultivos de banano. Sin embargo, estos nuevos enfoques tecnológicos también deben evaluarse cuidadosamente para comprender mejor su efectividad y viabilidad en un contexto específico, como el del cantón.

1.2 Delimitación del problema

La implementación de biotecnologías para el control de nematodos en las plantaciones de banano representa un enfoque prometedor para abordar este problema agrícola de manera sostenible. Al comparar la efectividad y sostenibilidad de estas técnicas con los métodos convencionales, se podrá obtener una visión más clara sobre los beneficios a largo plazo de las biotecnologías. Esto incluye la observación de posibles incrementos en la producción y la reducción de pérdidas, así como la sostenibilidad del suelo mediante la mejora de su fertilidad y biodiversidad, identificando los desafíos que enfrentan los agricultores al adoptar estas nuevas tecnologías, como el costo, la capacitación necesaria y la resistencia al cambio. También es importante considerar los facilitadores, como el apoyo gubernamental, la formación técnica y las redes de colaboración entre productores.

1.3 Formulación del problema

La producción de banano es crucial, pero enfrenta grandes dificultades debido al nematodo *Radopholus similis,* que daña las raíces de las plantas. Los métodos tradicionales, como los agroquímicos, no solo son costosos y poco efectivos a largo plazo, sino que también perjudican el medio ambiente y la salud humana. La biotecnología surge como una alternativa prometedora y sostenible para controlar este parásito. No obstante, su adopción enfrenta desafíos como la falta de conocimiento entre los agricultores y la resistencia a abandonar prácticas tradicionales. Adicional ofrece soluciones innovadoras y eficientes, ayudando a los productores de banano a mejorar la sostenibilidad y competitividad de sus cultivos en la región.

1.4 Preguntas de investigación

¿Inhibe *Paecilomyces lilacinus* el crecimiento de *Radopholus similis* en el cultivo de banano?

Evaluar la capacidad de *P. lilacinus* para inhibir el crecimiento de *R. similis* no solo permitirá comprender mejor las dinámicas de este hongo como biocontrolador, sino que también contribuirá a mejorar la productividad y sostenibilidad de las plantaciones de banano en El Triunfo, donde la agricultura es una actividad económica clave.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el Efecto de la Biotecnología para el control de Nematodo (*Radopholus similis*) como alternativa sostenible de producción en plantación de banano, cantón El Triunfo, Ecuador

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los *Paecilomyces lilacinus* en diferentes dosis para el control de *Radopholus similis* y su efecto en el cultivo de banano.

Determinar el mejor tratamiento en función de la cantidad de nematodos por raíz en el cultivo de banano.

Analizar el efecto de los tratamientos mediante líneas de regresión en función al desarrollo vegetativo del cultivo de banano.

1.6 Hipótesis

Se espera que la aplicación de biotecnologías para el control del nematodo *Radopholus similis* en plantaciones de banano, resulte en un aumento significativo de hasta un 90% el desarrollo vegetativo del cultivo en comparación con métodos de control convencionales.

1.7 Justificación

El cultivo de banano es fundamental para la economía agrícola de Ecuador, especialmente en regiones como El Triunfo. Sin embargo, la presencia del nematodo *Radopholus similis* representa una amenaza significativa para la producción, ya que este parásito afecta gravemente el sistema radicular de las plantas de banano, reduciendo su vigor y productividad. El uso de biotecnología para el control de nematodos ofrece una alternativa sostenible y menos dañina en comparación con los nematicidas químicos tradicionales. En este contexto, el hongo *Paecilomyces lilacinus* ha demostrado ser un agente eficaz en el control biológico de nematodos debido a su capacidad parasítica. Evaluar su efecto en diferentes dosis es decisivo para optimizar su aplicación y maximizar su eficacia en el control de *R. similis.* Desde una perspectiva teórica, este estudio contribuye al conocimiento científico sobre el uso de agentes biológicos en la lucha contra los nematodos, un área que ha ganado interés en la comunidad científica debido a sus beneficios ambientales y de salud. Desde una perspectiva metodológica, la investigación proporcionará datos valiosos sobre la dosificación óptima de *P. lilacinus*, lo que permitirá desarrollar protocolos más efectivos y específicos para su uso en el campo. Desde una perspectiva educativa, este estudio servirá como una herramienta de aprendizaje para futuros biotecnólogos y agrónomos, destacando la importancia de la biotecnología en la agricultura sostenible. Desde una perspectiva práctica, los resultados de este estudio podrán ser implementados directamente en las plantaciones de banano de la región, mejorando la

productividad y sostenibilidad de este cultivo clave. El estudio propuesto tiene el potencial de demostrar la efectividad de *P. lilacinus* como un control biológico viable para *R. similis*, reduciendo la dependencia de nematicidas químicos y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. Además, proporcionará una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la biotecnología agrícola. La novedad científica de este estudio radica en la evaluación sistemática de diferentes dosis de *P. lilacinus* en condiciones de campo, lo que aún no se ha explorado a fondo en la literatura existente. Este enfoque permitirá obtener datos más precisos y aplicables para la práctica agrícola. El estudio es un proyecto de investigación mixto explicativo. Utiliza un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) y tiene un alcance explicativo, ya que busca tanto describir cómo explicar los efectos de diferentes dosis de *P. lilacinus* en el control de *R. similis.*

1.8 Declaración de las variables (Operacionalización)

Las variables evaluadas en este estudio son: Altura (cm), diámetro (cm), poblaciones de *Radopholus similis* (nematodos/100 g de raíces), longitud de las raíces (cm) y eficacia de los tratamientos se evaluaron en base al desarrollo de la planta en altura y diámetro. Estos datos fueron evaluados en el hijo y no en la planta madre.

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1 Antecedentes

El banano es una de las frutas más importantes a nivel mundial, tanto por su producción como por su alto volumen de exportación. Este cultivo representa una fuente significativa de alimento y sustento para millones de personas en diferentes países, lo que le otorga una importancia destacada en la economía global. Sin embargo, diversos factores bióticos pueden afectar el rendimiento del cultivo, siendo uno de los más relevantes la presencia de nematodos fitoparásitos, en particular *Radopholus similis* (Pita, 2023)

Radopholus similis es un nematodo migratorio endoparásito que se encuentra principalmente en las raíces y cormos del banano. Su actividad parasitaria reduce el sistema radicular de las plantas, afectando su capacidad para absorber agua y nutrientes, lo que interfiere directamente con su crecimiento y desarrollo. Esta reducción del sistema radicular puede ser tan severa que incluso conduce a la muerte de la planta, ocasionando pérdidas de rendimiento que pueden oscilar entre el 25% y el 100%. El control de este nematodo es, por lo tanto, crucial para mantener la productividad del cultivo de banano (Garzón, 2021).

Existen diversas estrategias de manejo para controlar la población de *R. similis* en el cultivo de banano. Tradicionalmente, se han utilizado métodos químicos, como nematicidas, que actúan directamente sobre los nematodos. Sin embargo, el uso de estos productos químicos presenta desafíos relacionados con la sostenibilidad y los efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. Por esta razón, se ha explorado el uso de alternativas biológicas como métodos de control más ecológicos y menos invasivos (Vélez y Álvarez, 2024).

Uno de los enfoques más prometedores es el uso de hongos entomopatógenos y nematofágicos, tales como *Paecilomyces lilacinus*, que ha mostrado potencial para controlar la población de nematodos en diversas especies de cultivos, incluido el banano. Estos hongos interactúan con los nematodos de distintas maneras, como la reducción de su densidad poblacional y la inhibición de su actividad parasitaria. La aplicación de *P. lilacinus* en el cultivo de banano se considera una alternativa viable para el control biológico de *R. similis*, ya que este

hongo se adapta bien a las condiciones del suelo y promueve el desarrollo saludable del sistema radicular de las plantas. Además de los métodos biológicos, el control de las malas hierbas y el manejo adecuado del suelo también juegan un papel importante en la reducción de la incidencia de nematodos. La competencia entre las malas hierbas y las plantas de banano puede disminuir la población de nematodos al reducir su hábitat y fuentes de alimento. Otra estrategia comúnmente utilizada es el tratamiento térmico de las raíces o cormos afectados, sumergiéndolos en agua caliente a temperaturas controladas para eliminar los nematodos sin dañar las plantas (Neval, 2022).

2.2 Contenido teórico que fundamenta la Investigación

2.2.1 Producción del cultivo de banano

El banano a nivel mundial asciende a 145 millones de toneladas al año. Los mayores productores son India, Uganda y China, y en Latinoamérica son en su orden Ecuador, Brasil y Colombia. La venta de banano ecuatoriano superó las expectativas durante el ejercicio económico del año 2017. La Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE) según sus estadísticas, indica que se exportaron 334.8 millones de cajas de 18.14 kilos, para un crecimiento de 21 millones de cajas, equivalente a un aumento del 6%. El pronóstico de exportación es 330 millones a lo que va del año, tomando en consideración embarques de los últimos años. El resultado se debe al buen desempeño de las exportaciones hacia la Unión Europea (Rodriguez J. , 2020).

El banano es considerado un producto principal del agro. El comercio internacional bananero presenta características propias, cuyos efectos cambian la estructura económico-social del país, se convierte en un medio de integración entre el sector exportador y la estructura socioeconómica nacional, creando un efecto multiplicador del desarrollo de las exportaciones. La estructura social resultante del desarrollo bananero ha mantenido una notable desigualdad en la distribución del ingreso y en los niveles de productividad, y presenta agudas deficiencias en la satisfacción de las necesidades sociales básicas. A partir de 1948 la actividad bananera ha experimentado permanentemente cambios de adaptación ante condiciones nuevas, ha sido el período de crecimiento de las exportaciones (Palomeque, 2016).

Las principales provincias productoras de banano en Ecuador son Guayas, El Oro y Los Ríos, que representan el 34%, 41% y 16% respectivamente, El Oro es la principal provincia donde se concentra la mayoría de los pequeños productores de banano del país, alrededor del 42% y los grandes productores se encuentran en las provincias de Los Ríos y Guayas (Acaro, 2021).

2.2.2. Taxonomía del banano

Según su categorización taxonómica, a continuación, se ofrece una descripción del cultivo de banano:

Tabla 1.

