



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

Inoculación combinada de hongos endófitos para el manejo de *Radopholus similis* en plántulas de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en condiciones semicontroladas

Autor

Br. Bryan José Quezada Medina
Br. Roberto Carlos Chavarría Mairena

Asesor

MSc. Markelyn José Rodríguez Zamora
PhD. Jorge Ulises Blandón Díaz
PhD. Alfonso Martinuz Guerrero

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero en Sanidad Vegetal

Managua, Nicaragua
Enero, 2026

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero en Sanidad Vegetal

Miembros del Comité Evaluador

Jorge Antonio Gómez
Presidente

MSc. Ariel Mena Garcia
Secretario

MSc. Santos David Romero
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 30/enero/2026

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a Dios y a la virgencita de Guadalupe que me brindaron la sabiduría y paciencia necesaria que necesitaba para terminar mi carrera universitaria.

A la memoria de Rosa Emilia Urroz por dejar un legado de humildad y mucho amor que me fue transmitido a ser la persona que ahora soy.

A la memoria de mi tío José Esteban Meza Sotelo que gracias a el di el primer paso en mi vida universitaria iluminando mi camino en cada uno de mis proyectos.

A mi madre Ilthza Esperanza Medina Sotelo por todo el apoyo incondicional que me brindó, que me forjo como un hombre de carácter con principios y mucha perseverancia, gracias por todos los sacrificios que hizo para que yo pudiera culminar con esta etapa profesional en mi vida.

A mi abuela Francisca Catalina Sotelo Urroz por todos sus consejos que me alentaron para salir adelante, mi mamá Rosa Amalia Medina Sotelo por siempre verme como un hijo y guiarme para ser un hombre de bien, mi tía Francis Junieth Medina Sotelo por ser una de las persona en motivarme a convertirme en un profesional y a mis hermanos Roxana, Ronald, Christofer, Raechel, Rossmery y Jathniel que siempre están en cada uno de mis logros.

A mi novia Mildred Carmen Rocha Dias, tu amor y apoyo incondicional me han guiado a lo largo de este arduo camino, agradezco cada palabra de aliento, cada sonrisa y cada momento de paciencia.

Br. Bryan José Quezada Medina

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios porque es el rey de reyes y señor de señores el que todo lo puede el que siempre estuvo conmigo en todo momento, dándome salud, sabiduría, entendimiento y fortaleza para lograr esta meta tan importante en mi vida.

A la memoria de mi abuelo Margarito Chavarría quien dejo un gran legado para mí y quien de seguro estaría más que feliz de verme triunfar como un buen profesional y ser humano.

A mis padres, Edgard Ramon Chavarría Cruz y Eduarda Mairena Meza, quienes con mucho amor y esfuerzo me han dado todo el apoyo en todas las etapas de mi vida.

También a mis familiares que siempre han estado conmigo en todo este camino apoyándome con buenos consejos y brindándome palabras de aliento en todo momento para poder seguir adelante.

También dedico este trabajo a mi amigo y compañero de tesis Bryan José Quezada Medina quien siempre estuvo en todo momento desde que comenzamos con nuestros estudios hasta culminar este trabajo de tesis.

Br. Roberto Carlos Chavarría Mairena

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre ser el pilar que me llevo a elegir esta profesión tan importante en mi vida profesional, por todas las bendiciones que derramo sobre mí a lo largo de esta trayectoria ya que gracias a el estoy teniendo la oportunidad de convertirme en un profesional.

A toda mi familia que siempre motivarme, alentarme, guiarme por un camino de bien, un apoyo incondicional que me brindaron desde el inicio de mi formación, gracias a Dios y a ellos estoy culminando la etapa más importante en mi vida.

A la Universidad Nacional agraria (UNA), por ser un impulso personal importante en la adquisición de nuevos conocimientos en el ámbito académico.

A mis asesores Ing. MSc. Markelyn José Rodríguez, PhD. Jorge Ulises Blandón Diaz, PhD. Alfonso Martinuz Guerrero les expreso mi agradecimiento por sus perspicaces observaciones y constructivos comentarios que han sido cruciales para la consolidación de esta tesis.

A mi compañero de tesis Roberto Carlos Chavarría Mairena agradecido de poder compartir esta etapa universitaria con un verdadero amigo, compañero de tesis y a mis amistades que me dejo la universidad

Br. Bryan José Quezada Medina

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por el don de la vida y por toda la sabiduría que me regala día a día para poder seguir adelante en cada una de las metas que me propongo.

A mis Padres quienes a lo largo de estos cinco años me apoyaron en todo lo que necesitaba, principalmente con su amor y sus oraciones a Dios por mí en cada momento.

A la Universidad Nacional Agraria (UNA), por haber sido un pilar esencial en mi crecimiento intelectual y un impulso decisivo en mi búsqueda de nuevos saberes.

A mis asesores Ing. MSc. Markelyn Rodríguez Zamora, quien siempre nos brindó su apoyo durante todo el proceso de nuestra tesis, dándonos la confianza y aprendiendo de sus enseñanzas. También al PhD. Jorge Ulises Blandón Díaz y PhD. Alfonso Martínuz Guerrero por todo su apoyo.

Agradezco profundamente a mis amistades Fernanda, Henry, Andy, Edgar, Fernando, Dilan, y a todos mis compañeros de clase, por su constante apoyo y por los inolvidables momentos que compartimos a lo largo de este camino. Su compañía y aliento fueron fundamentales en cada etapa de este proceso.

De igual manera, expreso mi profundo agradecimiento a todos mis familiares, quienes siempre estuvieron pendientes de mí, brindándome su apoyo emocional, sabios consejos y palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante en cada etapa de este camino.

Br. Roberto Carlos Chavarría Mairena

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PAGINÁ
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Importancia económica de <i>R. similis</i>	4
3.2. Taxonomía de <i>R. similis</i>	4
3.3. Ciclo de vida	4
3.4. Origen y distribución <i>R. similis</i>	5
3.5. Daños causados por <i>R. similis</i>	5
3.6. Control de <i>R. similis</i>	5
3.7. Hongos endófitos	6
3.8. Estudios realizados de hongos endófitos sobre <i>R. similis</i>	6
3.9. Inductores de resistencia de <i>F. oxysporum</i>	7
3.10. Inductores de resistencia de <i>Trichoderma</i> spp.	8
3.11. Inductores de resistencia de <i>Purpureocillium</i> spp.	9
3.12. Mecanismos de control de hongos endófitos contra <i>R. similis</i>	10
3.13. Inoculación combinada para el control de <i>R. similis</i>	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación del estudio	11
4.2. Diseño metodológico	11
4.3. Diseño experimental	12
4.4. Manejo del experimento	12
4.5. Inoculación de los agentes biológicos	13
4.6. Inoculación de las plantas en estudio	13
4.7. Variables evaluadas	14

4.8. Recolección de datos	15
4.9. Análisis de datos	15
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
VI. CONCLUSIONES	27
VII. RECOMENDACIONES	28
VIII.LITERATURA CITADA	29
IX. ANEXO	33

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Tratamientos evaluados	12
2	Variables evaluadas en el estudio	14

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA		PÁGINA
1	Ciclo de vida de <i>Radophulus similis</i>	5
2	Cepa de fusarium oxysporum no patogénica	8
3	Cepa de Trichoderma spp. No patogénica	9
4	Cepa de <i>Purpureocillium</i> spp.	9
5	Ubicación del estudio experimental	11
6	Efecto de inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp. y <i>Fusarium oxysporum</i> sobre la densidad de <i>R. similis</i> en plántulas un vitro del cuerno enano con seis semanas después de la inoculación.	16
7	Control biológico mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i> .	19
8	Circunferencia del pseudotallo mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i> .	20
9.	Efecto de la altura mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i> .	21
10	Efecto del peso total de las plantas mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i> .	22
11.	Efecto del peso de raíz en las plantas mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i> .	24
12	Efecto del peso foliar de las plantas mediante inoculaciones combinadas de <i>Trichoderma</i> sp, <i>Paecilomyces</i> sp y <i>Fusarium oxysporum</i>	25

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Análisis de varianza de la variable de 10 gramos de raíz	33
2	Separación de medias de variable de nematodos en 10 gramos de raíz	33
3	Análisis de varianza de la variable de porcentaje de biocontrol del nematodo R. Similis	33
4	Separación de media según la variable de porcentaje de biocontrol	34
5	Análisis de varianza de diámetro de tallo	34
6	Separación de medias según la variable de diámetro de tall	34
7	Análisis de varianza de la variable de altura de planta	35
8	Separación de medias según la variable de altura de planta	35
9	Análisis de variable de la variable de peso de raíz	35
10	Separación de medias según la variable de peso de raíz	37
11	Análisis de varianza de la variable de peso foliar	36
12	Separación de medias según la variable de peso foliar	36
13	Análisis de varianza de la variable de porcentaje de penetración	37
14	Separación de medias según la variable de porcentaje de penetración	37

RESUMEN

Radopholus similis es un nematodo parásito del banano y plátano (*Musa* spp.) causan pérdidas en la producción y productividad del cultivo de *musa paradisiaca* afectando a pequeños y medianos productores. Se evaluó el uso de hongos endofíticos para suprimir el uso de nematicidas sintético para el manejo de *R. similis* brindando una alternativa de control climáticamente inteligente en la sostenibilidad de los sistemas convencionales de producción de plátano. Para ello se evaluó un diseño completo al azar con siete tratamientos en condiciones semicontroladas. Donde se aplicaron los tratamientos *Trichoderma* spp., *Fusarium oxysporum* y *Purpureocillium* spp en inoculaciones simples y combinadas. Se evaluaron variables relacionadas con el desarrollo vegetal (altura, peso, volumen y longitud de raíces, biomasa foliar) y el comportamiento nematológico (densidad de población, porcentaje de penetración y biocontrol). Los resultados demostraron que la inoculación combinada de hongos endófitos redujo significativamente la población de *R. similis*, redujo la frecuencia de colonización de raíces y no hubo promoción del crecimiento vegetal. La inoculación de hongos endofíticos en plántulas de plátano representa una estrategia biológica eficaz para el manejo de *Radopholus similis* en condiciones in vitro donde redujeron las poblaciones en un 85 %.

Palabras clave: Nematodos fitoparásitos, control biológico, antagonismo microbiano, nematodo barrenador.

ABSTRACT

Radopholus similis, a parasitic nematode of banana and plantain (*Musa* spp.), is a major constraint to yield and productivity, particularly affecting small- and medium-scale producers. This study assessed the potential of endophytic fungi as a biological alternative to synthetic nematicides for the management of *R. similis*, aiming to provide a climate-smart strategy for sustainable plantain production systems. A completely randomized design comprising seven treatments was implemented under semi-controlled conditions, including single and combined inoculations of *Trichoderma* spp., *Fusarium oxysporum*, and *Purpureocillium* spp. Plant growth parameters (height, biomass, root volume and length, foliar biomass) and nematological variables (population density, penetration rate, and biocontrol efficacy) were evaluated. Combined inoculation of endophytic fungi significantly reduced *R. similis* populations, decreased root colonization frequency, and enhanced plant growth. Under in vitro conditions, endophytic fungal inoculation achieved up to 85% reduction in nematode populations, demonstrating its potential as an effective biological strategy for nematode management in plantain cultivation.

Key words: Plant-parasitic nematodes, biological control, microbial antagonism, burrowing nematode.

I. INTRODUCCIÓN

El nematodo fitoparásito *Radopholus similis* (Cobb 1893), es uno de los principales nematodos causantes de problemas en el mundo, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a los daños ocasionados en la raíz y el cormo de plátanos y banano. *R. similis* produce lesiones de longitud variables de 5 o más cm, con forma de estrías, éstas inicialmente son de color amarillo claro, luego rosado rojizas y finalmente cafés o negras; en algunos casos produce pudriciones en el tejido que modifican la anatomía cilíndrica original de las raíces (Arboleda et al. 2016).

Los hongos endófitos son microorganismos que pasan la mayor parte o la totalidad de su ciclo de vida, en los tejidos de las plantas hospederas sin causarles daños aparentes. El termino endofitismo describe una asociación transitoria, asintomática y no obstructiva basada en la localización dentro de los tejidos vivos de la planta, sin considerar su función, estos hongos han sido encontrados en una amplia variedad de plantas, incluyendo pastos, algas, musgos y plantas vasculares, en diversas regiones del mundo, desde el ártico hasta los trópicos, así como en las áreas agrícolas. Los bosques templados y tropicales en particular albergan una gran biodiversidad de plantas y en consecuencia una cantidad significativa de hongos endofíticos (Sánchez et al.,2013).

Los hongos endófitos han sido estudiados ultimadamente debido a su alta capacidad nematicida. Estos hongos endofíticos colonizan los tejidos u órganos internos de las plantas sin causar ningún tipo de síntomas. Cuando la colonización de los tejidos le confiere una protección a la planta hospedera contra el ataque del nematodo fitoparásitos *R. similis*, estos hongos endófitos han demostrado tener una gran capacidad nematicida (Morales-García, 2014)

Una de las principales preocupaciones es la contaminación del agua. Los nematicidas, al ser aplicados en los suelos agrícolas, pueden filtrarse hacia fuentes de agua superficial y subterránea. Esta infiltración representa un riesgo para la calidad del agua potable, afectando tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas acuáticos. Además, el uso inadecuado o excesivo de estos químicos puede generar contaminación atmosférica,

liberando compuestos volátiles que representan un peligro para la salud de las personas expuestas, especialmente trabajadores agrícolas y residentes cercanos a las áreas de aplicación futuro (Castillo Arévalo & Machado, 2021).

Otro aspecto relevante es el desarrollo de resistencia por parte de los nematodos a los compuestos químicos de los nematicidas. Este fenómeno ocurre cuando, debido a la exposición continua, los nematodos desarrollan mecanismos de adaptación que reducen la eficacia de los tratamientos, lo que obliga a incrementar las dosis o a buscar nuevos productos, generando un círculo vicioso que puede empeorar los impactos ambientales. (Garcia, 2022).

Por último, el uso de nematicidas no solo afecta a los organismos objetivo, sino también a los organismos benéficos que habitan en el suelo. Entre estos se encuentran bacterias, hongos y otros microorganismos esenciales para mantener la fertilidad y estructura del suelo. La pérdida de estas comunidades benéficas puede alterar gravemente los ciclos naturales del suelo, afectando su capacidad para sostener cultivos en el futuro

El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de hongos endofíticos para suprimir el uso de nematicidas sintético para el manejo de *R. similis* brindando una alternativa de control climáticamente inteligente en la sostenibilidad de los sistemas convencionales de producción de plátano.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar el efecto de la inoculación combinada de hongos endófitos (*Trichoderma* spp., *Fusarium oxysporum* y *Purpureocillium* spp.) para el manejo de *Radopholus similis* y en el crecimiento de plántulas de plátano (*Musa paradisiaca* L.) bajo condiciones semicontroladas

2.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de las inoculaciones combinadas de hongos endófitos sobre la densidad poblacional y el porcentaje de penetración de *Radopholus similis* en raíces de plántulas de plátano.

Cuantificar el porcentaje de control biológico de *Radopholus similis* en respuesta a la inoculación de hongos endófitos, en comparación con un tratamiento testigo.

Evaluar el efecto de las inoculaciones combinadas de hongos endófitos sobre variables de crecimiento vegetal de plántulas de plátano, tales como altura, diámetro del Pseudotallo, biomasa y desarrollo radicular.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Importancia económica de *R. similis*

El nematodo barrenador *R. similis* es el más destructivo en las zonas productoras de Centroamérica y el Caribe. Esta plaga ataca el sistema radical provocando la caída y volcamiento de las plantas y cuando este fenómeno ocurre en plantas que han alcanzado el periodo de floración-fructificación, provoca pérdidas económicas significativas que oscilan entre 30 a 50 % (García Morales, 2014).

En (Costa Rica y Panamá) y (Colombia y Ecuador), las pérdidas, principalmente debido al desarraigo de plantas, oscilan entre el 12% y el 18%. Sin embargo, en el de Valle de Sula, Honduras, estas pérdidas son menores, alrededor del 5%. Además, el impacto del daño está influenciado por la patogenicidad de las poblaciones de *R. similis*, que varía considerablemente entre diferentes regiones productivas. (Guzmán, 2011).

3.2. Taxonomía de *R. similis*

Según morales (2014), *R. similis* es un nematodo fitoparásito de importancia económica mundial, perteneciente al reino Animalia, filo Nematoda, clase Secernentea, orden Tylenchida, familia Pratylenchidae, género *Radopholus* y especie *similis* (Cobb, 1893; Thorne, 1949). Comúnmente conocido como barrenador, este organismo es un endoparásito migratorio que invade el tejido vascular de las raíces en cultivos agrícolas significativos, tales como el banano (*Musa spp.*), los cítricos (*Citrus spp.*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

3.3. Ciclo de vida

Hernández (2003), Su ciclo biológico inicia con las hembras depositando huevos dentro de los tejidos de las raíces huésped, completando su desarrollo en aproximadamente 18 a 25 días, dependiendo de las condiciones ambientales. Durante este proceso, el nematodo no solo causa daños físicos al tejido radicular mediante su alimentación y migración, sino que también facilita la entrada de patógenos secundarios, lo que agrava la afectación a la planta huésped. Este daño impacta severamente en la salud del sistema radicular, resultando en una reducción significativa de la productividad y el rendimiento de los cultivos afectados.

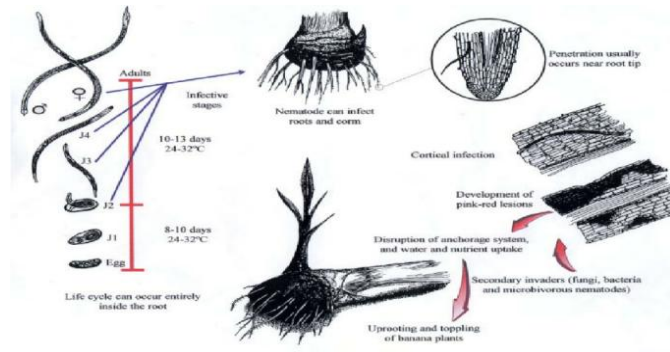


Figura 1. Ciclo de vida de *Radopholus similis*

3.4. Origen y distribución *R. similis*

R. similis es un género originario de Australia y Nueva Zelanda, se encuentra en las áreas tropicales y subtropicales del mundo, Después del primer registro, *R. similis* ha sido encontrado en las regiones tropicales y subtropicales donde crece banano y plátano, excepto en Israel, Islas Canarias, Islas Cabo Verde, Chipre, Creta, Mauricio y Taiwán (Hernández, 2003).