Taxonomía del banano

Reino	**Plantae**
Division	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musácea
Género	Musa
Especie	*M. acuminata AAA*
Nombre Científico	**Musa acuminata**

(Beltrán, 2024)

2.2.3. Descripción botánica del banano

La planta de banano es una especie de gran tamaño que posee tallos subterráneos conocidos como cormos o rizomas, de los cuales emergen las hojas. Estas vainas foliares que los envuelven forman el pseudotallo, en cuyo interior se desarrolla el eje floral. Por lo general, cada cormo da origen a un pseudotallo en su eje floral y a una o varias yemas que generan nuevos cormos, estableciendo así un patrón de crecimiento en todas las direcciones, denominado crecimiento radial. Estos cormos secundarios, también llamados hijuelos, producen a su vez pseudotallos de diferentes edades, los cuales florecen una vez que el pseudotallo original ha desaparecido (Álvarez, 2022).

2.2.4. Sistema radicular

Las raíces del banano están compuestas por raíces primarias, secundarias y terciarias, las cuales se facultan en absorber agua y nutrientes que se encargan de intercambiar sustancias que influyen en el crecimiento de la planta; además son responsables del anclaje y soporte de la planta para evitar volcamiento. El sistema radicular se encuentra en los primeros 15 y 20 cm, de la superficie del suelo. Estas presentan una coloración blanca, son tiernas cuando emergen, luego se endurecen y toman una coloración amarilla. El poder de penetración de las raíces es débil por lo que se debe relacionar con la textura y estructura del suelo donde se van a desarrollar (Guevara, 2022).

2.2.5. Cormo

El tallo principal de la planta presenta una estructura córnea, con forma irregular y asimétrica. En su superficie externa, se pueden distinguir entrenudos cortos, evidenciados por las cicatrices que dejan las hojas que crecieron a través de ellos. En su interior, el tallo se divide en dos zonas principales: el cilindro central, que actúa como núcleo, y la zona cortical, que tiene una tonalidad más clara. Estas áreas están separadas por una banda de haces vasculares dispuestos en orientación longitudinal. En la parte superior del cormo, atravesando la corteza, se encuentra el meristemo de crecimiento, encargado de la formación de nuevas hojas y del desarrollo de la parte externa de la planta. Desde los nudos, emergen entre tres y cuatro raíces que cumplen funciones de anclaje y absorción de nutrientes (Quimi, 2024)

2.2.6. Pseudotallo

Está compuesto por las vainas que rodean las hojas, las cuales se disponen en una disposición espiral y están estrechamente unidas entre sí. Gracias a su estructura resistente, esta formación puede soportar la planta en una posición levemente inclinada, incluso teniendo en cuenta su peso, el sistema foliar y el racimo floral que surge durante la floración (Leyva, 2020)

2.2.7. Hojas

Durante el proceso de desarrollo del banano, se pueden distinguir diferentes tipos de hojas, incluyendo las rudimentarias, las estrechas, las en forma de espada y las verdaderas. Las hojas verdaderas crecen de manera progresiva, aumentando en tamaño hasta alcanzar un máximo, pero justo antes de la aparición de la flor, experimentan una reducción rápida en su tamaño. Cada hoja verdadera está compuesta por cinco partes principales: la vaina, el pecíolo, la lámina, la nervadura central y el apéndice. La vaina es la sección en la base que envuelve y protege el pseudotallo, mientras que el pecíolo, de forma acanalada y en forma de media luna, conecta la lámina con la base de la hoja. La nervadura central, que es una extensión del pecíolo, se estrecha hacia el ápice. La lámina, de forma ovado-oblonga con un ápice obtuso, presenta una asimetría, siendo la mitad izquierda, vista desde abajo, más extensa que la derecha. El apéndice, una prolongación de la nervadura central, ayuda a que la hoja joven atraviese el pseudotallo al emerger. Una vez que la hoja completa su crecimiento, se seca rápidamente, finalizando su ciclo de vida en esa etapa (Chinga, 2022).

2.2.8. Inflorescencia

El eje de la inflorescencia se desarrolla como una extensión del escapo floral, en el cual las hojas son reemplazadas por brácteas. Las primeras tres o cuatro brácteas son de mayor tamaño y no ocultan las flores. Las agrupaciones florales, conocidas como "manos", están formadas por entre cuatro y ocho flores, dispuestas en dos filas en forma alternada. En la estructura del racimo, las flores femeninas se localizan en la base, mientras que las masculinas se sitúan en la parte superior, creando una configuración que recuerda a una bellota. En algunos casos, se puede observar una zona intermedia con flores de carácter intermedio o neutro, denominadas "manos falsas". En el caso del plátano, el peso del racimo provoca que este se invierta, la parte que asemeja a la bellota queda colgando hacia abajo, mientras que las flores femeninas, situadas por encima, orientan sus ovarios hacia arriba. Esto provoca que, unos días después de la aparición del racimo, los frutos se orienten en la misma dirección (Medina, 2020).

2.2.9. Fruto

El banano es una fruta de forma alargada que se forma a partir del ovario de una flor con pistilo. A lo largo de su desarrollo, es común que los óvulos no lleguen a desarrollarse completamente, lo que causa que se vuelvan negros y se puedan observar como pequeños puntos dentro del fruto cuando se abre. En las primeras fases de maduración, el fruto presenta canales de látex, los cuales, a medida que la fruta madura, van perdiendo su actividad y finalmente desaparecen. El contenido de azúcar del fruto maduro es de 12 - 16% y el de almidón de 5 - 7% (Loor, 2020).

2.3 Factores ambientales del cultivo de banano

2.3.1. Latitud y altitud

En el Ecuador, al norte y sur, la latitud se concentra a las mejores producciones a 15°, aunque se encuentran excelentes rendimientos hasta los 30°. La altitud recomendada para el banano es de 200 msnm, siendo el mayor porcentaje comercial entre 400 y 600 msnm. Es relevante destacar que, por cada 100 metros adicionales de altitud sobre el nivel del mar, el ciclo vegetativo puede experimentar un retraso de hasta un mes (Rojas, 2022).

2.3.2. Temperatura

Es el principal regulador de desarrollo del banano, la condición óptima en rangos es de 20 a 30 °C, donde se han encontrado los mejores rendimientos y ciclos cortos, pues en temperaturas inferiores a 14 °C se detiene el crecimiento y se alargan los ciclos vegetativos por ende menor producción. Con temperaturas de 0 a 6 °C se genera efectos como: daño y muerte de la hoja, clorosis, reducción de la floración, deformidades en racimos, debilidad de la planta y reducción del crecimiento radical (Cruz et al., 2024).

2.3.3. Precipitación

El segundo factor más importante en la producción del banano es la precipitación, mensualmente requiere de 1200 a 200 mm. Adicionalmente se puede auxiliar con riegos si se reconocen épocas de sequía en la zona en donde la raíz fibroso superficial es afectado, y en mayor exceso de lluvias se ahogan fácilmente causando deterioro de la planta en general reduciendo la actividad fotosintética, los

suelos bajan pH con pérdidas de nutrientes y aumentando las posibilidades a enfermedades (Dionicio, 2021).

2.4 Problemas fitosanitarios en el cultivo de banano

El cultivo de banano representa un recurso esencial para los países en desarrollo, ya que tiene un impacto profundo en los ámbitos económico, social, ambiental y político. Esta industria constituye un pilar fundamental para la economía de muchas naciones exportadoras, particularmente en regiones como Latinoamérica y el Caribe. En Ecuador, la superficie destinada al cultivo de banano ha experimentado un incremento del 2,1% desde 2022, lo que refleja la creciente importancia de esta actividad en la región. Sin embargo, la presencia de nematodos fitoparasitarios representa una amenaza significativa para la producción bananera, dado que estos parásitos atacan las raíces de las plantas, comprometiendo su salud y reduciendo su rendimiento. Entre los nematodos más peligrosos se encuentra *Radopholus similis*, capaz de causar pérdidas totales en la cosecha, alcanzando hasta un 100%. Además, en Ecuador también se han identificado otros nematodos como *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp., los cuales incrementan los desafíos para mantener la continuidad y productividad de este cultivo estratégico (Cedeño, 2024).

El banano puede desarrollar diferentes problemas a causa de enfermedades y plagas que pueden infectar o dañar las raíces hasta el escapo floral, las diferentes causas puede ser bacterias, virus, hongos y nematodos fitoparasitarios. Estos problemas no solo causan reducción de la producción, si no que minimizan la producción final y puede llevar a perdidas definitivas del cultivo (Ruiz, 2020).

2.4.1. Nematodos en el cultivo de banano

Los nematodos fitoparásitos son organismos multicelulares microscópico, causando daños significativos en el sistema radicular de la planta, interfiriendo en la absorción de nutrientes y agua, lo que reduce el crecimiento, debilitando la estructura de la planta e incrementando su vulnerabilidad a otras enfermedades y plagas, provocando pérdidas significativas en el cultivo de banano (Cedeño, 2024).

Los nematodos, al invadir las raíces, migran a través de las células corticales, ocasionando daños que pueden extenderse hasta el cilindro vascular de la raíz. Esta lesión puede traducirse en pérdidas de rendimiento agrícola que varían entre el 30% y el 50%. Las plantas afectadas presentan un sistema radicular debilitado, lo que disminuye su capacidad de anclaje y reduce la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes. Como resultado, se evidencia una disminución en el peso de los racimos, un incremento en los intervalos entre cosechas y una reducción en la vida útil de la unidad productiva (Sánchez, 2024).

Los nematodos ectoparásitos se alimentan de tejidos vegetales desde el exterior de la planta, mientras que los nematodos endoparásitos se alimentan desde el interior de la planta. Los nematodos pueden clasificarse además como migratorios y sedentarios. Si la hembra adulta se mueve libremente por el suelo o los tejidos vegetales, el nematodo se denomina migratorio. Una hembra adulta que es inmóvil y permanece en un área de la raíz se denomina sedentaria. Tres nematodos endoparásitos migratorios que se alimentan de la corteza de la raíz de las plantas de banano son los nematodos madriguera (*Radopholus similis*), espirales (*Helicotylenchus multicinctus*), lesionadores (*Pratylenchus* spp.). Su alimentación da como resultado células radiculares muertas o lesiones. Los nematodos endoparásitos sedentarios que se alimentan del banano incluyen los nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) y reniformes (*Rotylenchulus reniformis*). Penetran las raíces del banano, migran y se establecen en un sitio de alimentación, y hacen que las células circundantes se agranden. Aunque las agallas radiculares no se ven comúnmente en las raíces del banano, las raíces del banano fuertemente infectadas por nematodos agalladores se hinchan (Rodriguez y Ventura, 2020).