3.5. Daños causados por *R. similis*

Radopholus similis, un nematodo endoparásito migratorio, se establece como uno de los patógenos más agresivos que afectan los cultivos tropicales, en particular aquellos de banano y plátano. Este organismo invasor tiene la capacidad de penetrar tanto las raíces como los rizomas de las plantas hospederas, desencadenando procesos de necrosis y generando cavidades internas que deterioran significativamente la funcionalidad del sistema radicular.

Como consecuencia de este daño estructural, las plantas manifiestan síntomas de desnutrición y marchitez progresiva. En etapas avanzadas de infestación, el deterioro crítico del sistema de raíces puede culminar en un colapso estructural de la planta, comprometiendo no solo su estabilidad física, sino también su productividad agrícola (Guzmán, 2011).

3.6. Control de *R. similis*

Según Pérez et al. (2013), *R. similis*, es un nematodo muy destructivo que afecta rizófera y cormo de la planta, como alternativas de control se han venido realizando estudios, mediante

la utilización de hongos endófitos esto con el objetivo que le brinden protección a la planta sin causarle daño, mediante estudios que se realizan, el uso de estos hongos endófitos.

Es de mucha importancia porque su capacidad de colonizar es muy excelente y reducen significativamente las poblaciones de *R. similis* uno de los hongos que más se utilizan es la cepa de *Fusarium oxysporum* no patogénica también *Trichoderma spp* han registrado buenos resultados en cuanto a su antagonismo reduciendo la cantidad de nematodos.

3.7. Hongos endófitos

Los hongos endófitos son una de las alternativas más importantes para el control biológico. Estos son hongos filamentosos inherentes a las plantas que les sirven de hospedero con las cuales realizan una asociación específica que genera mutuos beneficios. La interacción entre la planta y el hongo endófito se identifica por su carácter asintomáticos la planta provee al hongo alimento, hospedaje y protección. (Abello & Kalem, 2007).

Para que un microorganismo endofítico sea considerado un agente de biocontrol efectivo, como lo señala (Chavez, Pocasangre, Elango, Rosales, & Sikora, 2009), es fundamental que no actúe como patógeno en plantas, humanos ni animales. Este debe demostrar una alta capacidad para colonizar y reproducirse en los tejidos internos de las plantas tras su inoculación, asegurando una población suficientemente estable como para competir con la microflora existente en dichos tejidos.

Además, es indispensable que pueda reducir o suprimir de manera eficiente la población de nematodos hasta niveles inferiores al umbral crítico.

3.8. Estudios realizados de hongos endófitos sobre *R. similis*

Según Artiva et al. (2024), realizaron estudios sobre los aislamientos de hongos para evaluar la capacidad del potencial nematocida de cinco hongos, contra una población de *R. similis*, los aislamientos que se evaluaron *Fusarium oxysporum* (*Fox2* y *Fox3*), dos de *Trichoderma asperellum* (*Trich1* y *Trich3*) y uno de *Purpureocillium spp.* (*Pli*), donde los tratamientos de *T. asperellum* y *F. oxysporum* obtuvieron una alta capacidad nematofaga contra el nematodo barrenador *R. similis*, con un gran potencial para ser utilizados como agentes de control biológico.

Este estudio dio como resultado que las muestras provenientes de Valverde, se aislaron 214 colonias de hongos endófitos, 13 corresponden al género *Trichoderma* y 201 a *Fusarium*. En las provenientes de Montecristi, se aislaron 209 colonias, de las cuales 53 corresponden al género *Trichoderma* y 156 a *Fusarium*. Del género *Trichoderma* se conservaron 19 cepas y del género *Fusarium* 18 cepas no patogénicas, estas cepas tiene el fin de utilizarse como agentes de control biológico para ser utilizados como endófitos para el control de nematodo *R. similis*, (Morel, y otros, 2021).

Según la investigación de García (2014), determino mediante un estudio, que la inoculación combinada de hongos endófitos donde, dos aislamientos de *Fusarium oxysporum* y dos de *Trichoderma atroviride* estos tratamientos con conocida actividad antagonista conta *R. similis*, nos dice que los resultados de utilizar la inoculación combinada de estos hongos redujeron la cantidad de *R. similis*, en comparación a la inoculación individual de los hongos endófitos y el testigo.

Los hallazgos mostraron que *Purpureocillium* spp. Disminuyó con éxito la población de nematodos y la cantidad de agallas en las raíces de las plantas, de igual manera interesante con la utilización de *Purpureocillium* spp. resultó en mejoras notables en el crecimiento y la biomasa de las plantas, aun cuando estaban infectadas por nematodos, y también incrementó los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila y los carotenoides, esto indica que el estudio que se realizó con *P. lilacinum* puede ser empleado como un hongo promotor del crecimiento de plantas y un nematicida biológico para controlar la enfermedad de los nematodos del nudo de la raíz (Tanaka, 2023).

3.9. Inductores de resistencia de *F. oxysporum*

Se ha demostrado que las cepas no patogénicas de *F. oxysporum* tienen tres modos de acción: competencia por nutrientes en la rizosfera, competencia por la infección de sitios en la rizosfera y la inducción de resistencia, Estas cepas no patogénicas han sido muy documentadas como antagonistas de los nematodos fitoparásitos, lo cual llevan a cabo a través de metabolitos producidos por esta especie que provocan la muerte de los nematodos en diversos cultivos (Garcia Morales, 2014).

Chávez (2007), encontró cepas no patogénicas de *F. oxysporum* como endofíticos naturales y han sido detectados en el sistema radical de diferentes cultivares en varios países, algunas de ellas ya han demostrado su habilidad de afectar positivamente la salud y productividad de las plantas. Asimismo, se ha demostrado la actividad antagonista de los aislamientos endofíticos contra poblaciones de *R. similis* provocando parálisis y muerte del nematodo tanto en pruebas in vitro como in vivo.

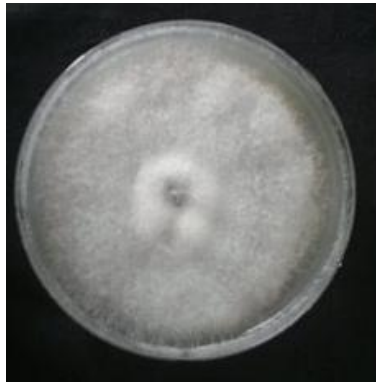


Figura 2. Cepa de fusarium oxysporum no patogénica

3.10. Inductores de resistencia de *Trichoderma* spp.

Estudios realizados por Morales (2014), el género *Trichoderma* produce tres tipos de propágulos: hifas, clamidosporas y conidios, los cuales son efectivos contra fitopatógenos en diferentes etapas del ciclo de vida, desde la germinación de esporas hasta la esporulación. Los mecanismos de biocontrol empleados por *Trichoderma* spp. incluyen micoparasitismo, antibiosis y competencia directa por espacio y nutrientes.

En el caso del control de nematodos, se destaca su capacidad de envolverlos en micelio y producir metabolitos con acción nematicida, como Trichodermin, Suzukacilina, Alamecina y Dermadina. Además, las raíces de las plantas colonizadas por *Trichoderma* spp. frecuentemente presentan un crecimiento superior y mayor peso en comparación con plantas no tratadas, lo cual se traduce en un incremento en la productividad del cultivo. Asimismo, su presencia contribuye a fortalecer la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas de origen biótico y abiótico.

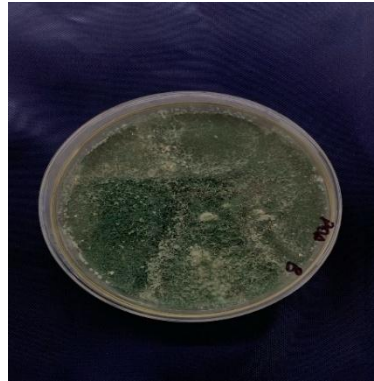


Figura 3. Cepa de *Trichoderma* spp. No patogénica

3.11. Inductores de resistencia de *Purpureocillium* spp.

Purpureocillium spp. Es un microorganismo destacado por su capacidad de inducir resistencia en las plantas al fortalecer sus mecanismos de defensa mediante la síntesis de enzimas y compuestos bioquímicos específicos. Entre sus funciones relevantes, se encuentra la producción de inulinasas extracelulares, enzimas que catalizan la degradación de polisacáridos complejos como la inulina, incrementando la disponibilidad de nutrientes esenciales y activando respuestas defensivas en las plantas. Además, este hongo es capaz de generar toxinas y otros compuestos bioactivos que inhiben la actividad de los nematodos fitoparásitos, debilitándolos significativamente y reduciendo su efecto nocivo sobre los cultivos. Por estas características, *P. lilacinum* se posiciona como un recurso biológico (Acosta, et al 2021).



Figura 4. Cepa de *Purpureocillium* spp.

3.12. Mecanismos de control de hongos endófitos contra *R. similis*

Los hongos endófitos producen un amplio arsenal de metabolitos secundarios que mejoran la resistencia frente a patógenos, la absorción de nutrientes, promueven el crecimiento vegetal y la resistencia frente a estreses, tales como la salinidad, altas temperaturas, mayor tolerancia a la sequía, al estrés oxidativo, a suelos ácidos con altos contenidos de Zn y Al. (Pereira et al., 2021).

Este impacto significativo de la colonización de endófitos en la actividad antioxidante de los hospedantes colonizados se expresa, especialmente, cuando se exponen al estrés. Según García (2014) concluye que las consecuencias de los cambios en la producción de especies reactivas de oxígeno y el aumento de la actividad antioxidante en la simbiosis que realizan los hongos endófitos para general metabolitos secundarios.

3.13. Inoculación combinada para el control de *R. similis*

Según Felde et al. (2006), han realizado estudios con diferentes combinaciones de inoculaciones de cuatro hongos endófitos antagonistas afectan a *R. similis*. Se utilizaron vitroplantas de 'Williams' (Musa AAA) inoculadas con: 1) conidios de un aislado endófito de *Fusarium oxysporum* no patógeno (S9 o P12) o de *Trichoderma atroviride* (MT-20 o S2); 2) conidios de dos aislados de *F. oxysporum* o de *T. atroviride*; o 3) conidios de los cuatro aislados.

Tras dos meses, todas las inoculaciones individuales redujeron significativamente la cantidad y densidad de *R. similis* en las raíces, en comparación con las plantas de control. Las inoculaciones dobles lograron mejores resultados que las individuales, mientras que las múltiples con los cuatro aislados mostraron el mayor efecto en el control de nematodos. Estos hallazgos respaldan la idea de que combinar agentes de control biológico compatibles mejora la efectividad contra los nematodos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícola (DECA), en la Universidad Nacional Agraria del departamento de Managua, Nicaragua, ubicado en el kilómetro 12, Carretera Norte, con longitud $12^{\circ} 8'46.31''\text{N}$ y longitud $86^{\circ}9'46.52''\text{O}$.

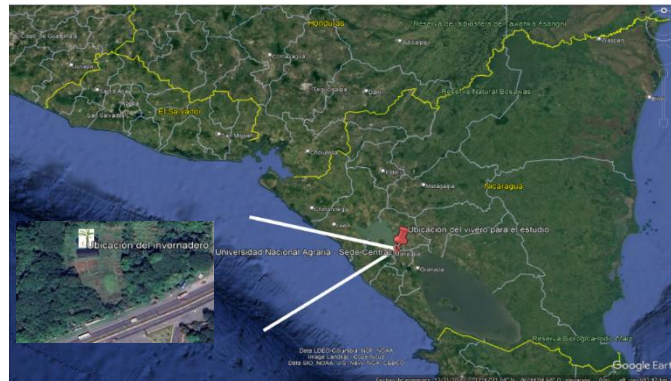


Figura 5. Ubicación del estudio experimental

4.2. Diseño metodológico

La presente investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo de carácter experimental, en el cual se diseñó un ensayo destinado a valorar el efecto sinérgico de los hongos endófitos en su doble función como promotores de crecimiento vegetal y agentes de biocontrol. Esta metodología tiene como objetivo principal evaluar de manera precisa y sistemática la interacción y contribución de estos microorganismos al desarrollo y protección de las plantas en condiciones controladas.

4.3. Diseño experimental

El experimento se estableció diseño completo al azar (DCA) con 7 tratamientos y 5 repeticiones para un total de 35 unidades experimentales que constaron de una macetera con una longitud de 11 cm y 9.7 cm de altura, con un volumen de suelo 754g, los tratamientos se utilizarán aislados de *Trichoderma* spp., de *F. oxysporum* y de *Purpureocillium* spp. El modelo estadístico para este arreglo de tratamientos se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde; Y_{ij} = Variable a medir

μ = MEDIA general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

e_{ij} = Error experimental

Cuadro 1. Tratamientos evaluados

N° de tratamiento	Tratamientos evaluados	Concentración
1	Thjuigalpa/Chat14fs	1×10^7
2	Thjuigalpa/Fs07	1×10^7
3	Thjuigalpa/Rv19fs	1×10^7
4	Thjuigalpa/Pae	1×10^7
5	Thagallas/Cht14fs	1×10^7
6	Thagallas/Fs07	1×10^7
7	Testigo	1×10^7

4.4. Manejo del experimento

Las plántulas obtenidas mediante cultivo de tejidos del cultivar de plátano Cuerno Enano, provenientes de un laboratorio comercial especializado en técnicas de cultivo in vitro del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), han sido sometidas a un proceso de climatización que abarca un periodo de una semana. En cuanto al sustrato empleado para su desarrollo, se ha implementado una mezcla homogénea compuesta por un 50% de arena y un 50% de tierra, con el propósito de garantizar condiciones óptimas para su adaptación y crecimiento.

4.5. Inoculación de los agentes biológicos

Antes de su uso los aislados de los hongos endófitos se cultivaron por separados en placas de agar conteniendo 20ml de papa destroza agar (PDA), durante 8 días a 24°C, posteriormente a los cultivos se le agrego agua destilada estéril y con ayuda de una aza bacteriológica se raspo la capa superficial con el hongo y decanto en un Biker conteniendo 30 ml de agua.

La suspensión se filtró a través de una gaza estéril en un Erlenmeyer de 50 ml estéril. Posterior las concentraciones se estimaron con un hemocitómetro de NEUBAUER y los inóculos se ajustaron a 1×10^7 ufc/ml. Para las inoculaciones duales se prepararon las suspensiones de hongo adicionando 50% y 50% de cada suspensión individual según cada tratamiento.

4.6. Inoculación de las plantas en estudio

Una vez a climatizada las plantas de cultivo de tejido en maceta, se realizaron tres agujeros en la base del tallo donde se aplicaron 5 ml de las soluciones que contienen los hongos en tratamientos. Al tratamiento testigo solamente se le aplicara agua estéril. Posteriormente una semana antes del estudio se inocularán 500 infectivos juveniles mixtos de *R. similis* Obtenidas de un cultivo monoxénico en discos de zanahoria donde se realizarán 3 agujeros alrededor de la base del Pseudotallo en una concentración de 5 ml de agua con la solución de nematodos.

4.7. Variables evaluadas

Cuadro 2. Variables evaluadas en el estudio.

Variables	Conceptuación
Altura de la planta en (cm)	Se realizó en cm a partir de la base del Pseudotallo hasta la hoja bandera
Diámetro del Pseudotallo	Se midió con un Pie de rey 3cm arriba de la base del Pseudotallo.
Peso de raíz	Cortar las raíces de la planta y colocarlas en la balanza digital para determinar su peso
Volumen de raíz	Se utilizó una probeta con 200ml de agua donde se colocaron las raíces y lo que subía después de los 200ml de agua eso era el volumen de raíz
Peso foliar	Se cortaron las hojas y se pesaron en una balanza digital
Peso total	Se realizó el peso total de Pseudotallo, hoja y raíz
Longitud de la raíz	Se tomo al azar 5 raíces y se midió el largo en con una regla
Diámetro de la raíz	Se midió con pie de rey, tomándose 5 raíces al azar y se midió en mm
Número total de nematodos en 10g de raíz	Se contó el total de nematodos en 10g de raíz
Porcentaje de penetración	Observar el total de nematos, encontrados en 10gr de raíz. Para luego determinar el % de biocontrol.
Porcentaje de Biocontrol	Se utilizó esta fórmula $Bc=100 (1 - (NT/NC))$, donde se colocaba el número de nematos totales que se inocularon entre el número de nematos encontrados.

4.8.Recolección de datos

La recolección de datos correspondientes a las variables evaluadas se llevó a cabo con una frecuencia semanal del 20/Diciembre/24 al 17/enero/25 utilizando hojas de campo previamente diseñadas y estructuradas para este propósito, asegurando un registro meticuloso y organizado de la información. Posteriormente, dichos datos fueron trasladados a una hoja de cálculo en Excel, donde se consolidaron para su posterior estructuración y análisis estadístico, con el fin de facilitar un procesamiento riguroso y sistemático de la información recolectada.

4.9.Análisis de datos

Se comprobó estadísticamente el ajuste de las variables a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del modelo mediante la prueba de normalidad, mediante la prueba de Levine respectivamente para aplicar estadísticas paramétricas por medio ANDEVA y determinar las separaciones de medias con estadísticos Test: Tukey con $P= 0.005$ mediante el estadístico Infostat versión profesional 2024.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Efecto de inoculaciones combinadas de *Trichoderma*, *Fusarium* y *Purpureocillium* sobre la densidad de *R. similis* en 10 gramos de raíces.

La medición de la densidad de *R. similis* en 10 gramos de raíz es esencial para evaluar con precisión la infestación y el daño en el cultivo, garantizando resultados objetivos y comparables entre tratamientos. Este indicador permite determinar la eficacia de los endófitos, evidenciando que Thjuigalpa/fs07 redujo la población a 24 individuos frente a los 39 de Thagallas/fs07 (Figura 6).

El análisis de varianza (ANDEVA) realizado para determinar el número de *R. similis* encontrados en 10 gramos de raíz por planta, mostro diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, (anexo 1), con un (P=0.0001). donde el tratamiento *Thjuigalpa/Fs07* obtuvo la menor cantidad de nematodos debido a que su capacidad nematicida redujo el número de nematodos respecto al tratamiento, *Thagallas7Fs0*, (figura 6).