2.4.2. *Radopholus similis* (Nematodo lesionador de raíces del banano)

Este nematodo causa grandes perjuicios económicos es considerado uno de los 10 nematodos más importante en el trópico, siendo reportado como parasito de más de 200 especies de plantas, puede ocasionar pérdidas de entre 20 y 100%, se nutre de raíces y cornos de banano, en las raíces causa lesiones de color rojo vinoso, estás se necrosan perjudicando el crecimiento y desarrollo del cultivo. El intercambio de material de siembra infectado es el principal medio de diseminación

alrededor del mundo, debido a que estas musáceas han sido tradicionalmente propagadas por manera sexual mediante colinos o cepas, este nematodo se caracteriza por penetrar y movilizarse dentro de las células de raíces en las cornos (Cando, 2019).

La presencia persistente del nematodo barrenador *R. similis* en el cultivo de banano ha llevado a una dependencia considerable del uso de nematicidas. Aunque estos productos siguen siendo la opción más efectiva actualmente, su aplicación prolongada genera inquietudes sobre la sostenibilidad, dado su impacto negativo en la microbiota y la fertilidad del suelo. Como una alternativa más ecológica y viable a largo plazo, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*PGPRs*) han demostrado una notable eficacia en el control biológico, contribuyendo a la reducción y gestión de las poblaciones de nematodos, incluso en escenarios de alta infestación (Macias et al., 2023).

2.4.2.1. Características morfológicas *Radopholus similis*

El nematodo *R. similis*, es un parasito 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 µm. El metacorpus es bien desarrollado en el esófago, con glándulas alargadas que traslapan el intestino dorsal, la vulva se localiza entre 50 y 60 % de la longitud del cuerpo, y la cola es alargada de conoide a subcilindrica. En contraste, el macho presenta una región cefálica alta y redonda, separada del resto del cuerpo por una incisura. Tiene un estilete y esófago reducido, su cola generalmente es más afilada que la de las hembras (Vélez y Álvarez, 2024).

Tabla 2.

Clasificación taxonómica del nematodo Radopholus similis

Phylum:	Nematoda
Orden:	Tylenchida
Súper familia	Tylenchoidae
Familia:	Pratylenchidae
Sub familia:	Pratylenchinae
Género:	*Radophulus*
Especie:	*similis*

(Acosta, 2021)

2.4.2.2. Biología de *Radophulus similis*

El nematodo *R. similis*, conocido por su impacto perjudicial en los cultivos de banano, muestra una notable capacidad de supervivencia en el suelo, pudiendo persistir hasta cinco años sin la presencia de su planta hospedera. Esta resistencia se atribuye, en gran medida, a la existencia de malezas que le proporcionan refugio y sustento. Su propagación ocurre a través de material vegetal infectado y partículas de suelo contaminadas, lo que permite su desplazamiento dentro de la plantación en un rango de 3 a 6 metros. Las larvas de *R. similis*, todas altamente infectivas, penetran las raíces y generan extensas cavidades mientras se alimentan de la corteza, debilitando gravemente la estructura de la planta. Su ciclo de vida abarca entre 20 y 25 días cuando la temperatura oscila entre 24 y 32 °C, completando todas sus etapas, desde el huevo hasta su fase adulta. En términos reproductivos, las hembras pueden depositar entre cuatro y cinco huevos diarios durante aproximadamente dos semanas, lo que favorece un rápido aumento poblacional. En condiciones favorables, la densidad de estos nematodos puede alcanzar hasta 3,000 individuos por gramo de suelo y superar los 100,000 en cada 100 gramos de raíz, representando un desafío significativo para la gestión de este patógeno en los cultivos de banano (Larrea, 2021).

2.4.2.3. Síntomas de plantas atacadas por R. similis

El nematodo *R. similis* causa daños significativos en el sistema radicular del banano, iniciándose con la aparición de lesiones oscuras en la epidermis que progresan hacia el parénquima cortical y, en infestaciones graves, pueden alcanzar el cilindro vascular. Estas alteraciones comprometen seriamente la funcionalidad del tejido radicular, provocando su degeneración y atrofia. Cuando la infestación es intensa, *R. similis* migra al cormo, donde ocasiona manchas pardas rojizas y zonas negruzcas que pueden extenderse a los cormos de los brotes jóvenes, afectando también el rizoma de la planta. En su interacción con las raíces de *Musa* spp., el nematodo se posiciona entre las células del parénquima cortical, alimentándose del citoplasma circundante. Este proceso genera un agrandamiento del núcleo y el nucléolo, la pérdida casi total del citoplasma, la desintegración del núcleo y la ruptura de la pared celular, formando cavidades en el tejido. A medida que se alimenta, *R. similis* se desplaza dentro de estas cavidades en busca de nuevos sitios de nutrición, intensificando el daño estructural en el sistema radicular de la planta (Lopez et al., 2021).

2.4.3. Hongo biocontrolador: *Paecilomyces lilacinus*

El género de hongos *Paecilomyces* desempeña un papel crucial en la protección de las plantas contra fitopatógenos y en la mejora de su salud a través de diversos mecanismos moleculares. Esta interacción simbiótica ha demostrado la producción de varias fitohormonas, como el ácido indolacético y las giberelinas, que ayudan a mitigar los efectos del estrés abiótico, como la salinidad, y favorecen el crecimiento vegetal. Cuando se aplica *Paecilomyces* junto con nematodos patógenos, se observa un efecto tóxico sobre estos nematodos, lo que resulta en un mejor crecimiento de los cultivos y posiciona al hongo como un agente de control biológico eficaz. Además, muchas especies de *Paecilomyces* son capaces de producir una variedad de metabolitos secundarios que exhiben nuevas actividades biológicas, incluyendo propiedades citotóxicas, nematicidas, fungicidas, bactericidas, insecticidas y herbicidas. Los metabolitos secundarios generados por *Paecilomyces* sp. han mostrado actividad inhibidora de enzimas y antitumoral, y son capaces de prosperar en ambientes tanto alcalinos como ácidos, tolerando diversas condiciones ambientales. Esta cepa fúngica también tiene la capacidad de

degradar conservantes alimenticios como el ácido propiónico, el ácido benzoico y el ácido sorbico, además de inducir olores en productos alimenticios (Baazeem et al., 2021).

2.4.3.1. Producción de *P. lilacinus*

Los hongos sobresalen entre los microorganismos por su notable capacidad para el control biológico. Sin embargo, su implementación depende en gran medida de factores económicos, ya que para ser eficaces deben producir elevadas concentraciones de esporas virulentas, viables y de larga duración. A diferencia de las células bacterianas, las esporas fúngicas presentan una estabilidad superior, lo que les confiere ventajas en términos de resistencia y persistencia. La composición nutricional del medio es un factor determinante para optimizar la eficacia de las esporas en el biocontrol, permitiéndoles soportar procesos como el secado y conservar su actividad en el ambiente, lo que resulta esencial para su aplicación comercial. El ciclo de vida de los hongos comprende varias etapas, entre ellas la latencia de la espora, su germinación, el desarrollo del micelio y la conidiogénesis. Uno de los aspectos clave en la selección de hongos para biocontrol es la concentración de esporas. Su producción puede realizarse mediante fermentaciones en sustratos sólidos o sumergidos. Las esporas cultivadas en sustratos sólidos suelen presentar un tamaño más uniforme y una mayor resistencia a la radiación UV, lo que mejora su viabilidad en el almacenamiento y el secado. Además, su tolerancia a la liofilización y a las condiciones ambientales favorece su durabilidad y eficacia en aplicaciones agrícolas (Salem et al., 2022).

Este producto se caracteriza por su inocuidad fitotóxica y su rápida degradación, lo que reduce significativamente su impacto ambiental y garantiza una aplicación segura en la agricultura. Su efectividad ha sido comprobada en la disminución y control de poblaciones de nematodos. Al colonizar el sistema radicular, fortalece la planta mediante la producción de compuestos con acción antibiótica y sideróforos especializados en la supresión de nematodos, favoreciendo además el desarrollo óptimo de las raíces. Funciona como un desinfectante integral del suelo con capacidad nematicida, mostrando gran eficacia en la eliminación de nemátodos, fases latentes presentes en el suelo y pupas de insectos, sin actuar de manera selectiva. Gracias a su doble efecto, preventivo y

curativo, se posiciona como una alternativa versátil para el manejo de plagas, nematodos y diversas enfermedades que afectan los cultivos (Ramirez, 2022).

2.4.3.2. Mecanismo de acción *Paecilomyces lilacinus*

El hongo *P. lilacinus* actúa como un agente biocontrolador contra los nemátodos fitoparásitos a través de una infección directa, centrándose en sus etapas sedentarias, especialmente en la fase de huevo. El proceso inicia con la detección e interacción entre el patógeno y el antagonista, lo que desencadena la secreción de enzimas quitinolíticas por parte del hongo, destacándose las proteasas y quitinasas esenciales para la degradación de la estructura del huevo. La proteasa psP-3 ejerce una acción nematicida al degradar la cáscara del huevo e impedir su eclosión, mientras que la quitinasa facilita la ruptura de la envoltura externa, permitiendo que el hongo invada su interior. Durante la descomposición de la quitina, se libera amoníaco, una sustancia tóxica para los juveniles de segunda fase del nemátodo, afectando su desarrollo dentro de la raíz. Las esporas de P. lilacinus germinan y sus hifas penetran en la vulva y el ano de las hembras del nemátodo, extendiendo la infección hacia los huevos. Una vez establecido, el hongo se desarrolla tanto dentro como sobre la cáscara del huevo, impidiendo el crecimiento del juvenil. Antes de la infección, las hifas del hongo se adhieren a la superficie del huevo y generan apresorios, estructuras especializadas que indican la inminente invasión del patógeno (Cedeño, 2024).