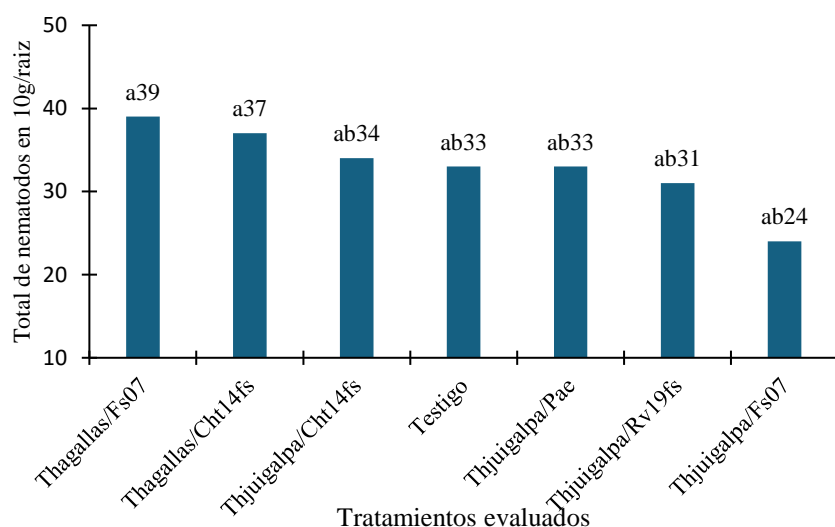


Figura 6. efecto de inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp. y *Fusarium oxysporum* sobre la densidad de *R. similis* en plántulas un vitro del cuerno enano con seis semanas después de la inoculación

En otros estudios-refieren que aplicaciones de *Trichoderma* sp en inoculaciones combinadas con otros microorganismos generan efectos significativos en la reducción de la densidad de nematodos. Lo que se atribuye a producción de enzimas que contribuyen a una repuesta fisiológica en el sistema radicular (Duc et al ; 2017).

Estos resultados son respaldado Yang *et al.*, (2022) efecto combinado de *Trichoderma* spp. mejora el control de nematodos fitoparásitos mediante mecanismos de antagonismo, competencia por espacio y nutrientes, así como la inducción de resistencia sistémica en las plantas hospedantes. Lo cual en este estudio se demuestra que el efecto combinado de *Trichoderma/Fusarium oxysporum* redujeron la población de nematodos con 24 individuos.

5.2. Evaluación del biocontrol sobre *R. similis* mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma*, *Fusarium* y *Purpureocillium*

La medición de la variable control biológico es esencial ya permite determinar con precisión la eficacia de los tratamientos frente al testigo y establecer diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de biocontrol.

En este caso, los resultados mostraron que T6 Thagallas/Fs07 alcanzó un 85%, seguido de T5 Thagallas/cht14fs con 81% y T1 Thjuigalpa/cht14fs con 75%, en comparación al testigo con 72%, mientras que los tratamientos (T4, T3 y T2) presentaron porcentajes por debajo del testigo. Medir esta variable asegura objetividad en los resultados, valida la efectividad de los endófitos y aporta información clave para la toma de decisiones en el manejo sostenible de nematodos. (figura 7).

El análisis de varianza realizado para determinar el porcentaje de biocontrol con un $P = 0.05$ y, mostro un 85% de variabilidad observada en los datos, estos presentaron una variación de 16.62% con respecto a su media (anexo 2). los resultados evidenciaron que los tratamientos endófitos ejercieron efectos positivos en cuanto al porcentaje de biocontrol de *R. similis*, ($P=0.0001$).

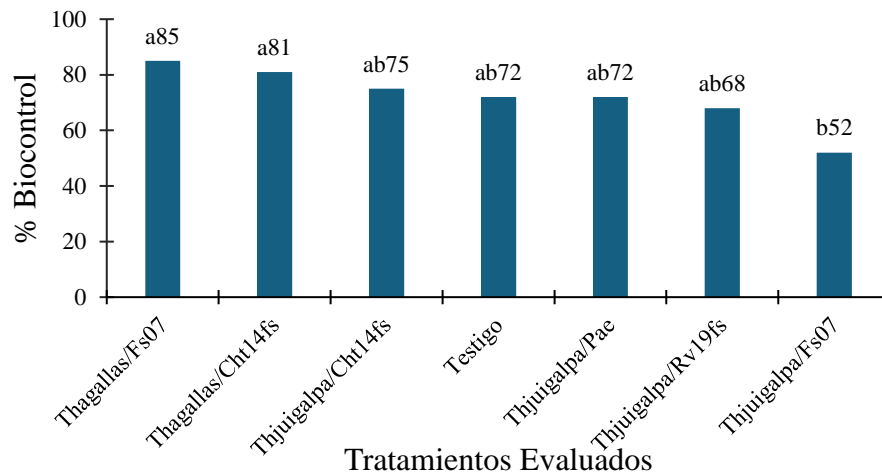


Figura 7. Biocontrol mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum* para *R. similis*

En otros estudios han demostrado que las cepas de *Fusarium oxysporum* no patogénica y *Trichoderma* combinados han tenido porcentajes similares a los encontrados, siendo similar en este estudio donde Thagallas/f07 se mostró un porcentaje de control del 85%. Chavez et al, (2009), refiere que la combinación de *Fusarium* y *Trichoderma*, lograron la reducción de *R. similis*, entre un 80 y 86% superiores a inoculaciones individuales siendo en este estudio la menor reducción con inoculaciones combinadas.

Por otra parte, Garcia Morales (2014), el cual evaluo el potencial de biocontrol, menciona que la combinación de *Trichoderma atroviride* y *Fusarium oxysporum*, tiene un mejor control del nematodo *R. similis*, al compararlo con el uso de solo un agente biológico, estos estudios respaldan los resultados encontrados en nuestro estudio.

5.3. Efecto de inoculaciones combinadas de hongos endofíticos en el promoción del crecimiento en la circunferencia del Pseudotallo.

El tratamiento T6 (Thjuigalpa/Fs07) mostró un rango diámetro del pseudotallo con 6 cm, mientras que los tratamientos T1 (Thjuigalpa/Cht14fs) y T3 (Thjuigalpa/Rv19fs) alcanzaron 6 cm, igual que el testigo, y los demás tratamientos presentaron un diámetro menor de 5 cm respecto al testigo.

Estos resultados evidencian que no hubo diferencia mínima significativa en la variable de crecimiento; sin embargo, la medición de esta variable es importante porque permite evaluar objetivamente el desarrollo de la planta, comparar la respuesta de los tratamientos y validar la eficacia de las inoculaciones en el fortalecimiento del cultivo (Figura 8).

El análisis de varianza realizo para determinar el diámetro de tallo utilizando la prueba de Tukey con un $\alpha = 0.05$, con 92% de la variabilidad observada en los datos, los cuales variaron un 5.39% con relación a su media (anexo3); mostro que, existe diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos evaluados ($P = 0.0001$).

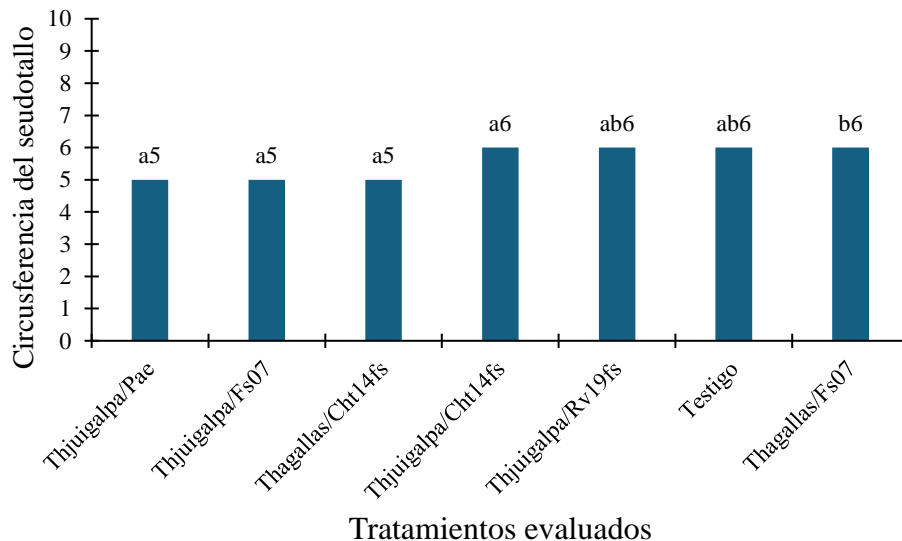


Figura 8. Circunferencia del pseudotallo mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

Estudios realizados por Chávez et al, (2009) evidencian que cepas no patogénicas de *Trichoderma* y *Fusarium* generan efectos positivos en el diámetro del tallo de plantas de banano.

Este efecto se vincula con la síntesis de fitohormonas, especialmente auxinas y citoquininas, que estimulan funciones fisiológicas clave para el desarrollo vegetativo. (Sikora, y otros, 2008), señala en los resultados que *Fusarium oxysporum* no patogénica, además de reducir la reproducción del nematodo, se observaron efectos positivos en parámetros de crecimiento, como circunferencia del Pseudotallo y biomasa radicular. Y. Ting et al, (2007), menciona que *fusarium oxisporum*, fue un promotor del crecimiento del seudotallo de las plantas inoculadas con dicho tratamiento.

5.4. Efecto de la altura mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

Los tratamientos T6 (Thagallas/Fs07) y T5 (Thagallas/Cht14fs) registraron la mayor altura de planta con 8 cm, seguidos del testigo con 7 cm, mientras que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 alcanzaron igualmente 7 cm. Estos resultados muestran que, aunque existen ligeras variaciones entre tratamientos, la altura de la planta se mantiene en un rango cercano al testigo.