Los apresorios son estructuras especializadas que se forman como una expansión en el extremo de la hifa, permitiendo una adhesión firme a la cáscara del huevo del nemátodo. A medida que avanza el proceso de penetración, la capa vitelina del huevo se fragmenta en tres bandas, se generan múltiples vacuolas y la capa lipídica se desintegra por completo. El juvenil en desarrollo dentro del huevo es eliminado por el crecimiento acelerado de las hifas, que además producen una gran cantidad de conidióforos. Estas hifas continúan expandiéndose hacia los huevos adyacentes, favoreciendo la diseminación de la infección. Investigaciones han confirmado que P. lilacinus es especialmente efectivo contra los huevos de Meloidogyne incognita en sus primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, también incide sobre los huevos de nemátodos juveniles completamente formados,

provocando alteraciones en su desarrollo, deformaciones y una disminución en su movilidad dentro del huevo (Senthilkumar, 2020).

2.4.3.3. Ventajas del Hongo *P. lilacinus*

Paecilomyces es un excelente regulador natural y un hongo endofítico que ofrece diversas ventajas para el desarrollo de las plantas. Puede utilizarse como un bioestimulante eficaz, ya sea de forma directa o indirecta, aumentando el rendimiento de los cultivos y mejorando los parámetros morfológicos. Este hongo presenta conidióforos irregularmente ramificados, hifas hialinas amarillentas y conidias en cadenas, que son unicelulares y hialinas. Su capacidad termotolerante está relacionada con la forma y el tamaño de las conidias. *Paecilomyces* crece en diversos sustratos y a diferentes temperaturas, lo que favorece su esporulación y garantiza su uso comercial en agricultura. Existen varias especies de *Paecilomyces*, tanto saprófitas como patógenas, que pueden encontrarse en hábitats variados, incluyendo alimentos, material vegetal en descomposición, suelo, nematodos, insectos y la rizosfera de diversas plantas (Torres, 2023).

Tabla 3.

Clasificación taxonómica del hongo P. lilacinus

Reino:	Fungi
Clase:	Sordariomycetes
Orden:	Hipocreales
Género:	*Paecilomyces*
Especie:	*P. lilacinus*

(Calixto, 2022)

2.4.4. Muestreo de las raíces

Los muestreos proporcionan información valiosa sobre la dinámica temporal de la calidad y cantidad de raíces, así como sobre la densidad poblacional de los nematodos. Esta información es fundamental para evaluar y desarrollar estrategias

más efectivas en el control de estos organismos, lo que facilita la toma de decisiones informadas (León, 2024).

2.4.5. Bioplaguicidas

Los bioplaguicidas representan una innovación en el manejo de cultivos, ofreciendo una nueva perspectiva sobre las plantas utilizando organismos benéficos. Estos productos no solo mejoran el metabolismo de las plantas, sino que también favorecen su crecimiento y desarrollo, lo que incrementa su resistencia a diversas plagas. Además, se ha observado que los agricultores obtienen múltiples beneficios al utilizarlos, incluyendo una mayor seguridad en la producción y un retorno de inversión más elevado (León, 2024).

2.4.6. Medidas de control

Generalmente el combate de nematodos en plantaciones bananeras se realiza con nematicidas carbamatos y organofosforados aplicados sobre la superficie del suelo. Este tipo de moléculas posee ciertas restricciones ambientales y de seguridad que dictan un uso racional de los mismos. Con el propósito de proveer una eficiente solución al problema del nematodo barrenador (Sánchez, 2024).

2.4.7. Aplicación *Paecilomyces lilacinus*

El hongo *P. lilacinus* se emplea en el cultivo de banano como un agente biológico para el control de nematodos fitopatógenos, mediante una preparación que implica la activación de esporas en una solución acuosa con un sustrato adecuado para su proliferación. La dosificación recomendada varía entre $1x10^6$ y $1x10^8$ conidios/ml, dependiendo del nivel de infestación del suelo y las condiciones ambientales. Su aplicación se realiza preferentemente mediante aspersión con bomba de mochila o sistema de riego localizado, asegurando una distribución homogénea en la rizósfera de la planta. Para maximizar su efectividad, se recomienda aplicar el producto en suelos con humedad óptima y temperaturas entre 20°C y 30°C, evitando la exposición directa a la luz solar intensa (Garzón, 2021).

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

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

3.2 La población y la muestra

El trabajo experimental se llevó a cabo en la hacienda Bonanza**,** en el cantón El Triunfo, provincia del Guayas, propiedad del Sr. Vera Villagómez Víctor, con una altitud de 44 m.s.n.m., con un clima lluvioso tropical de 22,6 °C en promedio, las coordenadas geográficas son 2°19′48″ S, 79°24′0″ W.

3.2.1. Característica de la población

El factor de estudio fue el efecto del hongo *Paecilomyces lilacinus* como un biocontrolador en una hacienda bananera con presencia de nematodos.

3.2.2. Delimitación de la población

El área de trabajo abarcó 1 hectárea, donde se llevaron a cabo 4 tratamientos con 5 repeticiones cada uno. Cada tratamiento incluyó 12 plantas, lo que resultó en un total de 60 plantas por tratamiento. En total, se utilizaron 240 plantas durante la investigación.

3.2.3. Tipo de muestra

La toma de muestras de nematodos en suelo y raíces se realizó de forma aleatoria al inicio del experimento, y al final, las muestras se tomaron de acuerdo con los tratamientos establecidos.

3.2.4. Tamaño de la muestra

Se tomaron muestras de aproximadamente 500 g de suelo y raíces para enviar al laboratorio y así poder analizar la población de nematodos.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

Se tomó la muestra frente a un hijo espada de un metro aproximadamente, tanto el suelo como la raíz.

3.3 Los métodos y las técnicas

El trabajo de investigación se realizó en el cultivo de banano en las siguientes fases.

3.3.1. Fase 1 (Día 1)

Se aplicaron 3 dosis del hongo *Paecilomyces lilacinus* (5 g, 7.5 g, 10 g) y al testigo sin aplicar. Adicional se seleccionaron al azar 10 plantas de banano (hijo) en cada repetición, donde se procedió a tomar altura y diámetro de la planta.

3.3.2. Fase 2 (Día 15)

Una vez pasados los 15 días de la aplicación del hongo *Paecilomyces lilacinus,* se volvió a medir las mismas 10 plantas por tratamiento para tomar las variables altura y diámetro de la planta.

3.3.3. Fase 3 (Día 30)

En esta fase se procedió a medir las mismas 10 plantas seleccionadas desde el día 1 para tomar altura y diámetro. Este procedimiento se realizó en cada tratamiento.

3.3.4. Fase 4 (Día 45)

En esta fase de procedió a medir altura y diámetro de las plantas, y adicional se tomó las muestras de suelo y raíz.

3.4 Variables de estudio

3.4.1. Altura de la planta

Se midió cada 15 días la altura (cm) de las plantas seleccionadas, desde el suelo hasta el ápice.

3.4.2. Cantidad de nematodos por raíces

Se recolectaron muestras de raíces antes y después del experimento para cuantificar número de nematodos por 100 g de raíces.

3.4.3. Diámetro de la planta

Se procedió a medir en cm, utilizando un calibrador, el diámetro de las 10 plantas seleccionadas por tratamiento, tomando la parte media del hijo de espada.

3.4.4. Longitud de la raíz

Se midieron las raíces (cm) de las plantas de estudio a los 45 días. Para ello, se registraron la raíz más larga, la más corta y una de longitud intermedia, con el fin de calcular un promedio por tratamiento.

3.4.5. Eficacia de los tratamientos

Después de los 45 días se recolectaron muestras de raíces y suelo para identificar el mejor tratamiento, en base al análisis de raíces y observación de las líneas de regresión.

3.5 Diseño de investigación

El diseño que se utilizó fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), la investigación constó de cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Se recolectaron muestras al azar para su análisis en laboratorio, donde se realizaron estudios nematológicos de raíces y de suelo con el objetivo de identificar la presencia de nematodos en la plantación de banano.

3.6 Procesamiento estadístico de la información

El análisis de datos se realizó en el programa Infostat y los gráficos se elaboraron en Excel. Los datos fueron sometidos a la prueba de Tukey al 0.05%

Tabla 4.

Andeva del experimento

ANAVA		**Grados de libertad**
Tratamientos	4-1= 3 (t-1)	3
Bloques	5-1= 4 (r-1)	4
Error experimental	3*4= (t-1) (r-1)	12
Total		19

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1 Efecto de los *Paecilomyces lilacinus* en diferentes dosis para el control de *Radopholus similis* en el cultivo de banano

Tabla 5.

Diámetro de la planta a los 0, 15, 30 y 45 días

Tratamiento	Descripción	Diámetro			
		0 Días	15 Días	30 Días	45 Días
1	*Paecilomyces lilacinus* (5 g/10 L de agua)	5,3b	5,7a	7,3a	8,4c
2	*Paecilomyces lilacinus* (7,5 g/10 L de agua)	5,2a	5,6b	7,1b	8,6b
3	*Paecilomyces lilacinus* (10 g/10 L de agua)	5,0c	5,4c	7,1b	8,8a
4	Testigo	5,0c	5,4c	6,7c	8,1c
CV		0,37%	0,29%	0,78%	1,07%

Al analizar la Tabla 5, se observan diferencias significativas en el diámetro de las plantas a los 15 días, lo que requirió la aplicación del test de Tukey con un 5% de probabilidad de error. El tratamiento 1 (*Paecilomyces lilacinus* a 5 g/10 L de agua) obtuvo el mayor diámetro con 5,7 cm, seguido del tratamiento 2 (P. lilacinus a 7,5 g/10 L de agua) con 5,6 cm. El coeficiente de variación fue de 0,29%.

A los 30 días, también se evidencian diferencias significativas en el diámetro de las plantas, por lo que se aplicó nuevamente el test de Tukey. El tratamiento 1 (P. lilacinus a 5 g/10 L de agua) alcanzó el mayor diámetro con 7,3 cm, seguido por el tratamiento 2 (P. lilacinus a 7,5 g/10 L de agua) y el tratamiento 3 (P. lilacinus a 10 g/10 L de agua), ambos con 7,1 cm. El coeficiente de variación fue de 0,78%.

Finalmente, a los 45 días, se observaron diferencias significativas en el diámetro de las plantas, lo que llevó a la aplicación del test de Tukey con un 5% de probabilidad de error. El tratamiento 3 (P. lilacinus a 10 g/10 L de agua) presentó el mayor diámetro con 8,8 cm, seguido por el tratamiento 2 (P. lilacinus a 7,5 g/10 L de agua) con 8,6 cm. El coeficiente de variación fue de 1,07%.

Tabla 6.

Altura de la planta a los 0, 15, 30 y 45 días

Tratamiento	Descripción	Altura			
		0 Días	15 Días	30 Días	45 Días
1	*Paecilomyces lilacinus* (5g /10 L de agua)	89,7b	98,0ab	107,0b	112,9bc
2	*Paecilomyces lilacinus* (7,5 g/10 L de agua)	89,0b	96,4b	107,9b	116,8b
3	*Paecilomyces lilacinus* (10 g/10 L de agua)	85,4c	91,4c	114,8a	122,4a
4	Testigo	91,3a	100,3a	106,5b	111,8c
CV		0,57%	0,74%	1,33%	2,02%

Al observar la Tabla 6, se evidencian diferencias significativas en la altura de las plantas a los 15 días, lo que requirió la aplicación del test de Tukey con un 5% de probabilidad de error. El tratamiento 4 (Testigo) alcanzó la mayor altura con 100,3 cm, seguido por el tratamiento 1 (*Paecilomyces lilacinus* a 5 g/10 L de agua) con 98,0 cm. El coeficiente de variación fue de 0,57%.

A los 30 días, también se encontraron diferencias significativas, por lo que se aplicó el test de Tukey. El tratamiento 3 (*P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua) obtuvo la mayor altura con 114,8 cm, seguido del tratamiento 2 (*P. lilacinus* a 7,5 g/10 L de agua) con 107,9 cm. El coeficiente de variación fue de 1,33%.

Finalmente, a los 45 días, se observaron diferencias significativas en la altura de las plantas, lo que llevó a la aplicación del test de Tukey. El tratamiento 3 (*P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua) obtuvo la mayor altura con 122,4 cm, seguido del tratamiento 2 (*P. lilacinus* a 7,5 g/10 L de agua) con 116,8 cm. El coeficiente de variación fue de 2,02%.

Tabla 7.

Longitud de la raíz de la planta a los 45 días

Tratamiento	Descripción	Promedio
1	*Paecilomyces lilacinus* (5 g/10 L de agua)	49,34b
2	*Paecilomyces lilacinus* (7,5 g/10 L de agua)	50,46ab
3	*Paecilomyces lilacinus* (10 g/10 L de agua)	52,72a
4	Testigo	48,28b
CV		2,55%

Al observar la Tabla 7, en cuanto a la longitud de las raíces de las plantas a los 45 días se evidencia que existen diferencias significativas, por lo que fue necesaria la aplicación del test de Tukey a 5% de probabilidad de error, obteniendo el primer lugar el tratamiento 3 *Paecilomyces lilacinus* (10 g/10 L de agua) con 52,72 cm de longitud de las raíces, seguido del tratamiento 2 *Paecilomyces* lilacinus (7,5 g/10 L de agua) con 50,46 cm de longitud. Es de resaltar que el coeficiente de variación fue de 2,55 %.

4.2 Determinación del mejor tratamiento en función de la cantidad de nematodos por raíz en el cultivo de banano

Para el presente trabajo se realizó un muestreo al inicio de los tratamientos es decir a los cero días obteniendo como respuesta lo siguiente:

Tabla 8.

Resultados el análisis de nematodos en muestra inicial

Identificación	**Nematodos por 100 g de raíces totales**	
Muestra Inicial	*Radopholus similis*	*Helicotylenchus multicinctus*
	1000	1500

Al observar la Tabla 8, los resultados de laboratorio identificaron que por cada 100 gramos de raíces se encontró 1000 *Radopholus similis* en el resultado inicial de la investigación.

Tabla 9.

Resultado del análisis de los tratamientos a los 45 días de la aplicación de los tratamientos

Identificación	**Nematodos por 100 g de raíces totales**	
	Radopholus similis	***Helicotylenchus multicinctus***
T1 *Paecilomyces lilacinus* (5 g/10L de agua)	1000	0
T2 *Paecilomyces lilacinus* (7,5 g/10 L de agua)	500	0
T3 *Paecilomyces lilacinus* (7,5 g/10 L de agua)	500	0
T4 Testigo	1500	0

Como se muestra en la Tabla 9, en base a los resultados de laboratorio, los tratamientos 2 (*P. lilacinus* a 7,5 g/10 L de agua) y 3 (*P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua) lograron los mejores resultados en cuanto a la reducción y control de nematodos, con una disminución del 50% en la población inicial de nematodos. En cambio, el tratamiento 1 (*P. lilacinus* a 5 g/10 L de agua) mantuvo el número inicial

de 1000 nematodos por cada 100 g de raíces. Cabe destacar que el testigo absoluto presentó un aumento, alcanzando los 1500 nematodos por cada 100 g de raíces.

4.3 Analizar el efecto de los tratamientos mediante líneas de regresión en función al desarrollo vegetativo del cultivo de banano

4.3.1. Líneas de regresión en función de a altura de la planta

Tabla 10.

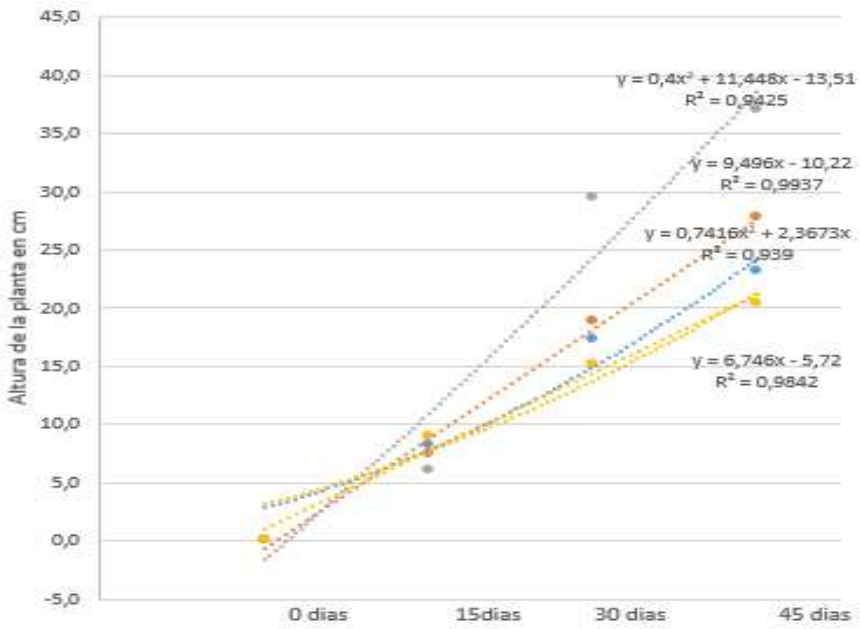
Aumento de la altura de las plantas expresado en centímetros

	Días	Altura de la Planta			
		5 g	7,5 g	10 g	Testigo
0 Días	T1 (5 g/10 L)	0,0	0,0	0,0	0,0
15 Días	T2 (7,5 g/10 L)	8,2	7,4	6,0	9,0
30 Días	T3 (10 g/10 L)	17,3	18,9	29,4	15,2
45 Días	T4 (Testigo)	23,1	27,8	37,0	20,4

Para expresar esta variable se tomó como valor cero el estado inicial de la planta de banano (hijo de espada) y en base al tamaño original se expresó su crecimiento en centímetros el mismo que se expresa a los 0, 15, 30 y 45 días.

Figura 1.

Aumento de la altura de las plantas expresado en centímetros



Al observar las líneas de regresión en la Figura 1, se evidencia que el tratamiento 3 (*P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua) logró el mayor desarrollo en la variable altura, con un crecimiento polinomial descrito por la ecuación y = 00,4x2 + 11,448x - 13,51 y un R2 de 0,9425. Le sigue el tratamiento 2 (*P. lilacinus* a 7,5 g/10 L de agua), que también presenta un crecimiento polinomial con la ecuación y = 9,496x - 10,22 y un R2 de 0,9937. Por último, el tratamiento 4 Testigo muestra un crecimiento polinomial con la ecuación y = 6,746x - 5,72 y un R2 0,9842.

4.3.2 Líneas de regresión en función de al diámetro de la planta

Tabla 11.