La medición de esta variable es de gran importancia en estudios con hongos endofíticos, ya que permite evaluar objetivamente el efecto de las inoculaciones sobre el crecimiento vegetal, identificar posibles mejoras en el desarrollo estructural de la planta y validar la eficacia de los tratamientos como alternativas sostenibles para fortalecer el cultivo frente a condiciones adversas. (figura 9)

El análisis de varianza realizado para determinar la altura de planta con un $P= 0.05$ y 55% de variabilidad observada, reflejándonos una variación de 14.22% con respecto a su media (anexo 4), los resultados evidencian que los tratamientos endófitos no mostraron diferencia mínima significativa conforme a altura de planta. ($P=0.0139$)

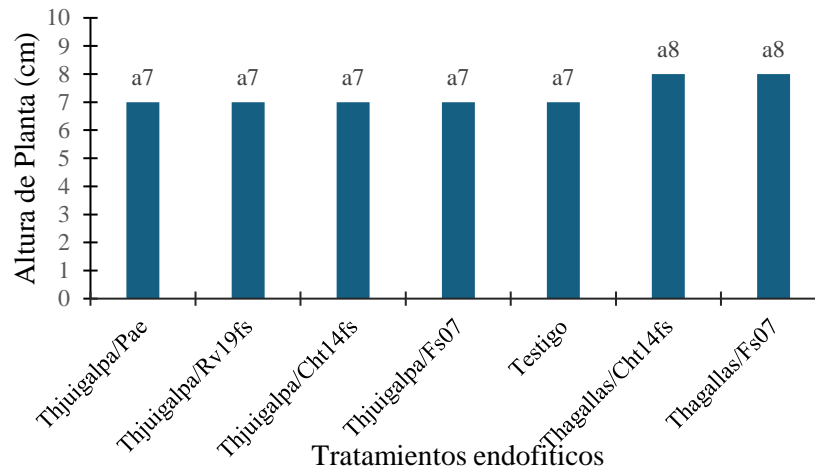


Figura 9. Efecto de la altura mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

Chavez et al., (2009), menciona que los tratamientos endofíticos, *Trichoderma* y *Fusarium*, mejoraron el crecimiento de las plantas de banano, donde menciona que las plantas incrementaron el peso de raíz y follaje, lo que indica que estos endofíticos promueven mecanismo de promoción vegetal, como la producción de fitohormonas y la mejora en la absorción de nutrientes.

En otros estudios Y. Ting et al, (2007). menciona que UPM31P1 identificado como *Fusarium oxysporum* fue un buen potenciador de la altura de las plantas inoculadas, siendo este promotor de crecimiento de las plantas tratadas. Sikora et al, (2008), nos dice que los tratamientos de *fusarium* y *trichoderma*, no solo redujeron al nematodo *R. similis* sino que también mejoró el crecimiento de las plantas.

5.5. Efecto del peso total de las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

La medición de la variable de peso total es importante porque permite evaluar de manera objetiva el efecto de los tratamientos endofíticos sobre el rendimiento del cultivo. En este caso,

no se detectaron diferencias significativas, ya que todos los tratamientos se mantuvieron en un rango similar entre 27 y 31 g, con el testigo alcanzando 31 g, seguido de T3 (Thjuigalpa/Rv19fs) con 30 g, mientras que los demás tratamientos estuvieron por debajo de los 30 g.

Esta medición aporta información confiable para comparar resultados, validar la eficacia de los tratamientos y determinar su impacto en la producción.

El análisis de varianza realizado para el peso total, con un valor de $P = 0.05$ mostró que el 77% de la variabilidad observada en los datos. Estos presentaron una variación del 15.87% con respecto a su media (anexo 5). A pesar de que el valor de P obtenido fue altamente significativo ($P = 0.0001$).

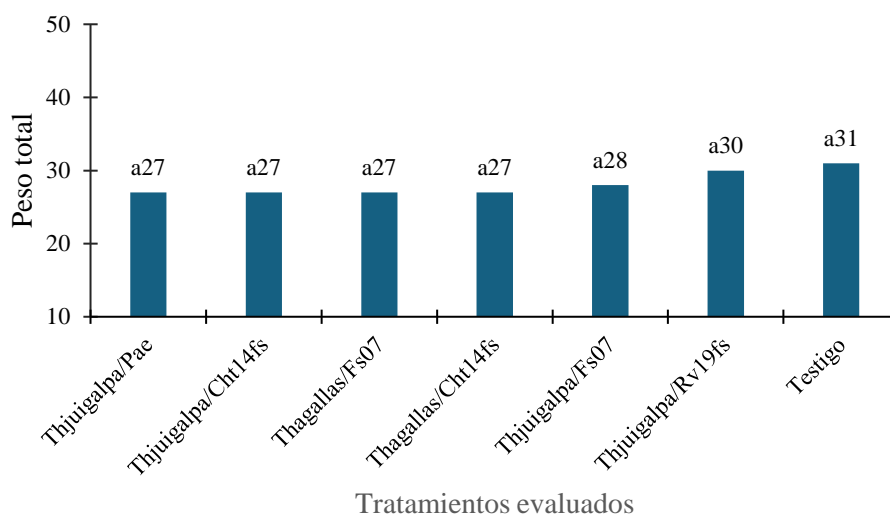


Figura 10. Efecto del peso total de las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

Estudios realizados por Chavez et al. (2009), determino que el uso de hongos endofiticos conbinados de *Trichoderma* y *Fusarium*, incrementaron el peso total de las plantas tratadas, lo que nos indica que los tratamientos utilizados pueden funcionar como promotor de crecimiento vegetal. Otros estudios han evidenciado que la aplicación de hongos endófitos contribuye

significativamente al incremento del peso radicular y del peso total de plantas de banano en condiciones libres de *Radopholus similis*.

En concordancia, (Pocasangre, 2002; Sikora et al (2008). Reportó que aislamientos endófitos pertenecientes a los géneros *Trichoderma* y *Fusarium* promovieron aumentos del 35 % en el peso de la raíz y del 19 % en el peso del follaje en plantas de banano. Asimismo, inoculaciones individuales con hongos endófitos en plantas de banano variedad Grand Naine generaron incrementos del 39 % en el peso de la raíz y del 29 % en el follaje.

De forma similar, se observó un aumento del 24 % en el peso radicular en plantas de banano tratadas con *Fusarium oxysporum*, en comparación con aquellas que no recibieron tratamiento.

5.6. Efecto del peso de raíz de las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*

El análisis de la variable peso de raíz mostró que el tratamiento T3 (Thjuigalpa/Rv19fs) y el testigo alcanzaron un promedio de 8 g, mientras que los demás tratamientos presentaron un promedio ligeramente inferior de 7 g cada uno. Estos resultados reflejan que, aunque existen pequeñas variaciones entre tratamientos, la diferencia en el peso de raíz es mínima y se mantiene dentro de un rango cercano.

La medición de esta variable resulta fundamental porque permite evaluar de manera objetiva el efecto de los hongos endofíticos sobre el desarrollo radicular, identificar posibles mejoras en la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y validar la eficacia de los tratamientos en el fortalecimiento del sistema radicular, lo cual es clave para la estabilidad y productividad del cultivo (figura 11).

El análisis de varianza (ANOVA), realizado para determinar el peso de raíz, con un nivel de significancia de $P=0.05$ y un 88% de la variabilidad observada en los datos, los cuales presentaron una dispersión del 13.54% respecto a su media (anexo 6). Los resultados evidenciaron que, dicho efecto no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.0001$).

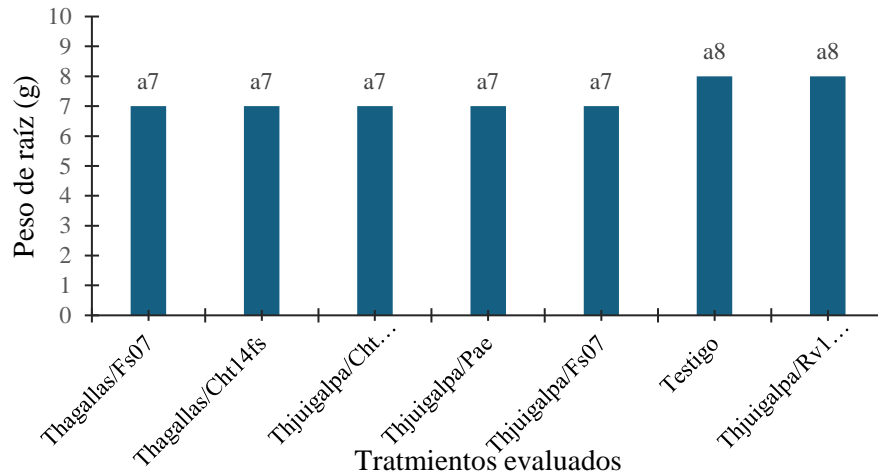


Figura 11. Efecto del peso de raíz en las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

Según lo reportado por Chávez et al. (2009), los aislados endófitos pertenecientes a los géneros *Trichoderma* y *Fusarium* evidenciaron una capacidad significativa para estimular el crecimiento radicular en plantas de banano, lo cual se reflejó en un aumento sustancial del peso de raíz. Estos hallazgos corroboran el potencial de dichos microorganismos como promotores de crecimiento, con implicaciones relevantes para la mejora del desarrollo del sistema radicular. También Y. Ting et al (2007). Nos dice que el tratamiento *Fusarium oxysporum*, mejoró en peso de raíz en plantas donde se inoculó el tratamiento.