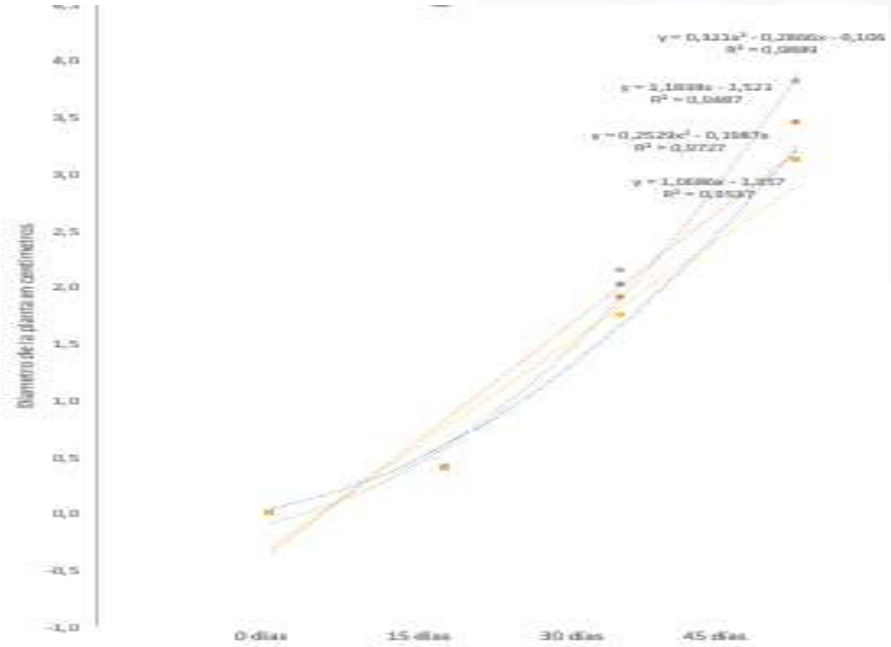
Aumento del diámetro de las plantas expresado en centímetros

	Días	**Díametro de la planta**			
		5 g	**7,5 g**	**10 g**	**Testigo**
0 Días	T1 (5 g/10 L)	0,0	0,0	0,0	0,0
15 Días	T2 (7,5 g/10 L)	0,4	0,4	0,4	0,4
30 Días	T3 (10 g/10 L)	2,0	1,9	2,1	1,7
45 Días	T4 (Testigo)	3,1	3,4	3,8	3,1

Para expresar esta variable se tomó como valor cero el estado inicial de la planta y en base al diámetro original y se expresó su desarrollo en centímetros el mismo que se expresa a los 0, 15, 30 y 45 días

Figura 2

Aumento del diámetro de las plantas expresado en centímetros



Al observar las líneas de regresión en la figura 2, se evidencia que el tratamiento 3 (*P. lilacinus* a 10 g/10 L de agua) logró el mayor desarrollo en la variable diámetro, con un crecimiento polinomial descrito por la ecuación y = 0,321x^2 - 0,2866x - 0,106 y un R^2 de 0,9889. Le sigue el tratamiento 2 (*P. lilacinus* a 7,5 g/10 L de agua), que también presenta un crecimiento polinomial con la ecuación y = 1,1838x - 1,521 y un R^2 de 0,9487. Por último, el tratamiento 4 Testigo muestra un crecimiento polinomial con la ecuación y = 1,0686x - 1,357 y un R^2 0,9537.

CAPÍTULO V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Discusión

La presente investigación partió de la hipótesis de que la aplicación de biotecnologías, particularmente el uso del hongo *Paecilomyces lilacinus* como agente de control biológico del nematodo *Radopholus similis*, induciría un incremento significativo de hasta un 90% en el desarrollo vegetativo del cultivo de banano, en comparación con métodos de manejo convencionales. Los resultados obtenidos sustentan dicha hipótesis, mostrando que los tratamientos con *P. lilacinus* en dosis de 7,5 g/10 L y 10 g/10 L de agua fueron los más eficaces, reduciendo la población inicial de nematodos de aproximadamente 1.000 individuos por raíz a alrededor de 500.

Este hallazgo se encuentra en concordancia con Torres (2023), quien señaló que *P. lilacinus* es una de las alternativas biológicas más efectivas para el control de *R. similis*, debido a su capacidad de infectar huevos, inhibir la eclosión, afectar juveniles y causar malformaciones en estadios posteriores del nematodo. De igual forma, Garzón (2021) demostró que dosis altas del hongo (hasta 3 L/ha) lograron una reducción del 15% en la densidad de *R. similis*, promoviendo raíces más sanas y aumentando su masa. Estas observaciones son fortalecidas por evidencia actual como Khan y Tanaka (2023), quienes documentaron que cepas de *Purpureocillium lilacinum* (sinónimo de *Paecilomyces lilacinus*) actúan como nematófagos mediante la secreción de enzimas hidrolíticas (quitinasas y proteasas), generando disrupciones celulares en huevos y tejidos larvales.

La mejora en el desarrollo vegetativo del cultivo también fue evidente: la dosis de 10 g/10 L generó un aumento significativo en la altura y diámetro del pseudotallo, con comportamientos de crecimiento polinomial y coeficientes de determinación superiores a $R^2 = 0,94$. Este patrón se alinea con los hallazgos de Bernardo (2022), quien reportó que aplicaciones de *P. lilacinus* no solo tienen efecto fitosanitario, sino que estimulan el crecimiento vegetal al fortalecer la rizosfera y mejorar la absorción de nutrientes. En complemento, Giri et al. (2022) observaron que la interacción entre este hongo y las raíces favorece la producción de auxinas y otros metabolitos que promueven la elongación celular y el vigor del cultivo.

No obstante, Baracaldo (2022) advierte sobre el uso excesivo de dosis superiores a 7,5 g/10 L, mencionando que podrían no generar beneficios adicionales e incluso provocar respuestas adversas por saturación microbiana o competencia por recursos edáficos. Esta preocupación es compartida por Passos et al. (2024), quienes recalcan que un equilibrio en la microbiota rizosférica es esencial para garantizar que los microorganismos benéficos actúen de forma sinérgica y no antagonista.

Desde una perspectiva agroecológica, el uso de *P. lilacinus* representa una opción sostenible frente al empleo de nematicidas sintéticos, los cuales han mostrado efectos nocivos sobre la biodiversidad edáfica y la salud humana Khan y Kiwamu (2023), en regiones como El Triunfo, donde la agricultura representa una actividad económica central, el biocontrol permite mejorar el rendimiento de forma ambientalmente responsable. Este enfoque también ha sido respaldado por Colagiero et al. (2025), quienes reportan que el uso de hongos benéficos en sistemas orgánicos de producción de banano modula favorablemente el microbioma del suelo y potencia la resiliencia del cultivo frente a estresores bióticos.

Los resultados validan la hipótesis propuesta, confirmando que el uso de biotecnologías específicamente *Paecilomyces lilacinus* es efectivo tanto en la disminución de la población de *Radopholus similis* como en la promoción del desarrollo vegetativo del banano. Esta evidencia refuerza el valor estratégico de la biotecnología como herramienta clave para la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas del cantón El Triunfo.

5.2 Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se concluye de la siguiente manera:

- Sobre la base de las variables diámetro, altura y profundidad de las raíces, para evaluar el efecto de *Paecilomyces lilacinus*, el tratamiento 3 *P. lilacinus* (10 g/10 L de agua) mostró el mayor diámetro en los hijos de banano (8,8 cm), en altura 122 cm y en longitud de las raíces (52,72 cm), mientras que el Testigo presentó el menor diámetro con 8,1 cm, una altura de apenas 111,8 cm y raíces más cortas, con 48,28 cm.

- Los resultados indican que los tratamientos 2 *P. lilacinus* (7,5 g/10 L de agua) y 3 *P. lilacinus* (10 g/10 L de agua) fueron los más efectivos en la reducción de la población de nematodos *R. similis* en las raíces del cultivo de banano, disminuyendo la cantidad inicial de 1000 nematodos a 500. En contraste, el Testigo mostró un incremento en su población. Mientras que el tratamiento 1 mantuvo la misma cantidad de nematodos, lo que sugiere que no tuvo un efecto significativo en el control de la población de *R. similis*.
- Al analizar el efecto de los tratamientos mediante líneas de regresión en función al desarrollo vegetativo del cultivo de banano, se observó que el tratamiento 3 *P. lilacinus* (10 g/10 L de agua) obtuvo el mayor desarrollo vegetativo en cuanto a la variable altura y diámetro con un crecimiento polinomial.

5.3 Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación de *Paecilomyces lilacinus* (10 g/10 L de agua), ya que demostró un efecto positivo en el desarrollo de los hijos de banano, evidenciado por el mayor diámetro del tallo, mayor altura y mejor profundidad de raíces. La implementación de este tratamiento mejora su resistencia y estabilidad, claves para lograr una producción sostenible y de alta calidad.
- Se recomienda la aplicación de *P. lilacinus* en dosis de 7,5 y 10 g/10 L de agua, ya que han demostrado ser efectivas en la reducción de la población de nematodos *R. similis* en el cultivo de banano. Estas dosis favorecen un mejor control biológico, mejorando la sanidad del suelo y optimizando el desarrollo radicular de la planta. Su uso estratégico puede aumentar la productividad del cultivo, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y eficientes.
- Se recomienda realizar otros estudios en tratamientos biotecnológicos en el cultivo de banano para brindar nuevas alternativas de producción a los productores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acaro, L. C. (2021). Evolución en las exportaciones de banano e impacto del desarrollo económico, provincia de El Oro 2011 - 2020, prepandemia, pandemia; aplicando series de tiempo. *Dominio de las Ciencias, 7*(3), 5-9. Obtenido de https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2074

Acosta, M. (2021). *Efecto de dos nematicidas para el control de nematodos en dos variedades de banano: Cavendish y Gran Enano [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador].* Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ACOSTA%20PINARGOTE%20MAURICIO%20JAVIER.pdf

Álvarez, M. (2022). *Evaluación y seguimiento de labores agronómicas en el cultivo de banano (Musa AAA) tipo de exportación en la finca Santa Marta Fabio, apartadó - Antioquia [Tesis de Grado, Universidad de Córdoba].* Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/8359db63-51f2-48d0-b90e-e6d5240c9982/content&ved=2ahUKEwi6y833w6ONAxVyRzABHa8iDK4QFnoECB8QAQ&usg=AOvVaw0cIUggrdBHdfDUY65ZwC_

Baazeem, A., Alorabi, M., Manikandan, P., Alotaibi, S., Almanea, A., Abdel-Hadi, A., & Kim, H. (2021). Paecilomyces formosus MD12, un agente de Biocontrol para tratar Meloidogyne incognita en Brinjal en Green House. *Mdpi, 7*(8), 22-26. Obtenido de https://www.mdpi.com/2309-608X/7/8/632

Baracaldo, C. (2022). *Modelo de biofertilización como alternativa de manejo sustentable de los agroecosistemas de Papa Criolla: Finca el Capricho (El Rosal Cundinamarca) [Tesis de Maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)].* Obtenido de https://www.proquest.com/openview/5963985d3fd88edf6e68bd715a47f2b6/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar

Beltrán, E. (2024). *Evaluación del comportamiento agronómico de dos variedades de banano en San Rafael, provincia de Santa Elena [Tesis de Grado, Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena].* Obtenido de

https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/12043/1/UPSE-TIA-2024-0019.pdf

Bernardo, V. (2022). *Caracterización de interacciones planta-microorganismos beneficiosas para el control de Nacobbus aberrans en pimiento [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata].* Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140520