De acuerdo con los estudios realizados por Sikora et al. (2008), la aplicación combinada de aislados antagonistas de *Fusarium oxysporum* y *Trichoderma atroviride*, obtenidos a partir de plantas con actividad supresiva, demostró ser altamente eficaz en el mejoramiento biológico de plántulas de banano provenientes de cultivo in vitro. Esta estrategia condujo a reducciones significativas en la densidad de *Radopholus similis* en las raíces, así como a un incremento sustancial en el desarrollo del sistema radicular durante las etapas iniciales de establecimiento.

5.7. Efecto del peso fresco de las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*.

El análisis de la variable peso foliar mostró que todos los tratamientos tuvieron un efecto similar en las plantas evaluadas. El tratamiento T3 (Thjuigalpa/Rv19fs) y el testigo alcanzaron un promedio de 11 g, mientras que los demás tratamientos registraron 10 g. Estos resultados

evidencian que no existen diferencias estadísticamente significativas en esta variable, lo cual indica que las inoculaciones con hongos endofíticos no generaron variaciones relevantes en el desarrollo foliar.

La medición del peso foliar es importante porque permite evaluar de manera objetiva la capacidad de los tratamientos para influir en la producción de biomasa aérea, un factor clave en la fotosíntesis y en el rendimiento general del cultivo (figura 12).

El análisis de varianza realizado para determinar la variable de peso foliar con un $P = 0.05$ y un 78% de la variabilidad de los datos, los cuales variaron un 15.56% con relación a sus medias, estos datos demostraron que no hay diferencia mínima significativa en los tratamientos que se aplicaron en cuanto al peso foliar en las plantas del estudio ($P=0.0001$) (Anexo 7)

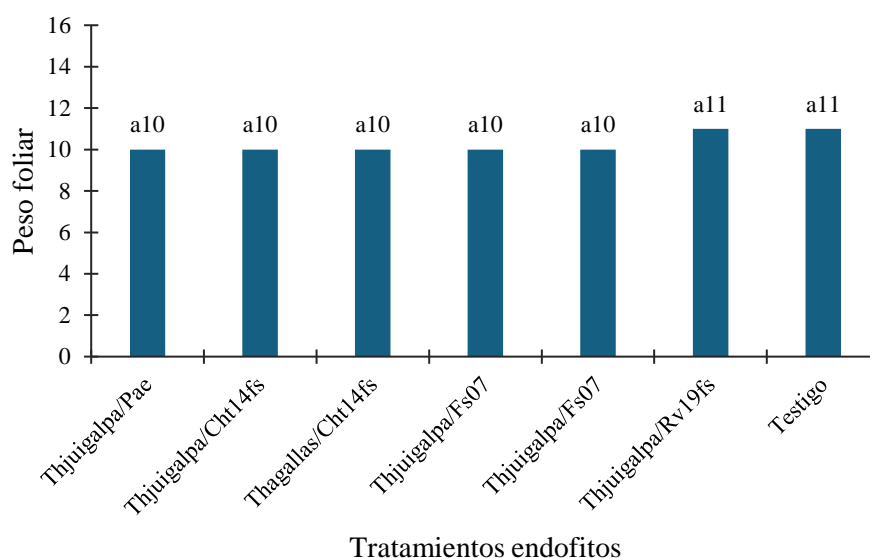


Figura 12. Efecto del peso foliar de las plantas mediante inoculaciones combinadas de *Trichoderma* sp, *Paecilomyces* sp y *Fusarium oxysporum*

Chávez et al. (2009) demostraron que cepas de *Trichoderma* y *Fusarium* no patogénico incrementan el peso foliar en plantas, efecto asociado a la producción de fitohormonas como

auxinas y citoquininas que estimulan el desarrollo vegetativo. De manera similar, Sikora et al. (2008) reportaron que en banano y tomate la combinación de ambos endófitos mejoró significativamente este parámetro, confirmando el papel de los mutualistas en la síntesis de reguladores de crecimiento.

Más recientemente, Andrade-Hoyosa et al. (2023) señaló que el aumento del peso foliar en plantas tratadas con *Trichoderma spp.* se relaciona tanto con la producción de fitohormonas como con una mayor absorción de nutrientes, reflejando un efecto directo sobre la biomasa aérea y la capacidad fotosintética.

VI. CONCLUSIONES

La inoculación de hongos endofíticos redujo en un 85% las poblaciones de *Radopholus similis* en plántulas de plátano bajo condiciones semicontroladas.

Los tratamientos evaluados tuvieron efecto en cuanto al control de *Radopholus similis*, siendo los tratamientos T6 Thagallas/Fs07 , T5 Thagallas/cht14fs, y T1 Thjuigalpa/cht14fs, los de mejor resultado en cuanto al control del nematodo *R.similis*

Las inoculaciones combinadas de los hongos endófitos no mostraron efecto de promotor crecimiento vegetal de las plantas en estudio.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda aumentar el tiempo del estudio para evaluar con mayor precisión el efecto de la bioestimulación y fortalecer la robustez de los resultados.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abello, J., & Kalem, S. (2007). Hongos endófitos: ventajas adaptativas que habitan en el interior de las plantas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*(2006) 7(2), 55-57. doi:https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:70
- Andrade-Hoyosa, P., Rivera-Jiménez, M., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H., Martínez-Salgado, S., & Romero-Arenase, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo. *Revista Argentina de Microbiología*, 12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Y. Ting, A., Meon, S., Kadir, J., Radu, S., & Singh, G. (2007). Endophytic microorganisms as potential growth. *BioControl*, 53(4), 13. doi:DOI 10.1007/s10526-007-9093-1
- al, Y. R. (2022). Las interacciones entre los hongos micorrizicos arbusculares y trichoderma longibrachiatum mejoran el crecimiento de raíz y modulan el metaboloma radicular en condiciones de salinidad creciente del suelo. pág. 10. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms10051042>
- Amin, N. (1994). *Investigaciones sobre la importancia de hongos endofitos para el control biológico del endoparasito migratorio Radopholus similis (Cobb) Thorne en bananos*. . Alemania : Universidad de Bonn .
- Arboleda, F., Guzman, O. A., & Mejía, L. F. (2012). Efectos de extractos cetónicos de higuera (Ricinus communis LINNEO.) sobre el nematodo barrenador Radopholus similis (COBB) Thorne, en condiciones in vitro. *Revista mexicana de fitopatología*, 1(35), 20. doi:<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-7>
- Artiva, R., Martínez, A., Udalde, M., & Padilla, W. (2024). Evaluación in vitro de hongos nematófagos contra el nematodo barrenador Radopholus similis (Cobb, 1893) Thorne, 1949 en Costa Rica. *Environment & Technology*, V(1), 48. doi:<https://doi.org/10.56205/ret.5-1.2>
- Castillo Arevalo, T., & Machado, K. (2021). Alternativas biológicas y químicas para el manejo de Fitonematodos en cultivo de plátano AAB (Musa paradisiaca L.) en Rivas, Nicaragua. *Revista Univeritaria Del Caribe*, 28(1). doi:10.5377/ruc.v28i01.1444
- Castillo-Arévalo, T. (2022). Evaluación in vitro de hongos Hypocreales para el control de Pratylenchus ssp, Scutellonema ssp y Helicotylenchus ssp. *Revista Universitaria del Caribe*, 20(02), 6. doi: <https://doi.org/10.5377/ruc.v29i02.15253>

- Chavez, P. N., Pocasangre, L., Elango, F., Rosales, F., & Sikora, R. (2009). Utilizacion de bacterias y hongos endofitos para el control biologico de nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. *The Journal of Agricultural Science*, 122(3), 6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.025>
- Dubois, G. y. (2005). Combinacion de hongos endofitos y bacterias para el biocontrol de *Radopholus similis* (COBB) Thorne y su efecto en el crecimiento de las plantas . *El sevier* , 7.
- Garcia Morales, D. (2014). Bioprospeccion de hongos endofitos para el control biologico de *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en el cultivo de banano. 54. cartago, Costa Rica. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2238/5797>
- Garcia, A. (2022). Evaluacion de la eficacia de nematicida, sobre el control de poblaciones de *Meloidogyne incognita*. en el cultivo de pitahaya, amarilla (*Selenicereus megalanthus*), a nivel de invernadero en el canton joya de los sachas. *Repositorio Digital*, 68. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5966>
- Guzman et al., 2. (2011). Principales nematodos fitoparasitos y sintomas ocasionados en los cultivos de gran importancia. *AGRONOMIA*, 12.
- Guzman, O. (2011). El nematodo barrenador (*R. similis* [COBB] THORNE) del banano y platano. *Luna Azu*, 17.
- Hernández, A. M. (2003). Utilizacion de hongos endofitos provenientes d banano organico para el control biologico del gusano barrenados *Radopholus similis*. Costa Rica , Centro America .
- Holguín, C. J. (20 de Diciembre de 2023). Efecto de bioformulados bacterianos como controladores de *Radopholus similis* y potenciadores del desarrollo de plántulas de banano (*Musa acuminata*) cultivar Williams. *Revista Ciencia y Tecnología*, XVI(2), 16. doi:0.18779/cyt.v16i2.705
- Korean Society for Plant Biotechnology. (2024). Assessment of the antioxidant and nematicidal activities of an aqueous extract of *Chromolaena odorata* (L.) King and Robins against *Radopholus similis* infestation in Cavendish banana plants: An in vitro and in vivo study . *Revista de biotecnología vegetal* , 13. doi:<https://doi.org/10.5010/JPB.2024.51.002.011>
- Morales. (2014). *bioprospeccion de hongos endofitos para el control biologico del nematodo barrenador Radopholus similis(Cobb) Thorne en el cultivo de banano*. Costa Rica: Instituto tecnologico de Costa Rica.