Calixto, M. (2022). *Principales nematodos fitoparásitos en el cultivo de pitahaya (Hylocereus spp.) [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13086/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000408.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cando, C. (2019). *Efectos del trinchado de raíces de banano (Musa AAA) sobre la masa radical y la densidad poblacional de nemátodos [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6137

Cedeño, F. (2024). *Incidencia de nematodos fitoparásitos y prácticas asociadas a su manejo en el cultivo de banano (Musa × paradisiaca L.) en el cantón Pueblo Viejo [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/17061/PI-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chinga, D. (2022). *Proceso del cultivo de banano [Archivo PDF].* Obtenido de http://cec.espol.edu.ec/Ebook_Infografias_proceso_del_cultivo_de_banano.pdf

Colagiero, M., Pocasangre, L., Ciancio, A., Pentimone, I., & Rosso, C. (9 de julio de 2025). *Farming System and Nematodes Affect the Rhizosphere Microbiome of Tropical Banana Plants.* doi:https://doi.org/10.1111/1758-2229.70155

Cruz, J., Mena, M., Gómez, A., Morán, C., & Cruz, C. (2024). Efecto de nematicida químico y biológico más calostro de pseudotallo para manejos de nematodos en el cultivo de banano. *Ciencia digital, 6*(4), 85-100. Obtenido de https://alfapublicaciones.com/index.php/alfapublicaciones/article/view/549/1459

Dionicio, J. (2021). *Determinación y optimización de la fruta no exportable (merma) en el culltivo de banano (Musa AAA) causado por factores ambientales en la finca sultana, apartadó - Antioquía [Tesis de Grado, Universidad de Córdoba].* Obtenido de https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/477e9237-7978-42b0-bb3e-7f4ea2d8d291

Garzón, A. (2021). *Efecto del Paecilomyces lilacinus para la prevención de nematodos en el cultivo de platano (Musa paradisiaca) [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador].* Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GARZON%20MENDEZ%20ARGEMIS%20ALEXANDER.pdf

Giri, B., Rawat, R., Saxena, G., Manchanda, P., ShengWu, Q., & Sharma, A. (7 de marzo de 2022). *Effect of Rhizoglomus fasciculatum and Paecilomyces lilacinus in the biocontrol of root-knot nematode, Meloidogyne incognita in Capsicum annuum L.* doi:https://doi.org/10.1080/19420889.2021.2025195

Guevara, D. (2022). Efecto de micorrizas y fósforo en el crecimiento del hijo de banano [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Obtenido de https://1library.co/article/taxonom%C3%ADa-del-banano-bases-te%C3%B3ricas-marco-

Khan, M., & Kiwamu, T. (24 de Marzo de 2023). *Purpureocillium lilacinum for plant growth promotion and biocontrol against root-knot nematodes infecting eggplant.* doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283550

Larrea, S. (2021). *Identificación de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de banano (Musa paradisiaca) en los Cantones de Balao y el Triunfo, Guayas [Tesis de Postgrado, Universidad Agraria del Ecuador].* Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LARREA%20BERNAL%20SILVANA%20MARIUXI_compressed.pdf

León, D. (2024). *Efecto de nematicidas orgánicos y químicos en el control de nemátodos en el cultivo de banano, Balao-Ecuador [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador].* Obtenido de

https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LEON%20MORAN%20DIMAS%20ADRIAN.pdf

Leyva, A. (2020). Respuesta agronómica de plantas de banano cultivar 'FHIA-17' (Musa AAAA) obtenidas por cultivo de tejidos y por propagación agámica. *Biotecnología Vegetal, 20*(2), 83-91. Obtenido de https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/660/html

Loor, S. (2020). *Identificación y caracterización morfológica del agente patógeno que causa la enfermedad del "dedo pudre" en el cultivo de Banano [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].* Obtenido de https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c036270-2080-4505-91f1-b9985ef39307/content

Lopéz, C., Barrezueta, S., & Jaramillo, E. (2022). Efecto de hongos entomopatógenos para el control de nematodos en el sistema radicular del banano. *Revista Cientifica Agroecosistemas, 10*(3), 12-15. Obtenido de https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/568

Lopez, H., Soilam, L., Caballero, G., & Grabowski, C. (2021). Manual de Nematología Agrícola. Bases y Procedimientos. *Manual de Nematologia Agricola, 6*(2), 13-18. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357376079_Manual_de_Nematologia_Agricola_Bases_y_Procedimientos

Macias, C., Valarezo, F., Tapia, D., Canchignia, H., Cedeño, A., & Garcia, 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), 6-10. Obtenido de https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/705

Medina, R. (2020). *Manejo integrado del nematodo (Radopholus similis) en el cultivo de banano (Musa AAA) [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8373/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000256.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Miranda, F., Garzón, V., Carvajal, H., & Rentería, J. (2022). *Análisis de la producción y exportaciones del sector bananero ecuatoriano en el periodo 2010 - 2020.* Obtenido de https://mail.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/

Neval. (22 de mayo de 2022). *Control Radopholus banana.* Obtenido de Neval More than labs: https://www.ne-val.com/control-radopholus-banana/#:~:text=Una%20de%20las%20medidas%20de,una%20menor%20reproducci%C3%B3n%20de%20nematodos.

Palomeque, J. L. (2016). Propuesta de una ruta turística bananera en base a la historia regional, Provincia El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad, 8*(3), 141-150. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202016000300019&script=sci_arttext

Passos, A., Rocha, A., W, S., Souza, L., & Perito, E. (2024). *Phytoparasitic Nematodes of Musa spp. with Emphasis on Sources of Genetic Resistance: A Systematic Review.* doi:https://doi.org/10.3390/plants13101299

Pita, J. (2023). *Efecto de tres alternativas biológicas para el control de Radophulus similis en el cultivo de banano zona Babahoyo [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14824/PI-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quimi, L. (2024). *Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala].* Obtenido de https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23512/1/Trabajo_Titulacion_3258.pdf

Ramirez, J. (2022). *Evaluación de la efectividad del hongo (Paecilomyces lilacinus), en el control de nematodos del cultivo de lulo (Solanum quitoense), en la finca la Fortuna Municipio de Pitalito [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y Distancia].* Obtenido de https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/49894/1/Jhramirezl.pdf

Rodriguez, J. (2020). *Mejora para la distribución de cartón en el proceso de comercialización y exportación de banano de la empresa EXPORSWEET S.A. para el ejercicio económico del año 2018 [Proyecto de Grado, Instituto Superior Universitario Bolivariano de Tecnología].* Obtenido de https://dspace.itb.edu.ec/handle/123456789/3851

Rodriguez, M., & Ventura, V. (2020). *Los nematodos parásitos de plátanos y bananos [Archivo PDF].* Obtenido de http://www.projectmusa.eu/wp/wp-content/uploads/2019/05/manual-NEP-banano-MUSA1-Arreglado-small.pdf

Rojas, C. (12 de mayo de 2022). *Requerimientos de clima y cuelo para el cultivo de Banano*. Obtenido de Intagri: https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano

Ruiz, R. (2020). *Beneficios del uso de las diatomeas para reducir las poblaciones de nemátodos Radopholus similis y Meloidogyne spp. en el cultivo de banano [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].* Obtenido de https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13169

Salem, H., Ahmed, M., Amira, M., Mohamed, T., Saqer, S., Taia, A., & Ayman, E. (2022). Control biológico: Un enfoque efectivo contra los nematodos utilizando plantas de pimienta negra (Piper nigrum L.). *Revista Saudita de Ciencias Biológicas, 29*(4), 2047-2055. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X22000043

Sánchez, G. (2024). Vaniva® 45 SC con Tymirium® technology en el control del nematodo Radopholus similis en el cultivo de banano. *Revista de Tecnología y Ciencia, 1*(1), 6-12. Obtenido de https://acorbat-rtc.com/assets/doc/6.%20Fitosanidad/41.%20ARTC2461.pdf

Senthilkumar, M. (2020). Microbios beneficiosos en la agroecología. *Science Direct, 5*(1), 793-808. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128234143000411?via%3Dihub

Torres, M. (2023). *Alternativas biológicas para el reemplazo de nematicidas químicos en el Ecuador [Archivo PDF].* Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23706/1/CD%2013018.pdf

Vélez, J., & Álvarez, B. (2024). *Efectividad de Paecilomyces lilacinus como un biocontrolador de nematodos en la industria bananera [Tesis de Grado, Universidad Estatal de Milagro].* Obtenido de https://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/7242

Vera, M., Castañeda, R., Sosa, D., Arias, C., Quevedo, A., & Ratti, M. (2024). Compuestos bioactivos de bacterias y hongos en el control de nematodos fitopatógenos: mecanismos de acción, interacciones y aplicaciones. *Scientia Agropecuaria, 15*(1), 15-18. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172024000100011

Vera, M., López, S., Naranjo, J., Morán, J., Quevedo, A., & Ratti, M. (2023). Hongos nematofas: Una revisión de su potencial de solubilización de su fósforo. *Microorganisms, 11*(1), 134-137. Obtenido de https://www.mdpi.com/2076-2607/11/1/137

ANEXOS

Anexo 1. Datos de campo diámetro de las plantas de banano a los 0, 15, 30 y 45 día

Tratamiento	Repeticiòn	Diámetro de planta a los 0 días	Diámetro de planta a los 15 días	Diámetro de planta a los 30 días	Diámetro de planta a los 45 días
1	1	5,04	5,64	7,17	8,27
2	1	5,18	5,58	7,08	8,66
3	1	4,98	5,38	7,16	8,91
4	1	4,99	5,39	6,686	8,07
1	2	5,08	5,69	7,31	8,41
2	2	5,19	5,59	7,09	8,62
3	2	4,96	5,36	7,11	8,86
4	2	4,97	5,37	6,736	8,12
1	3	5,04	5,65	7,29	8,39
2	3	5,16	5,56	7,06	8,59
3	3	5,01	5,36	7,16	8,88
4	3	4,97	5,37	6,666	8,05
1	4	5,08	5,69	7,35	8,49
2	4	5,2	5,6	7,16	8,7
3	4	4,97	5,37	7,08	8,78
4	4	4,99	5,39	6,73	8,08
1	5	5,04	5,65	7,21	8,33
2	5	5,16	5,56	7,06	8,53
3	5	4,99	5,39	7,09	8,54
4	5	4,97	5,37	6,79	8,14