- Morales, D. (2014). Bioprospeccion de hongos endofitos para el control biologico de nematodo barrenados radophulus similis (Cobb) Thorn en el cultivo de babano. *Instituto tecnologico de Costa Rica* . Costa Rica, Centro america, Campus cartago.
- Morales-García, D. (2014). Efecto de las inoculaciones combinadas de hongos endofíticos sobre el biocontrol de Radopholus similis en banano. *Infomusa*, 18. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2238/5797>
- Morel, M., Garcia , S., Castillo , Y., Moya, J., Rengifo, D., Reinoso, T., & Monegro Marinez, N. (2021). Aislamiento y selección de hongos endofitos nativos con potencial antagonico a nematodos fitoparásitos en plantaciones de banano en Valverde y Montecristi. *Revista de la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales, SODIAF.*, 10(I), 14. Obtenido de <https://sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/126>
- P, C. N. (2009). Combinacion de hongos endofitos y bacterias para el biocontrol de radophulus similis (COBB) Thorne y su efecto en el crecimiento de las plantas. *El sevier*, 7.
- Pereira et al., 2. (2021). The endophytic fungi and their potential uses in agriculture. *Revista de Protección Vegetal*,, 36(3), 20. Obtenido de <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1167/1921>
- Perez , A., & Chamorro , L. (2013). Bacterias endofitas: Un nuevo campo de investigacion para el desarrollo agropecuario. *Revista colombiana de ciencia animal* , 24. doi:<https://doi.org/10.24188/recia.v5.n2.2013.457>
- Pineda , O., & Matute , E. (Mayo de 2022). Comportamiento del cultivo de plátano (Musa paradisiaca L.), empleando Trichoderma harzianum, en estado de floración ciclo 2020-2021, en centro experimental El Plantel, Managua, Nicaragua. Managua, Centro America, Nicaragua.
- Pocasangre. (2002). *Mejoramiento biológico de vitroplantas de banano mediante la utilización de hongos endofíticos para el control del nematodo barrenador Radopholus similis*. Costa Rica: Taller manejo de plagas en plantas .
- Rathod et al., 2. (2018). Dentro-variabilidad de morfológica y morfométrica específica de Radopholus similis (Cobb, 1893) Thorne, 1949. *Revista de Ciencias Naturales y Aplicada*, 6. doi:10.31018/jans.v10i3.1717
- Sánchez, R. E. (2013). Hongos endofitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológica*, 16(2), 15. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/>

Sikora, R., Pocasangre, L., zum Felde, A., Niere, B., T. Vu, T., & Dababat, A. (2008). Hongos endófitos mutualistas y supresividad in planta frente a nematodos fitoparásitos. *www.elsevier.com/locate/ybcon*, 10. doi:doi:10.1016/j.biocontrol.2008.02.011

Tanaka, K. &. (2023). *Purpureocillium lilacinum* for plant growth. *PLOS ONE*, 14.

Vergara , G., & Zambrano , T. (Julio de 2024). Control de nematodos en banano (*Musa x paradisiaca* L), con bioestimulante orgánico “BRUGNEM” como práctica de responsabilidad ambiental y social. Managua , Centro America , Nicaragua : Calceta: ESPAM MFL.

IX. ANEXO

Anexo 1. Análisis de varianza de variable de *R. similis* en 10 gramos de raíz

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Nematodos 10 g	35	0.86	0.80	16.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	4245.54	10	424.55	14.34	<0.0001
Tratamiento	703.37	6	117.23	3.96	0.0068
Planta	3542.17	4	885.54	29.91	<0.0001
Error	710.63	24	29.61		
<u>Total</u>	<u>4956.17</u>	<u>34</u>			

Anexo 2. Separación de medias de variable de *R. similis* en 10 gramos de raíz

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.05127

Error: 29.6095 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T6	39.20	5	2.43	A
T5	37.60	5	2.43	A
T1	34.60	5	2.43	A B
T13	33.20	5	2.43	A B
T4	33.20	5	2.43	A B
T3	31.60	5	2.43	A B
<u>T2</u>	<u>24.20</u>	<u>5</u>	<u>2.43</u>	<u>B</u>

Anexo 3. Análisis de varianza de la variable de porcentaje de biocontrol del nematodo *R. Similis*

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
% Biocontrol	35	0.85	0.79	16.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	20103.49	10	2010.35	13.89	<0.0001
Tratamiento	3388.80	6	564.80	3.90	0.0073
Planta	16714.69	4	4178.67	28.88	<0.0001
Error	3472.91	24	144.70		
<u>Total</u>	<u>23576.40</u>	<u>34</u>			

Anexo 4. Separación de media según la variable de porcentaje de biocontrol

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=24.43081

Error: 144.7048 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T6	85.00	5	5.38	A
T5	81.80	5	5.38	A
T1	75.20	5	5.38	A B
T13	72.00	5	5.38	A B
T4	72.00	5	5.38	A B
T3	68.60	5	5.38	A B
T2	52.20	5	5.38	B

Anexo 5. Análisis de varianza de diámetro de tallo

Variable N R² R² Aj CV
Diámetro tallo 35 0.92 0.88 5.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	29.57	10	2.96	27.05	<0.0001
Tratamiento	4.12	6	0.69	6.28	0.0005
Fechas	25.45	4	6.36	58.21	<0.0001
Error	2.62	24	0.11		
<u>Total</u>	<u>32.20</u>	<u>34</u>			

Anexo 6. Separación de medias según la variable de diámetro de tallo

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67147

Error: 0.1093 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T4	5.76	5	0.15	A
T2	5.88	5	0.15	A
T5	5.92	5	0.15	A
T1	6.00	5	0.15	A
T3	6.22	5	0.15	A B
T13	6.28	5	0.15	A B
T6	6.86	5	0.15	B

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable de altura de planta

Variable N R² R² Aj CV
Altura planta 35 0.55 0.37 14.22

Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	37.99	10	3.80	2.97	0.0139
Tratamiento	4.53	6	0.76	0.59	0.7342
Fechas	33.46	4	8.36	6.55	0.0010
Error	30.66	24	1.28		
<u>Total</u>	<u>68.65</u>	<u>34</u>			

Anexo 8. Separación de medias según la variable de altura de planta

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.29552

Error: 1.2775 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T4	7.52	5	0.51	A
T3	7.54	5	0.51	A
T1	7.78	5	0.51	A
T2	7.94	5	0.51	A
T13	7.94	5	0.51	A
T5	8.34	5	0.51	A
<u>T6</u>	<u>8.56</u>	<u>5</u>	<u>0.51</u>	<u>A</u>

Anexo 9. Análisis de variable de la variable de peso de raíz

Variable N R² R² Aj CV
Peso raíz 35 0.88 0.83 13.54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	201.74	10	20.17	18.08	<0.0001
Tratamiento	12.34	6	2.06	1.84	0.1328
Planta	189.40	4	47.35	42.44	<0.0001
Error	26.78	24	1.12		
<u>Total</u>	<u>228.52</u>	<u>34</u>			

Anexo 10. Separación de medias según la variable de peso de raíz

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.14523

Error: 1.1157 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T6	7.02	5	0.47	A
T5	7.42	5	0.47	A
T1	7.42	5	0.47	A
T4	7.60	5	0.47	A
T2	7.82	5	0.47	A
T13	8.50	5	0.47	A
<u>T3</u>	<u>8.82</u>	<u>5</u>	<u>0.47</u>	<u>A</u>

Anexo 11. Análisis de varianza de la variable de peso foliar

Variable N R² R² Aj CV

Peso foliar 35 0.78 0.69 15.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	232.47	10	23.25	8.45	<0.0001
Tratamiento	13.78	6	2.30	0.84	0.5548
Planta	218.70	4	54.67	19.88	<0.0001
Error	65.99	24	2.75		
<u>Total</u>	<u>298.47</u>	<u>34</u>			

Anexo 12. Separación de medias según la variable de peso foliar

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.36774

Error: 2.7497 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T4	10.00	5	0.74	A
T1	10.24	5	0.74	A
T5	10.32	5	0.74	A
T2	10.38	5	0.74	A
T6	10.40	5	0.74	A
T3	11.48	5	0.74	A
<u>T13</u>	<u>11.76</u>	<u>5</u>	<u>0.74</u>	<u>A</u>

Anexo 13. Análisis de varianza de la variable de porcentaje de penetración

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
% Penetración	35	0.85	0.79	16.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	75.43	10	7.54	13.77	<0.0001
Tratamiento	12.57	6	2.10	3.83	0.0081
Planta	62.86	4	15.71	28.70	<0.0001
Error	13.14	24	0.55		
<u>Total</u>	<u>88.57</u>	<u>34</u>			

Anexo 14. Separación de medias según la variable de porcentaje de penetración

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.50292

Error: 0.5476 gl: 24

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
T6	5.20	5	0.33	A
T5	5.00	5	0.33	A
T1	4.60	5	0.33	A B
T13	4.40	5	0.33	A B
T4	4.40	5	0.33	A B
T3	4.20	5	0.33	A B
<u>T2</u>	<u>3.20</u>	<u>5</u>	<u>0.33</u>	<u>B</u>