Anexo 2. Análisis de varianza del diámetro de las plantas de banano a los 0, 15, 30 y 45 días

Diámetro de plantas a los 0 días

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Diámetro de planta a los 0..	20	0,97	0,95	0,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	7	0,02	52,86	<0,0001
Tratamiento	0,13	3	0,04	122,52	<0,0001
Repetición	8,8E-04	4	2,2E-04	0,62	0,6589
Error	4,3E-03	12	3,6E-04		
Total	0,14	19			

Diámetro de plantas a los 15 días

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Diámetro de planta a los 1..	20	0,99	0,99	0,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,32	7	0,05	182,08	<0,0001
Tratamiento	0,32	3	0,11	422,58	<0,0001
Repetición	1,7E-03	4	4,3E-04	1,70	0,2150
Error	3,0E-03	12	2,5E-04		
Total	0,33	19			

Diámetro de planta a los 30 días

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Diámetro de planta a los 3..	20	0,96	0,93	0,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,81	7	0,12	38,44	<0,0001
Tratamiento	0,81	3	0,27	88,85	<0,0001
Repeticiòn	0,01	4	1,9E-03	0,63	0,6513
Error	0,04	12	3,0E-03		
Total	0,85	19			

Diámetro de planta a los 45 días

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Diámetro de planta a los 4..	20	0,94	0,90	1,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,43	7	0,20	24,77	<0,0001
Tratamiento	1,39	3	0,46	56,16	<0,0001
Repetición	0,04	4	0,01	1,23	0,3485
Error	0,10	12	0,01		
Total	1,53	19			

Anexo 3. Datos de campo altura de las plantas de banano a los 0, 15, 30 y 45 días

Tratamiento	Repeticiòn	Altura de planta a los 0 días	Altura de planta a los 15 días	Altura de planta a los 30 días	Altura de planta a los 45 días
1	1	89,3	96,5	102,6	106,5
2	1	89,1	96,4	107,4	116,4
3	1	85,3	91,3	116	125
4	1	91,5	100,8	105,9	110,9
1	2	90,7	103,7	107,7	113,7
2	2	88,8	96,7	107,9	117,2
3	2	85,1	91,1	115,3	124
4	2	90,7	100	107,2	112
1	3	89,1	96,4	108	115,2
2	3	88,9	96,2	108,2	117,2
3	3	85,5	91,5	114,7	122
4	3	91,2	100,5	106	111,4
1	4	89,5	96,8	108,7	115,2
2	4	89,5	96,6	109,1	118,1
3	4	85,1	91,1	114,4	121,5
4	4	91,7	99,4	106,5	111,7
1	5	89,1	96,4	108	113,7
2	5	88,7	96	106,8	115,2
3	5	85,8	91,8	113,5	119,4
4	5	91,6	100,9	107	112,8

Anexo 4. Análisis de varianza de la altura de las plantas de banano a los 0, 15, 30 y 45 días

Altura de planta a los 0 días

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Altura de planta a los 0 d..	20	0,97	0,95	0,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94,52	7	13,50	53,25	<0,0001
Tratamiento	94,36	3	31,45	124,04	<0,0001
Repeticiòn	0,15	4	0,04	0,15	0,9590
Error	3,04	12	0,25		
Total	97,56	19			

Altura de planta a los 15 días

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Altura de planta a los 15 ..	20	0,87	0,79	1,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	225,40	7	32,20	11,39	0,0002
Tratamiento	215,79	3	71,93	25,45	<0,0001
Repeticiòn	9,61	4	2,40	0,85	0,5205
Error	33,91	12	2,83		
Total	259,31	19			

Altura de planta a los 30 días

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Altura de planta a los 30 ..	20	0,90	0,84	1,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	231,44	7	33,06	15,74	<0,0001
Tratamiento	224,03	3	74,68	35,54	<0,0001
Repeticiòn	7,41	4	1,85	0,88	0,5034
Error	25,21	12	2,10		
Total	256,65	19			

Altura de planta a los 45 días

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Altura de planta a los 45 ..	20	0,85	0,76	2,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	359,33	7	51,33	9,40	0,0005
Tratamiento	346,03	3	115,34	21,12	<0,0001
Repeticiòn	13,30	4	3,32	0,61	0,6642
Error	65,54	12	5,46		
Total	424,87	19			

Anexo 5. Datos de campo longitud de la raíz de banano a los 45 días

	Repeticiòn						
Tratamiento	I	II	III	IV	V	Suma	Promedio
1	50,2	45,0	49,1	49,8	51,6	246,7	49,34
2	50,3	50,6	51	50,5	49,9	252,3	50,46
3	52,6	52,2	51,8	53,6	53,4	263,6	52,72
4	47,8	48,1	48,3	48,5	48,7	241,4	48,28

Anexo 6. Análisis de varianza de la longitud de la raíz de banano a los 45 días

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Longitud de la raíz a los ..	20	0,77	0,63	2,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64,74	7	9,25	5,66	0,0045
Tratamiento	56,09	3	18,70	11,44	0,0008
Repeticiòn	8,64	4	2,16	1,32	0,3170
Error	19,62	12	1,63		
Total	84,35	19			

Anexo 7. Cálculo de dosis y aplicación de *Paecilomyces lilacinus* en los tratamientos del ensayo

Anexo 8. Toma de datos a los diferentes tratamientos para obtener información de las variables altura y diámetro

Anexo 9. Toma de datos realizado frente al hijo para extraer la información de la variable longitud de las raíces

Anexo 10. Muestras de raíces y suelo colectadas e identificadas para análisis de laboratorio

Anexo 11. Culminación del trabajo de investigación: Aplicación de biotecnología para el control de nematodos en el cultivo de banano, cantón El Triunfo, Ecuador

Figura 3.

Resultados del análisis nematológico al inicio de la investigación

REPÚBLICA DEL ECUADOR

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR

RESULTADO NEMATOLÓGICO

CULTIVO:	BANANO	**PLANTAS/MUESTRA:**	5
PROPIETARIO:	DIANA KARINA MOSQUERA CADENA	**FECHA DE MUESTREO:**	24/01/25
REMITENTE:	DIANA KARINA MOSQUERA CADENA	**FECHA DE INGRESO:**	24/01/25
PREDIO:	S/N	**FECHA DE ANÁLISIS:**	30/01/25
LOCALIZACIÓN:	EL TRIUNFO.- GUAYAS	**No. MUESTRAS:**	1
SITIO DE MUESTREO:	FRENTE AL HIJO		

Tipo de Muestras: **Suelo ( )** **Raíces (X)** **Otros ( )**

Identificación	PESO DE RAÍCES*(g)					NEMÁTODOS/100 g RAÍCES TOTALES			
	VIVAS	MUERTAS		TOTAL	% VIVAS	R	H	M	P
		Nemátodo	Otra causa						
MUESTRA 1	40,0	0,0	5,0	45,0	88,9	1000	1500	0	0

***Los pesos de las raíces están expresados por muestra**

R=*Radopholus similis* **H=***Helicotylenchus multicinctus* **M=***Meloidogyne* **P=***Pratylenchus*

Niveles críticos *Radopholus similis*:

Muestreo intersección madre hijo: 10000 / 100 g de raíces.
Muestreo hijo: 2500 / 100 g de raíces.

Niveles críticos *Helicotylenchus multicinctus*:

Muestreo intersección madre hijo: 30000 / 100 g de raíces.
Muestreo hijo: 7500 / 100 g de raíces

Observación:
Los niveles críticos son referenciales, y dependen de las condiciones agroecológicas donde fueron tomadas las muestras.
Para mayor información dirigirse al Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental Litoral Sur.

Ing. Alex Delgado Párraga, MSc.
Investigador Agregado 2
Responsable de Análisis/Dpto. Producción y Servicios.

Activar V
Ve a Config

Figura 4.

Resultados del análisis nematológico al finalizar de la investigación

REPÚBLICA DEL ECUADOR

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR

RESULTADO NEMATOLÓGICO

CULTIVO:	BANANO	**PLANTAS/MUESTRA:**	5
PROPIETARIO:	DIANA KARINA MOSQUERA CADENA	**FECHA DE MUESTREO:**	31/03/25
REMITENTE:	DIANA KARINA MOSQUERA CADENA	**FECHA DE INGRESO:**	31/03/25
PREDIO:	S/N	**FECHA DE ANÁLISIS:**	04/04/25
LOCALIZACIÓN:	EL TRIUNFO.- GUAYAS	**No. MUESTRAS:**	4
SITIO DE MUESTREO:	FRENTE AL HIJO		

Tipo de Muestras: **Suelo ( )** **Raíces (X)** **Otros ( )**

Identificación	PESO DE RAÍCES*(g)					NEMÁTODOS/100 g RAÍCES TOTALES			
	VIVAS	MUERTAS		TOTAL	% VIVAS	R	H	M	P
		Nemátodo	Otra causa						
T1	45,0	10,0	0,0	55,0	81,8	1000	0	0	0
T2	20,0	5,0	5,0	30,0	66,7	500	0	0	0
T3	10,0	20,0	0,0	30,0	33,3	500	0	0	0
T4	20,0	5,0	5,0	30,0	66,7	1500	0	0	0

***Los pesos de las raíces están expresados por muestra**

R=*Radopholus similis* **H**=*Helicotylenchus multicinctus* **M**=*Meloidogyne* **P**=*Pratylenchus*

Niveles críticos *Radopholus similis*:

Muestreo intersección madre hijo: 10000 / 100 g de raíces.
Muestreo hijo: 2500 / 100 g de raíces.

Niveles críticos *Helicotylenchus multicinctus*:

Muestreo intersección madre hijo: 30000 / 100 g de raíces.
Muestreo hijo: 7500 / 100 g de raíces

Observación:
Los niveles críticos son referenciales, y dependen de las condiciones agroecológicas donde fueron tomadas las muestras.
Para mayor información dirigirse al Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental Litoral Sur.

Ing. Alex Delgado Párraga, MSc.
Investigador Agregado 2
Responsable de Análisis/Dpto. Producción y Servicios.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador