



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN  
MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.

EFEECTO DE LA INOCULACIÓN DE *TRICHODERMA* SPP., EN LA SANIDAD  
DEL RIZOMA Y SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO (*MUSA AAA*).

HOLGER ROGELIO RIVERA INTRIAGO

Ing. Abraham Rodolfo Cervantes Álava. PhD.

TUTOR

Ing. Irán Rodríguez Delgado. MgSc.

CO - TUTOR

Machala

2023

## **PENSAMIENTO**

“El futuro no pertenece a quienes saben esperar, si no a quienes saben prepararse”.

Pedro Manero

“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida”.

Marco Aurelio

“Aquellos que educan bien a los niños deberían ser más honrados que los que producen; los primeros solo les dan la vida, los segundos el arte de vivir bien”.

Aristóteles

“No es lo que te ocurre, sino como reaccionas lo que importa”

Epítelo

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, la dedico primero a Dios, por brindarme en esta vida a la familia que tengo, por continuar brindándome sus bendiciones e iluminación, el acompañamiento constante en este arduo caminar, dándome fuerzas para lograr culminar esta meta sin desfallecer. A su vez este logro profesional se la dedico mis padres quienes con mucho esfuerzo y sacrificio supieron brindarme todo su apoyo incondicional para mis logros profesional y calidad humana. A mis hermanos (René, Leonor y Gina), por estar siempre pendientes de mi persona; con consejos de vida y profesionalismo. A René, querido hermano aunque no estás presente físicamente con nosotros continuas siendo ejemplo de vida; lucha y perseverancia de un corazón muy noble, siempre presto a ayudar sin mirar a quien sin espera de beneficio propio, gratos recuerdos y como te dije en vida; orgulloso de ser tu hermano y haber laborado profesionalmente contigo, el tiempo fue corto quedaron muchas cosas pendiente pero Dios hizo el llamado a ti, porque necesito a su lado a una alma como tú servicial y de confianza, te llevare por siempre en mi mente y corazón, tu acompañamiento espiritual nos reconforta de tu ausencia física, esto con mucho cariño para ti ñañito.

A mi novia y amiga Anabel González, por ofrecerme su paciencia y entendimiento por su apoyo incondicional en todo momento de nuestras vidas Dios mediante y ser promotor de un inicio de una familia llena de principios y valores; a futuro formando a hijos de bien bajo tu doctrina, útiles a la sociedad siempre de la guía y bendición de Dios nuestro creador.



Holger Rogelio Rivera Intriago

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero iniciar expresando mi agradecimiento a Dios por ser mi guía en este largo trayecto de mi formación académica, brindándome sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres Ana Holanda y Rogelio Rivera por ser ese pilar fundamental en mi vida y haberme siempre apoyado de manera incondicional en todas las etapas de mi vida.

Agradezco a mi tutor de tesis Dr. Abraham Cervantes Álaba, quien, por guiarme para el desarrollo de mi trabajo de investigación. Al Ingeniero Irán Rodríguez por su orientación constante .

También agradezco a todos los profesores del Programa de la Maestría en Recursos Naturales Renovables con Mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, quienes, con su sabiduría y experiencia, fueron una fuente de motivación para mí.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, Holger Rogelio Rivera Intriago con C.I. 0704456631, declaro que el trabajo de “Efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en la sanidad del rizoma y suelo en el cultivo de banano (*Musa* AAA)”, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con Mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.



Holger Rogelio Rivera Intriago

C.I. 0704456631

Machala, 2023/Octubre/02

## REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE TRICHODERMA SPP., EN LA SANIDAD DEL RIZOMA Y SUELO EN EL CULTIVO DE BANANO (MUSA AAA).

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Abraham Rodolfo Cervantes Álava. PhD. con C.I. 1201941463 tutor del trabajo de “Efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en la sanidad del rizoma y suelo en el cultivo de banano (*Musa* AAA”, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con Mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, ha sido revisado, enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos establecidos por el Centro de Posgrado de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), razón por la cual doy fe de los méritos suficientes para que sea presentado a evaluación.



Ing. Abraham Rodolfo Cervantes Álava. PhD.

C.I. 1201941463

Machala, 2023/Octubre/02

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Holger Rogelio Rivera Intriago con C.I. 0704456631, autor del trabajo de titulación “Efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en la sanidad del rizoma y suelo en el cultivo de banano (*Musa* AAA).”, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con Mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, no ha sido presentado previamente en ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
  - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia Creative Commons Attribution No Commercial – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
  - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.



Holger Rogelio Rivera Intriago

C.I. 0704456631

Machala, 2023/Octubre/02



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo evidenciar el Efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en la sanidad del rizoma y suelo en el cultivo de banano (*Musa* AAA), con el fin de implementar alternativas biológicas para tratar de disminuir el impacto ambiental y a la salud humana, donde se empleó *Trichoderma* spp., en suelo y raíz; aplicando una sola vez hasta los 90 días de experimentación. La aplicación del hongo se realizó frente a los hijos productivos seleccionados de la planta madre de banano, en sus tres dosis o tratamientos (1, 2 y 3 l/ha) más el testigo, con cuatro réplicas de cada tratamiento obteniendo 16 unidades experimentales. La toma de datos se realizó con la medición (alturas m y diámetros cm) del retorno, a frecuencia de 15 días hasta los 75 días evidenciándose el beneficio de emplear 2 y 3 l/ha de *Trichoderma* spp., más no así de 1 l/ha. En tanto que, *Trichoderma* spp., controló *M. incognita*, en raíz presentando los menores valores de poblaciones de nematodos hasta los 90 días después de aplicado más no así en los nematodos (*H. multicinctus*, *R. similis* y *P. penetrans*). La aplicación de *Trichoderma* spp., en suelo en dosis (1, 2 y 3 l/ha) no presentaron efecto control en las poblaciones y tipos de nematodos, se recomienda no utilizar *Trichoderma* spp., ya que en el suelo sirven de alimento a los nematodos existentes, multiplicando sus poblaciones a mayor dosis, mayor serán sus poblaciones de nematodos.

**PALABRAS CLAVES:** *Trichoderma* spp., saprófito, desarrollo vegetativo, plaguicidas, diafonía, necrotrófico, enzimas líticas.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to demonstrate the Effect of inoculation of *Trichoderma* spp. on the health of the rhizome and soil in the cultivation of banana (Musa AAA), in order to implement biological alternatives to try to reduce the impact, environmental and human health, where *Trichoderma* spp., was used, in soil and roots; applying only once up to 90 days of experimentation. The application of the fungus was carried out against the selected productive offspring of the banana mother plant, in its three doses or treatments (1, 2 and 3 l/ha) plus the control, with four replicates of each treatment obtaining 16 experimental units. Data collection was carried out by measuring (heights m and diameters cm) the return, at a frequency of 15 days to 75 days, demonstrating the benefit of using 2 and 3 l/ha of *Trichoderma* spp., but not 1 l/ha. Meanwhile, *Trichoderma* spp., controlled *M. incognita*, initially presenting the lowest values of nematode populations up to 90 days after applying, but not in the nematodes (*H. multincinctus*, *R. similis* and *P. penetrans*). The application of *Trichoderma* spp., in soil at doses (1, 2 and 3 l/ha) did not present control effects on the populations and types of nematodes, it is recommended not to use *Trichoderma* spp., since in the soil they serve as food for existing nematodes, multiplying their populations at higher doses, the greater their nematode populations will be.

**KEYWORDS:** *Trichoderma* spp., saprophyte, plant development, pesticides, crosstalk, necrotrophic, lytic enzymes.

## ÍNDICE GENERAL

PENSAMIENTO .....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA .....	IV
REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN.....	V
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	VI
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
LISTA DE GRÁFICOS.....	XVII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    OBJETIVOS .....	2
1.1.1    Objetivo General.....	2
1.1.2    Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1    Origen de las plantas de banano <i>Musa</i> (AAA) .....	3
2.2    Taxonomía de la planta de banano.....	3
2.3    Descripción botánica de la planta de banano.....	3
2.3.1    Raíz.....	4
2.3.2    Tallo.....	4
2.3.3    Hojas.....	5
2.3.4    Flores .....	5

2.3.5	Corona .....	5
2.3.6	Fruto.....	5
2.4	Ecología de la planta de banano.....	5
2.5	Producción mundial de banano.....	6
2.6	Ecuador productor bananero .....	6
2.7	Producción bananera en la Provincia de El Oro .....	7
2.8	Normas ambientales para banano .....	7
2.9	Impactos ambientales.....	8
2.10	Ecología de los nematodos.....	8
2.11	Características generales de los nematodos .....	9
2.12	Clasificación de los nematodos edáficos .....	9
2.12.1	Microvoros.....	9
2.12.2	Herbívoros .....	9
2.12.3	Omnívoros y predadores.....	10
2.13	Nematodos en el cultivo de banano .....	10
2.14	Principales nematodos en el cultivo de banano .....	10
2.14.1	Nematodo barrenador: <i>Radopholus similis</i> .....	10
2.14.2	Nematodo: <i>Helicotylenchus multicinctus cobbs</i> .....	11
2.14.3	Nematodo nodulador: <i>Meloydogyne incognita</i> .....	12
2.14.4	Nematodo agallador: <i>Pratylenchus penetrans</i> .....	13
2.15	Control químico para nematodos en banano.....	14
2.16	Alternativa biológica.....	15
2.17	Generalidades del hongo <i>Trichoderma</i> spp. ....	15
2.18	Morfología del hongo <i>Trichoderma</i> spp. ....	16
2.19	Clasificación taxonómica del género <i>Trichoderma</i> spp.....	16

2.20	Interacción del hongo <i>Trichoderma</i> spp., en las plantas.....	17
2.21	Especies de <i>Trichoderma</i> spp.; con potencial biológico en la protección de las plantas.....	17
2.22	Producción de enzimas degradantes del hongo <i>Trichoderma</i> spp. ....	18
2.23	Sinergia del hongo <i>Trichoderma</i> spp. ....	18
2.24	Efecto de <i>Trichoderma</i> spp., en la solubilización de fósforo .....	19
2.25	Interacción de <i>Trichoderma</i> spp., en la síntesis del ácido indol acético.....	19
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....		20
3.1	Ubicación del ensayo .....	20
3.1.1	Características de la zona .....	20
3.1.2	Diseño experimental.....	20
3.1.3	Modelo matemático .....	20
3.1.4	Estimación de parámetros:.....	21
3.2	Hipótesis: .....	21
3.2.1	Hipótesis nula: .....	21
3.2.2	Hipótesis alterna: .....	21
3.2.3	Análisis de Varianza.....	21
3.3	Supuestos del modelo .....	22
3.4	Factor de estudio .....	23
3.5	Croquis del ensayo.....	23
3.6	Descripción del croquis del ensayo.....	24
3.7	Materiales de campo .....	25
3.8	Metodología.....	25
3.8.1	Toma de las alturas de los hijos seleccionados en el cultivo de banano ..	25

3.8.2	Medición de las circunferencias de los pseudotallos del cultivo de banano.....	25
3.8.3	Toma de muestras del suelo en el cultivo de banano .....	25
3.8.4	Análisis de tipo y población de nematodos del suelo.....	26
3.8.5	Análisis de nematodos de raíces de banano.....	26
3.8.6	Procedimiento estadístico.....	27
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....		28
4.1	Influencia de <i>Trichoderma</i> spp., en la altura y diámetro del retorno.....	28
4.1.1	Altura de las plantas de banano .....	28
4.1.2	Diámetro de las plantas de banano .....	32
4.2	Resultados del efecto de la inoculación de <i>Trichoderma</i> spp., en los tipos y población de nematodos/kg-1 suelo a los 30, 60 y 90 días.....	36
4.3	Resultado del efecto de la inoculación de <i>Trichoderma</i> spp., en tipo y población de nematodos/kg <sup>-1</sup> raíz a los 30, 60 y 90 días. ....	41
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....		47
5.1	Comportamiento de las alturas en los hijos productivo de las plantas madre de banano durante los diferentes momentos de muestreo en las dosis de <i>Trichoderma</i> spp., utilizadas. ....	47
5.2	Comportamiento del tiempo en el diámetro en los hijos productivos de plantas madre de banano bajo el efecto de diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp. ....	47
5.3	Comportamiento de población de nematodos/kg-1 suelo en los hijos productivos de plantas madre de banano a los 30, 60 y 90 días de aplicado <i>Trichoderma</i> spp.....	48
5.4	Desempeño de las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp., en los diferentes tipos y poblaciones de nematodos/kg-1 raíz de plantas madre de banano en sus respectivos momentos de sanidad.....	48

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	51
ANEXOS.....	55
8.1 Selección del hijo productivo de la planta madre de banano (retorno).....	55
8.2 Adecuación para la aplicación de <i>Trichoderma</i> spp., en las tres dosis en el campo experimental.....	56
8.3 Fotografías tomadas en laboratorio 10-03-2023 con sus respectivos tratamientos .....	57
8.4 Fotografías tomadas en laboratorio 12-04-2023 con sus respectivos tratamientos .....	58
8.5 Fotografías tomadas en laboratorio 12-05-2023 con sus respectivos tratamientos .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación taxonómica de la planta de banano según ( Mora 2022). .....	3
Tabla 2.	Análisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar. ....	22
Tabla 3.	Especificaciones del diseño, en el área experimental del ensayo en el cultivo de banano. ....	24
Tabla 4.	Descripción de los tratamientos en las diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp., en la solución total. ....	27
Tabla 5.	Descripción de los tratamientos de las diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp., por unidad experimental. ....	27
Tabla 6.	Descripción de las diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp., de las unidades de producción por tratamiento del ensayo. ....	27
Tabla 7.	Resultados del ANOVA de un factor inter grupo en función de la altura (m) de las plantas de banano en los diferentes momentos de muestreo. ....	28
Tabla 8.	Resultado de la prueba post hoc de un factor inter grupo en función de la altura (m) de las plantas de banano en las diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp. ....	30
Tabla 9.	Resultados del ANOVA de un factor inter grupo, en función del diámetro en pseudotallos de las plantas de banano, en sus diferentes momentos de medición. ....	32
Tabla 10.	Diámetro del retorno productivo de las plantas de banano, aplicado <i>Trichoderma</i> spp. y el testigo en diferentes momentos de medición. ....	34
Tabla 11.	Resultados del ANOVA de la población de nematodos/kg <sup>-1</sup> de suelo en función de tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos. ...	36
Tabla 12.	Población de nematodos/kg <sup>-1</sup> de suelo en función de aplicar las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos. ....	37
Tabla 13.	Tipos de Nematodos/kg <sup>-1</sup> suelo en función de la aplicación de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos. ....	38
Tabla 14.	Tipos de nematodos/kg <sup>-1</sup> suelo en función de la aplicación de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos de muestreos. ....	39
Tabla 15.	Población de nematodos/kg-1 raíz en sus diferentes momentos de evaluación en función de las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control. ....	41



Tabla 16. Población de nematodos/kg <sup>-1</sup> raíz en las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos.....	42
Tabla 17. Tipos de nematodos/kg <sup>-1</sup> raíz en función al resultado de las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control sus diferentes momentos. ....	43
Tabla 18. Tipos de nematodos/kg <sup>-1</sup> raíz en función del resultado de las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp. y el control en sus diferentes momentos. ....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	20
Figura 2. Comportamiento de las alturas de los hijos productivo de las plantas madre de banano durante los diferentes momentos de muestreo en las dosis de <i>Trichoderma</i> spp., utilizadas.....	32
Figura 3. Comportamiento en el tiempo del diámetro de los hijos productivos de plantas madre de banano bajo el efecto de diferentes dosis de <i>Trichoderma</i> spp.....	35
Figura 4. Comportamiento de población de nematodos/kg-1 suelo, en los hijos productivos de plantas madre de banano a los 30, 60 y 90 días de aplicado <i>Trichoderma</i> spp.....	40
Figura 5. Desempeño de las tres dosis de <i>Trichoderma</i> spp., en los diferentes tipos y poblaciones de nematodos/kg-1 raíz de plantas madre de banano en sus respectivos momentos de sanidad.....	46

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las exportaciones de banano a nivel mundial presentan uno de los rubros económicos más importantes, ubicándose en cuarto puesto, seguido del trigo, arroz y maíz; siendo el que ocupa el primer lugar en la producción y exportación. En el Ecuador a nivel nacional en el año 2022, muestran la existencia de seis cultivos perennes plantadas tales como: cacao con 41,3%, continuando con palma africana con 13,7%, seguido de banano 12,0%, plátano con 9,3 %, Caña de azúcar 8,1 % y otro perennes con 15,6 %. En contraste con la participación de la producción de estos cultivares perennes encontramos a caña de azúcar con 7.7 millones de Tm, ocupando segundo lugar a banano con 6,1 millones de Tm, seguido de palama africana con 2.3 millones de Tm. En el año 2020 la superficie plantada de banano alcanzó 165,080 ha, en el año 2021 incremento a 2,813 ha, ya en 2022, obtuvo 7,573 ha de plantaciones nuevas (Orbe, 2023).

La provincia de El Oro, obtuvo una participación del 20,32 % en la exportación nacional de banano, seguido de Guayas 31,87 % y los Ríos con 42.32% de una producción total de 6,078,789 toneladas de banano (Ministerio de agricultura y ganadería, 2022). A medida que se va sembrando nuevas plantaciones de banano se necesitará mayores plaguicidas para evitar daños por Sigatoka negra (*Mycosphaella fijiensis*) y nematodos, estas enfermedades generan grandes pérdidas productivas y monetarias al productor de no ser tratadas oportunamente, por lo tanto, la utilización de plaguicidas son los encargados de controlar estas plagas y enfermedades, pero a su vez causan daños a la salud humana y al medio ambiente, motivo por el cual se busca alternativas ecológicas como los hongos del género *Trichoderma* spp., que puedan controlar nematodos.

Los nematodos en general afectan a las raíces de las plantas de banano, consecuentemente acarrea en la perdida de la unidad de producción o su vez bajos rendimientos, para evitar esta afección se emplean los nematicidas; las cuales son sustancias químicas organofosforadas categorizadas toxicológicamente en 1b y los carbamatos son altamente tóxicos quienes se ubican en la tabla toxicológica 1a, estas sustancias son inhibidoras de la colinesterasa y pueden ser mortales si se ingiere y/o se inhala y/o pueden causar daño a los ojos y a la piel de los trabajadores cuando realizan la aplicación. Se menciona que en terrenos planos no se debe aplicar a menos de 20 metros de ríos y quebradas. Al conocer el gran impacto ambiental y social que causa la utilización de nematicidas en el cultivo de banano se busca la incorporación biológica

donde se manipula el ambiente del hospedero (raíz de banano) o de los antagonistas (*Trichoderma* spp.) de los nematodos, de tal manera para reducir la capacidad de afectación en las raíces causadas por nematodos que son los agentes causales de ocasionar enfermedades en la raíz y posteriormente su muerte generando baja producción en la plantación o su pérdida total de la unidad productiva de banano.

Mediante la. Por las razones expuestas anteriormente el presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de la inoculación del hongo *Trichoderma* spp., con un ingrediente activo de  $1 \times 10^9$  UFC en dosis de (1, 2 y 3 l/ha), en la sanidad del rizoma y suelo en el cultivo de banano (*Musa* AAA).

### **1.1.2 Objetivos específicos**

1. Medir la influencia de *Trichoderma* spp., en altura y diámetro del retorno del cultivo de banano antes y después de aplicado el hongo saprófito.
2. Comprobar el efecto de *Trichoderma* spp., en el tipo y población de nematodos en suelos dedicados al cultivo de banano a los 30, 60 y 90 días de aplicado el hongo saprófito.
3. Determinar la influencia de *Trichoderma* spp., en la calidad de raíces en la planta de banano, así como el tipo y cantidad de nematodos presentes a los 30, 60 y 90 días de aplicado el hongo benéfico.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen de las plantas de banano *Musa* (AAA)

La planta de banano son hierbas perennes monocotiledóneas gigantes que se desarrollan en climas trópicos húmedos y subhúmedos con altitudes de bajas a medias. Su origen data del sureste de Asia con círculos secundarios de diversidad como en; África Occidental y Central (subgrupo Plantain) en las tierras altas de África Oriental (subgrupo Lujugira), pertenecen al género *Musa*; el cual comprende más de 1 000 variedades en cuatro secciones: *Australimusa*, *Callimusa*, *Rhodochlamys* y *Eumusa*. La mayoría de las especies de *Musa* cultivadas pertenecen a la sección *Eumusa* y producen frutos que son uno de los principales productos alimenticios básicos en el comercio internacional además de una importante fuente de carbohidratos en las economías alimenticias locales de muchos países en desarrollo. El género *Musa* es muy antiguo y muchas de las especies presentes en él, son utilizadas para la alimentación humana y animal. La sección *Eumusa* forma parte de la gran diversidad del género, donde contiene la mayoría de los bananos y plátanos comestibles. El grupo Cavendish presenta la mayor producción en el mundo, con un 47 %, principalmente de los clones Gran Enano y Valery (Arteaga, 2015).

### 2.2 Taxonomía de la planta de banano

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la planta de banano según ( Mora 2022).

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Musáceas
<b>Género</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie</b>	<i>Paradisiaca</i>
<b>Grupo</b>	AAA
<b>Subgrupo</b>	Cavendish

### 2.3 Descripción botánica de la planta de banano

En el Ecuador la variedad de banano las más cultivadas son del sub grupo Cavendish, la cual se propaga a partir de un brote de la planta madre, luego se espera

aproximadamente nueve meses después de la siembra siendo así la primera parición donde finalmente es cosechada, este ciclo de vida se repite con un nuevo retorno de la planta cosechada (Aziz et al., 2015). La planta de banano consta de las siguientes partes:

### **2.3.1 Raíz**

Las raíces de banano tienen un sistema radical adventicio, el cual presenta aspectos alargados y de color blanco tenue, en su etapa juvenil adquieren una coloración amarilla y a medida de su proceso de envejecimiento tienden a ser ligeramente más oscuras, el diámetro de las raíces puede oscilar desde los 5 y 8 mm e incluso puede llegar hasta 10 mm y en su longitud esta entre 3 y 5 metros originándose en la parte central presentándose en grupos de tres o cuatro. En varias publicaciones se hace referencia a las raíces del banano describiéndolas como: primarias, secundarias y terciarias. Desde el aspecto botánico esta apreciación es errónea, la planta de banano al ser una planta monocotiledónea por definición las raíces primarias y subsiguientes son derivadas de la radícula de un embrión.

La descripción correcta para la terminología de las raíces de primer, segundo y tercer orden. Se detalla de la siguiente manera: primer orden emite otras de segundo orden aproximadamente de 2 mm de diámetro. Las raíces de segundo orden en sus extremos presentan considerable cantidad de pelos absorbentes. Las raíces laterales brotan de 15 a 30 cm detrás del ápice del origen de la raíz, su diámetro oscila entre 0,5 y 3,5 mm y con una longitud que varía de 3 a 15 cm, de estas raíces surgen otras menores de 1 a 4 cm de longitud las cuales podrían dar origen a raíces laterales aún menores (Galan et al., 2018).

### **2.3.2 Tallo**

El tallo de la planta de banano se encuentra situado en el centro del rizoma creciendo a través del pseudotallo durante el proceso de desarrollo y emisión de la inflorescencia. Los tejidos meristemáticos poseen células que se caracterizan por poseer citoplasma denso, núcleos grandes y nucléolos conspicuos. El meristema apical de las hojas a muy temprana edad está en posición helicoidal, variando su morfología acorde al estado de desarrollo de la planta. En sus inicios emergen en forma de espada, sin limbo desarrollado para luego aparecer hojas lanceoladas y finalmente hojas adultas (Galan et al., 2018).

### **2.3.3 Hojas**

Las hojas están formadas por una estructura tubular llamada vaina un peciolo grueso y limbo o lamina. Las vainas se disponen concéntricamente y de forma muy apretada para formar el pseudotallo quienes pueden poseer hasta 40 vainas durante su vida. (Arteaga, 2015).

### **2.3.4 Flores**

Las flores de la planta de banano son de color amarillo de forma irregular con seis estambres de los cuales uno es estéril reducido a estaminodio petaloideo. El gineceo posee tres pistilos con ovario ínfero creando un fruto oblongo con una forma similar a la de un pepino triangular segmentado en tres celdas polispermos que contienen una pulpa carnosa con valor nutritivo. Cada grupo de flores conjuntas en cada bráctea dan inicio a la formación de frutos llamados manos excepto en variedades muy fructíferas, que pueden contar hasta doce o catorce (Arteaga, 2015).

### **2.3.5 Corona**

La aparición de la corona inicia en la etapa de la floración con un escapo pubescente de 5 a 6 centímetros de diámetro finalizando con un racimo colgante de 1 a 2 metros de largo este posee una vaina de brácteas ovas alargadas, agudas de color rojo purpura, revestidas exteriormente de un polvillo blanco harinoso (Arteaga, 2015).

### **2.3.6 Fruto**

En su proceso fisiológico la bellota se va elongando poco a poco en el transcurrir del tiempo y a su vez se va doblando geo trópicamente para finalizar en su forma de racimo. La mayoría de los frutos comestibles de las Musáceas son estériles, motivos por la cual son complejos genes, específicos para la infertilidad femenina, triploidía y cambios en la estructura cromosómica (Mora, 2022).

## **2.4 Ecología de la planta de banano**

La planta de banano se da en regiones tropicales y requieren de temperaturas relativamente altas que varían de 18°C a 30°C, con un suministro de agua aproximadamente de 100 milímetros y 180 milímetros por mes. Para su buen desarrollo requiere de suelos profundos con buen drenaje también extraen grandes cantidades de nutrientes del suelo en todo su proceso de formación y cosecha del fruto. Al ser un

cultivo perenne se puede cultivar hasta 30 años de forma continua, pero a su vez la fertilidad del suelo disminuirá rápidamente después de los primeros años teniendo el resultado de reducción de rendimiento productivo a partir del tercer o quinto año después de su siembra y subsiguiente la reducción a partir de diez a quince años. (Aziz, Elbehri; Germán & Staver, 2015)

## **2.5 Producción mundial de banano**

La producción del cultivo de banano a nivel mundial ha tenido un crecimiento significativo donde el análisis del mercado determinó que las exportaciones ascendieron a 202 millones de toneladas hasta el año 2019, ocasionado el crecimiento de la producción bananera en los países de Ecuador y Filipinas que son los mayores exportadores de banano a nivel mundial donde se estima que en el año 2028 la proyección sería de 135 millones de toneladas. Las exportaciones de los países de América Latina y el Caribe, tienen fenómenos adversos debido a la influencia de condiciones atmosféricas atribuidas al fenómeno del niño especialmente en Costa Rica, República Dominicana, Ecuador y Colombia provocando daños a las plantaciones y reprimiendo el desarrollo de la economía de los productores (Zhiminaicela et al., 2020).

## **2.6 Ecuador productor bananero**

Ecuador después de la segunda Guerra Mundial, empieza a encaminarse en la producción bananera para reemplazar la industria del cacao que colapsó en el decenio de 1920. En el año de 1948 el presidente Galo Plaza emprendió un programa de desarrollo con miras a fomentar la producción bananera este programa dio la concesión de créditos agrícolas gubernamentales la construcción de puertos y una carretera costera, regulación de precios y la prestación de asistencia para la lucha contra las enfermedades. El clima de la zona costera del Ecuador es ideal para el cultivo de banano donde no tardó en alcanzar a América Central la principal región productora en los años anteriores a la guerra. Los factores climáticos favorecieron a Ecuador como: la ausencia de huracanes, ciclones y enfermedades que eran frecuentes en América Central. En el año de 1952, Ecuador se convirtió en el mayor exportador de banano y en el año de 1964 el país representó el 25% de las exportaciones mundiales de este producto, es decir más que las exportaciones de todos los países productores de banano de América Central juntos (Aziz, Elbehri; Germán & Staver, 2015).



La agricultura tradicionalmente en el Ecuador ha sustentado la contextura productiva con especialidad en las exportaciones de la Costa y para el consumo interno de la Sierra es un país agroexportador mucho antes de ser considerada República donde atravesó el boom cacaotero y luego el bananero donde el acrecentamiento productivo del sector permitió ampliar la fuerza laboral en los diferentes sectores económicos que condujeron a un aprovechamiento de ventajas comparativas para ser una de las economías que conto con más recursos en la década de los cincuenta hasta los setenta, siendo así uno de los principales competidores de la fruta de banano, seguido del cacao y más adelante el café. El banano forma parte de los tres productos con mayor volumen de exportación, los tributos generados han registrado saldos positivos en la balanza comercial, más del 30% de la oferta mundial del banano proviene de Ecuador, país destacado como el principal exportador en el mundo desde el comienzo de los intercambios comerciales (Marisol & Pinta, 2020).

## **2.7 Producción bananera en la Provincia de El Oro**

En año 2021, la superficie cosechada de banano fue de 164,085 hectáreas donde se registró un crecimiento de 2,15 % con relación al año 2020. El banano de exportación está localizado principalmente en la región Costa sobre todo en las siguientes tres provincias: Los Ríos (34,22 %), Guayas (27,84 %) y El Oro (25,09 %) donde suman el 87,15 % de la superficie nacional cosechada de banano mientras que, en la región Sierra existe una participación del 12,85 % dando así el 100%. La producción anual de banano fue de 6,68 millones de toneladas presentando un crecimiento del 10,98 % respecto al año anterior (D. Orbe & Cuichan, 2022).

## **2.8 Normas ambientales para banano**

Una de las prioridades del Gobierno en el sector bananero es crear estrategias de adaptación para mejorar las prácticas fitosanitarias dentro del sector. En el marco jurídico la nueva estrategia fitosanitaria esta incorporado en la ley del banano reformada. En virtud de esta ley; las explotaciones de hasta 20 hectáreas requieren tarjetas de registro mientras que las plantaciones de mayor tamaño requieren permisos o licencias ambientales. Estas tarjetas se conceden después de que el MAGAP compruebe que todo riesgo para la salud de las poblaciones vecinas y trabajadores de las plantaciones se haya reducido al mínimo. Otros requisitos son los planes correctivos en

caso de emergencia en las plantaciones bananeras como: inundaciones y brotes de enfermedades, entre otros.

Una de las tareas consiste cambio climático y sostenibilidad del banano en el ecuador: evaluación de impacto y directrices de política en hacer que todas las regiones productoras de banano tengan el mismo grado de cumplimiento de las normas ambientales. La reglamentación también indica que la atomización aérea con productos químicos fija en al menos de 100 metros de las riberas de los ríos y escuelas y centros de salud de las aldeas. Para la aplicación manual de productos agroquímicos la franja de protección es de 50 metros de estas zonas.

El Gobierno está aplicando una amplia política impositiva para la protección del medio ambiente en la forma de impuesto ecológico a fin de influir en el comportamiento del consumidor y reducir la contaminación vehicular y el uso de botellas de plástico. De conformidad con la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los ingresos del estado, los grandes productores y los exportadores deben pagar un impuesto a la renta del dos por ciento por cada caja de banano. El impuesto se aplica al precio oficial y no a los costos de producción, existe un tributo aplicado a la tierra de cultivo de banano como parte del paquete fiscal (Aziz, Elbehri; Germán & Staver, 2015).

## **2.9 Impactos ambientales**

El cultivo de banano acarrea un gran costo en su cadena de producción debido al uso considerable de productos químicos. A consecuencia de la utilización de estos se ha venido presentando efectos negativos al medio ambiente y a la salud humana. Se tiene el conocimiento que la aplicación de productos químicos es perjudicial para la salud de los trabajadores desprotegidos y a las personas que viven alrededor de las plantaciones de banano existiendo también la contaminación de los abastecimientos de agua cercanos (Aziz, Elbehri; Germán & Staver, 2015).

## **2.10 Ecología de los nematodos**

En la mesofauna del suelo se encuentran: artrópodos, nematodos y tardígrados las cuales presentan una serie de ventajas respecto a la microflora de bacterias, hongos y algas y a la microfauna: protozoos como bioindicadores. En primer lugar, se encuentra uno o dos niveles más alta en la cadena alimenticia por lo que integra las propiedades químicas, físicas y biológicas de los recursos alimenticios y en segundo lugar su ciclo

de vida que va de días a años. Es más largo que el de los microbios metabólicamente activos de horas a días, por lo que sus poblaciones son más estables y no están sujetas a fluctuaciones temporales por liberaciones efímeras de nutrientes (E & Asociación española de ecología terrestre, 2013).

### **2.11 Características generales de los nematodos**

Los nematodos son invertebrados pseudo celomados de tamaño pequeño que va de menos de 1 mm de largo; estos habitan en la gran mayoría de ecosistemas terrestres presentando por lo general varios millones de individuos por m<sup>2</sup>. Los nematodos edáficos viven en una película de agua que rodea las partículas del suelo y presentan una cutícula semipermeable facilitando estar en contacto directo con cualquier contaminante. Son diversos y ocupan diferentes eslabones funcionales dentro de la red trófica edáfica. Algunos nematodos presentan estados de resistencia o quiescencia que les permiten sobrevivir inactivos cuando las condiciones de crecimiento o desarrollo no son favorables mientras que otros son extremadamente sensibles a los cambios ambientales (E & Asociación española de ecología terrestre, 2013).

### **2.12 Clasificación de los nematodos edáficos**

La clasificación de los nematodos edáficos está en cuatro grandes grupos tróficos.

#### **2.12.1 Microvoros**

Se alimentan de bacterias y hongos, regulando las poblaciones microbianas y participan activamente en el mantenimiento del ciclo de nutrientes y en la mineralización del nitrógeno (N).

#### **2.12.2 Herbívoros**

Se sustentan de las raíces de las plantas, aunque en algunas especies parasitan en los tallos y hojas, donde también podrían provocar daños importantes en las cosechas ejemplo: nematodos formadores de quistes de los géneros *Globodera* y *Heterodera* o los nematodos formadores de agallas en las raíces de las plantas del género *Meloidogyne*.

### **2.12.3 Omnívoros y predadores**

Toman de alimento a otros organismos edáficos incluidos como otros nematodos y pueden ser importantes en la supresión de especies invasoras, pueden presentar estiletes para la toma de sus presas ya que son en general más sensibles a las perturbaciones ambientales por lo que tiene una relevancia especial como indicadores de la salud del suelo. Aunque estos son los grupos tróficos fundamentales, también pueden encontrarse en el suelo nematodos parásitos de insectos, muy sensibles al manejo agrario (E & Asociación española de ecología terrestre, 2013).

### **2.13 Nematodos en el cultivo de banano**

Existe la presencia de poblaciones poliespecíficas de nematodos en el cultivo de banano de las cuales están: *Radopholus similis*, *Helicotylenchus spp.*, *Pratylenchus spp.* y *Meloidogyne spp.* Donde *R. similis*, muestra mayor presencia en el cultivo de banano. La existencia de estos nematodos ocasiona pérdidas en la producción de banano, las estimaciones de reducciones comerciales del Ecuador son diversas, alcanzando hasta 4,75 kg por racimo, representando el 22 % de pérdidas en rendimiento producción (Vera, 2021).

### **2.14 Principales nematodos en el cultivo de banano**

#### **2.14.1 Nematodo barrenador: *Radopholus similis***

*R. similis* se identificó por primera vez en 1893, en las zonas productoras de banano de las islas Fiyi desde entonces ha llegado a múltiples continentes probablemente a través de material vegetal infestado. *R. similis* es un parásito conocido como nematodo excavador siendo miembro de la familia *Pratylenchidae* no se ha demostrado que forme sitios específicos de alimentación ya que está presente en innumerables cultivos como: *Citrus spp.*, coco, palma, café, caña de azúcar, aguacate, pimienta negra, follajes ornamentales de la familia (*Philodendron*, *Anthurium*, *Hibiscus*) y jengibre (*Zingiberaceae*) e incluidos en el cultivo de banano (*Musa spp.*), causando pérdidas económicamente significativas.

Los machos y las hembras se pueden clasificar por el único dimorfismo sexual que presentan en su región cefálica esta característica también apoya la hipótesis de que *R. similis*, está estrechamente relacionado con los nematodos del quiste pertenecientes a la familia *Hoplolaimidae*. Los machos de *R. similis*, miden por lo regular entre 500 y 600

µm de largo y poseen un labio elevado no así en las hembras. Los machos son más delgados que las hembras y tienen un cuerpo degenerado (estilete) lo que explica su naturaleza no alimenticia en tanto que, los machos poseen una característica de espícula curvada cerca del extremo de la cola y una bolsa prominente al contrario de las hembras que poseen un estilete distintivo de aproximadamente 16 a 21 µm de largo con tres protuberancias. Las hembras de *R. similis* comúnmente presentan medidas que van desde 550 hasta los 800 µm de largo finalizando con una región de cola translúcida única. La reproducción de *R. similis*, se reproduce como hermafrodita facultativo, aunque el cruzamiento ocurre preferentemente cuando hay machos presentes.

El ciclo de vida de *R. similis*, se comprende entre los 18 a 20 días en un rango de temperatura de 25 a 30 °C a diferencia de las poblaciones en Europa que parecen reproducirse incluso a temperaturas más bajas. Los huevos, depositan a medida que las hembras migran a través del sistema radicular, las hembras pueden colocar hasta 4 a 5 huevos al día durante varias semanas. Los juveniles y las hembras de *R. similis*, son parásitos donde los juveniles se alimentan fuera del sistema radicular ocasionalmente.

La migración intercelular y la alimentación de estos nematodos vermiformes causan un daño celular significativo, caracterizándose por producir daños de color marrón rojizo, otra característica de estos nematodos son los daños ocasionados por la construcción de túneles y actividades de alimentación donde deja el sistema radicular herido y susceptible a bacterias y hongos oportunistas quienes podrían ingresar a la planta a través de la zona afectada. Las principales características de *R. similis*, se observan en las raíces de banano generando sistemas radiculares debilitados ocasionando decrecimiento en el desarrollo de las plantas a causa de la mala absorción de nutrientes y agua, las cuales conducen al volcamiento de las plantas de banano especialmente durante fuertes lluvias y tormentas (Mathew, Reny; Cahrls D; Opperman, 2019).

#### **2.14.2 Nematodo: *Helicotylenchus multicinctus* cobbs**

*H. multicinctus*, descrito originalmente en Suva Fiyi. Es considerado como el nematodo más dañino, en las plantaciones de banano y plátano. Se tienen registros a nivel mundial, que está presente en varias plantas hospedantes probablemente sea el nematodo más extendido y abundante con efectos perjudiciales en los plátanos después de *R. similis*. Durante el establecimiento del cacao requiere la sombra proporcionada por

el plátano y otras plantas alimenticias, lo que aumenta aún más las poblaciones de *H. multincinctus* en la rizosfera de la planta (Daramola et al., 2020).

El género *Helicotylenchus* (Tylenchida: Hoplolaimidae) son nematodos fitoparásitos más ubicuos y distribuidos en todo el mundo, los efectos de estos nematodos es causar graves daños a las raíces de los plátanos después de *R. similis*. *Helicotylenchus* spp., posee una amplia gama de huéspedes como: hortalizas, plantas ornamentales, forrajes, césped, malezas y plantas en hábitats naturales. *H. multincinctus* es considerado como la principal especie de nematodo parásito en condiciones de temperatura y lluvia moderadas sin embargo *H. multincinctus*, se alimenta dentro de la capa externa de la corteza de la raíz provocando un deterioro progresivo y limitando la absorción de agua y nutrientes causando el derrumbe de las plantas de banano a más de la maduración prematura del racimo y la reducción del tamaño con pérdidas de producción que van del 19% al 34% aproximadamente a los 2 a 3 años después de la siembra. *H. multincinctus*, es capaz de completar su ciclo de vida; dentro de la corteza de las raíces, a menudo el principal nematodo parásito encontrado en las raíces de las plantas de banano se debe a las condiciones de temperatura y lluvia siendo óptimas para su desarrollo también existe que las poblaciones de nematodos aumentan cuando hay baja temperatura y suelos secos debido a que casi toda la población del suelo migra hacia las raíces lo cual indica que los factores ambientales si influyen en la población del suelo en sí mismos, no en la población de raíces. Según eso, la población de *H. multincinctus* era mayor dependiendo de su huésped.

La estructura morfológica de *Helicotylenchus* spp., la región labial es hemisférica y ligeramente desplazada, la región del estilete es bien desarrollada y las protuberancias del estilete son prominentes, anchas y parecen aplanadas o cóncavas anteriormente aunque, el poro excretor del nematodo cerca de la unión faringe-intestinal y la vulva es una hendidura transversal deprimida en el 70% de la longitud del cuerpo (Gunasekaran, 2021)

#### **2.14.3 Nematodo nodulador: *Meloydogyne incognita***

Los nematodos agalladores (*M. incognita*), son agentes causales de infección en las raíces de las plantas donde el ciclo de infección de *M. incognita* presenta diferentes etapas: que van desde la invasión a las raíces del huésped, seguida del establecimiento en los tejidos de las raíces y la reproducción, mientras que los juveniles infecciosos

eclosionan, perforan y penetran en las raíces particularmente en las zonas de elongación quienes se mueven intercelularmente hacia abajo hasta la punta de la raíz, entrando al cilindro vascular donde luego giran y se mueven de la misma forma (intercelularmente) hacia arriba llegando a la zona de diferenciación donde se asientan generando sitios de alimentación, seleccionando de seis a ocho células vasculares donde perforan con su estilete e inyectando secreciones de la glándula faríngea. Estas secreciones causan la diferenciación de las células en células de alimentación multinucleadas e hipertrofiadas (sitios de alimentación), que comúnmente son llamadas células gigantes dando como resultado la formación de estructuras visibles llamados nudos de raíz (Mbaluto et al., 2021).

A menudo *M incognita*, en las raíces de banano se encuentran junto con otras especies patógenas como: *R. similis* (Vera, 2021). *M. incognita* al ser formadores de agallas desarrollan cambios notables en su estructura morfológica durante su ciclo biológico mediante varias mudas, tanto en hembras como en machos adultos su ciclo de vida puede prolongarse o acortarse dependerán de los factores externos como: la temperatura (28°C) y a la susceptibilidad del hospedante, la duración del ciclo de vida está entre los 29 días a partir de ahí; se tendrá la inoculación para las siguientes generaciones (Hernandez, 2021).

#### **2.14.4 Nematodo agallador: *Pratylenchus penetrans***

*P. penetrans*, es un parásito donde posee amplia gama de huéspedes principalmente en los climas templados. Además, es uno de los principales nematodos que infestan plantas ornamentales causando graves pérdidas en diferentes cultivos. El daño que ocasiona el nematodo *P. penetrans* se caracteriza por necrosis en las raíces creando susceptibilidad a las enfermedades y a los volcamientos de las plantas de banano, la sintomatología que presenta las raíces de banano son las llagas y a más de otros efectos adversos causados por *Meloidogyne* spp. en tanto que, *R. similis* y en menor grado que *P. spp.*, tienden a superar las poblaciones *M. spp.*, siendo finalmente reemplazadas cuando estos nematodos concuerdan e inducen a lesiones en las raíces destruyendo tejidos y proporcionando sitios de alimentación de las especies *Meloidogyne* spp (Vera, 2021).

*P. penetrans*, causa lesiones en las raíces caracterizándose por presentan gran adaptabilidad en su ciclo de vida en los suelos agrícolas haciéndolos prácticamente imposibles de eliminar debido a que estos viven en la superficie de las raíces o se

entierran en el suelo. En las raíces o tubérculos viven como parásitos internos sin perder nunca la capacidad de cambiar de posición quienes atraviesan los poros del suelo en películas de agua. Este nematodo posee una característica especial, que puede suspender su crecimiento y desarrollo cuando el suelo o la raíz que habitan se seca. El movimiento en el suelo está restringido por su pequeño tamaño, pero a su vez pueden dispersarse pasivamente en suelos desplazados como parásitos protegidos en raíces o tubérculos transportados (Madison, 2021).

### **2.15 Control químico para nematodos en banano**

“Los organofosforados (OP) se encuentran dentro de los insecticidas más utilizados. Los OP se han relacionado con el riesgo de cáncer en algunos estudios epidemiológicos que se han realizado en gran medida en poblaciones predominantemente masculinas.” (Lerro et al., 2015).

Los nematodos son una plaga en el cultivo de banano donde tradicionalmente se ha venido utilizando productos químicos con el ingrediente activo terbufos, que es un plaguicida organofosforado que inhibe la colinesterasa al unirse al grupo fosfato en la enzima. Los terbufos está clasificado como plaguicida de tipo I. La exposición constante ocupacional de los aplicadores con estos productos de origen sintético sin la indumentaria de protección y la mala manipulación puede resultar en intoxicación e incluso la muerte. La formulación de ingrediente activo de terbufos existe una limitada información de sus efectos nocivos para la salud humana. En pocas investigaciones existentes centradas en el ingrediente activo terbufos mostró; que las ratas macho expuestas a terbufos tenían un índice de fertilidad reducido cuando se aparearon con hembras no expuestas. La inhibición de las enzimas de colinesterasa por terbufos podría causar enfermedades como leucemia, linfoma no Hodgkin y cánceres de próstata y pulmón también se informó entre los aplicadores de plaguicidas de Iowa y Carolina del Norte en los EE.UU. A más del ingrediente terbufos, (Counter 15FC) contiene 85% de características no reveladas. Los adyuvantes puede potenciar la toxicidad de la formulación del plaguicida como estudios previos realizados han demostrado que algunos pesticidas en sus formulaciones son más tóxicos que sus propios ingredientes activos (Zali et al., 2021).



## **2.16 Alternativa biológica**

Los hongos son organismos que poseen un núcleo que carecen de clorofila (es decir no realizan fotosíntesis), su reproducción puede ser sexual o asexualmente (mediante esporas), cuentan con estructuras somáticas filamentosas ramificadas. Los hongos han conquistado varios nichos ecológicos por poderse desarrollar en diferentes hábitats como: suelo, agua y ambientes extremos; generando interacción con otros organismos vivos. Un promedio de 120, 000 especies de hongos descritas de las cuales se considera que existen entre 2,2 y 3,8 millones de especies de hongos en nuestro planeta tierra, siendo parte esencial en el funcionamiento del ecosistema como la descomposición de la materia orgánica e incluso en la participación en los ciclos biológicos.

Los hongos se adaptan a diferentes estilos de vida ejemplo: los saprófitos son simbiontes neutrales o parásitos, ciertas especies son cosmopolitas y otros acorde a su plasticidad ecológica también pueden adaptar a los ambientes adversos, donde presentan pre adaptación entre ellas como asexualidad de la síntesis de pigmentos como la melanina, y las morfologías flexibles que facilitan su adaptación y permanencia en condiciones de factores ambientales intensos; en condiciones ambientales extremas y de baja competencia generan habilidades que les permitan vivir de los recursos naturales del medio o xenobióticos disponibles bajo las limitaciones a las que están expuestos (Argumedo et al., 2022).

## **2.17 Generalidades del hongo *Trichoderma* spp.**

El género *Trichoderma* spp., fue descrita por Persoon en el año de 1,794. Posteriormente Rifai en el año de 1,969 revisó y propuso la generación de nueve especies agregadas tales como: *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. hamatum*, *T. koningii*, *T. aureoviride*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum*, *T. pseudokoningii* y *T. viride*. (Martínez et al., 2015). *Trichoderma* spp., es un hongo anaeróbico que presenta un comportamiento saprofito o de parásito siendo de crecimiento acelerado. Las diferentes especies se encuentran distribuidas en casi todos los suelos agrícolas y en diferentes ambientes especialmente en suelos que posean materia orgánica o desechos vegetales en descomposición. Mundialmente son reconocidos como excelentes controladores biológicos por sus diferentes modos de acción. Estas especies se identificaron teniendo en cuenta diferencias morfológicas y fisiológicas más sin embargo con la taxonomía establecida sobre caracteres morfológicos no se diferencian satisfactoriamente las especies en el género (Martínez et al., 2015).

### **2.18 Morfología del hongo *Trichoderma* spp.**

Presentan un ralo fino, los conidióforos son ramificados como un árbol pequeño con cúspides compactadas en forma de anillo con sistema de ramas irregulares de manera piramidal terminando en fiálides en forma de esporas asexuales o conidios alcanzando al micelio. Clamidosporas intercalares terminales y propágulos de tres tipos: hifas, clamidosporas y conidios. Los hongos de este género tienen la capacidad de producir clamidosporas como método de resistencia, reproduciéndose en colectividad es decir en zonas terminales del micelio como en zonas medias e intercalados (Mesa et al., 2019).

Los conidióforos de *Trichoderma* spp., tienen aspecto cónico cuando son observados en el microscopio los cuales producen gran cantidad de conidios asexuales unicelulares de color verde o hialinos también son lisos o con paredes muy poco ásperas, subglobosos, cilíndricos, oblongos con diámetro promedio de 3 a 5  $\mu\text{m}$ . Estos se forman a partir de células conidiógenas y fiálides singulares o en grupos que se ubican en los extremos de los conidióforos los cuales son hialinos muy ramificados y no verticilados. Además, este hongo puede producir clamidosporas unicelulares, globosas en sustratos naturales, las que pueden ser intercalares y en ocasiones terminales en los extremos de las hifas, de color verde y menores de 15  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estas esporas pueden perdurar a través del tiempo por ello son consideradas estructuras de sobrevivencia (Martínez et al., 2015).

### **2.19 Clasificación taxonómica del género *Trichoderma* spp.**

El género *Trichoderma* se ubica en la clase Hyphomycetes, orden Moniliales, familia: Moniliaceae. Su fase sexual estado teleomorfo se ubica en la clase Ascomycetes serie Pyrenomycetes, orden Hypocreales, género Hypocrea. Dentro del género *Trichoderma* hay un grupo de derivados clonales de *Hypocrea* que han perdido la capacidad de completar un ciclo sexual. *Trichoderma* se clasifica como un hongo anamórfico. El estado teleomorfo se ha detectado en pocas especies en este sentido se han identificado: *Hypocrea lixii* Chaverri como el estado teleomorfo de *T. harzianum*, *Hypocrea atroviridis* como el teleomorfo de *T. atroviride* y *Hypocrea virens* Kullnig- Gradinger como el teleomorfo de *T. virens*. Las especies antes mencionadas se utilizan ampliamente como agentes de control biológico (Martínez et al., 2015).

## **2.20 Interacción del hongo *Trichoderma* spp., en las plantas**

La dinámica de las interacciones entre hongos y plantas mediante nuevos métodos moleculares proporcionan información de cómo cambian sus relaciones con las plantas (transición entre los estados tróficos de patogénesis y simbiosis entre mutualismo y parasitismo) en diferentes etapas de vida en respuesta a las condiciones ambientales cambiantes. Los hongos residentes en la rizosfera son promotores del crecimiento vegetal siendo útiles para las plantas. Una gran variedad de hongos con estas cualidades según lo reportado se ubica principalmente entre los géneros: *Trichoderma* spp, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mortierella*, *Phoma* y *Piriformospora*.

Estos hongos generan mayor acceso a los nutrientes; mediante la producción de ácidos orgánicos y sideróforos (nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y hierro), la producción de reguladores del crecimiento vegetal como: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abscísico, también realizan la producción de enzimas hidrolíticas como: xilanasas, lacasas, pectinasas y celulasas implementan la reducción de cantidad de etileno, aumentan la absorción de agua, también inducen a los mecanismos de defensa de las plantas contra patógenos y a su vez al estreses abióticos. Los efectos positivos de estos hongos se evidencian en las plantas en la germinación, vigor de las plántulas, producción de biomasa, desarrollo de la masa radicular, eficiencia en la fotosíntesis fotosintética, floración, composición bioquímica, rendimiento y en el control de patógenos foliares (Argumedo et al., 2022).

## **2.21 Especies de *Trichoderma* spp.; con potencial biológico en la protección de las plantas**

El potencial de las especies de *Trichoderma* spp., como agentes biológicos de protección en las plantas fue descubierto en la década de los años 30 por el investigador Weindling quien observó que la cepa de *T. lignorum* protege a las plántulas de los cítricos contra el patógeno *Rhizoctonia solani* por medio del mecanismo de micro parasitismo necrotrófico. Por lo tanto, las propiedades de biocontrol de *Trichoderma* spp., han sido factor de estudio para el control de enfermedades causadas por diferentes saprófitos del suelo. Los mecanismos de acción de *Trichoderma* spp., es reducir la aparición de enfermedades en las plantas ya sea por competencia de nutrientes o de espacio. La síntesis de metabolitos antifúngicos, micro parasitismo y producción de enzimas líticas son las que degradan las paredes celulares de los patógenos vegetales fúngicos así como la inducción a la resistencia de las plantas, donde su efecto

estimulador probablemente esté relacionado con su participación en la diafonía entre las hormonas de crecimiento sintetizadas por estos hongos, y las hormonas de defensa inducidas por ellos en la plantas (Ty'skiewicz et al., 2022).

### **2.22 Producción de enzimas degradantes del hongo *Trichoderma* spp.**

La pared celular del hongo está compuesta por un 90 % de polisacáridos: quitina (un polímero de N-acetilglucosamina),  $\beta$ -(1,3)-,  $\beta$ -(1,4)- y  $\beta$ -(1,6)-glucanos (compuesto por unidades de D-glucosa unidas por medio de enlaces  $\beta$ -glucosídicos),  $\alpha$ -glucanos, quitosano, manano y galactomanano, así como proteínas. La producción de enzimas degradantes de la pared celular es fundamental en la etapa final del mico parasitismo donde las cepas de *Trichoderma* spp., se caracterizan por la capacidad de secretar un conjunto de enzimas extracelulares, incluidas quitinasas,  $\beta$ -(1,3)-,  $\beta$ -(1,6)-glucanasas y proteasas que hidrolizan los principales componentes de la célula del patógeno. Las quitinasas son el grupo más importante de enzimas líticas sintetizadas por *Trichoderma* spp., que hidrolizan los enlaces  $\beta$ -glucosídicos entre el carbono C1 y C4 de dos N- acetil glucosaminas adyacentes en la cadena de quitina (Ty'skiewicz et al., 2022).

### **2.23 Sinergia del hongo *Trichoderma* spp.**

Los estudios realizados en las especies de *Trichoderma* spp., han demostrado tener potencial como agente controlador biológico y a su vez como bioestimulante. Estos hongos son importantes para aumentar el crecimiento en las plantas ya que contienen mecanismos de acción que son muy similares a las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, por lo cual *Trichoderma* spp., también podría influir positivamente en la germinación de las semillas en su desarrollo y rendimiento de granos debido a la producción de sustancias que promueven el crecimiento y que pueden mejorar la nutrición vegetal por efecto de la solubilización de fósforo que sintetiza el ácido indol-acético, observándose en suelos tratados con algunas cepas de *Trichoderma* spp. También se utilizan en los tratamientos de semillas donde suprimen notablemente el crecimiento de microorganismos patógenos de las plantas permitiendo mejorar el índice de crecimiento de las plantas. *Trichoderma* spp., controla nematodos por medio de parasitismo de huevos y larvas, al aumentar la actividad de la quitinasa y proteasa y por inducción de mecanismos de defensa de la planta que conducen a la resistencia sistémica adquirida.

El efecto podría ser particularmente fuerte en términos de promoción del crecimiento de raíces y de los tallos mediante el aumento en longitud, grosor, área foliar, contenido de clorofila, y rendimiento tanto en tamaño o como en número de flores o frutas, evidenciándose en estudios realizados con *Trichoderma* spp., tanto a nivel de invernadero como de campo en diferentes cultivos como: pepino, frijol, berenjena, lechuga, pimiento, tomate y maní y el roble plateado, entre otros (García & Vargas, 2022).

#### **2.24 Efecto de *Trichoderma* spp., en la solubilización de fósforo**

En las plantas, la función del fósforo (P) genera crecimiento vegetal y promueve a la maduración de las semillas de manera similar cumplen procesos fundamentales en el metabolismo vegetal como: glucólisis, biosíntesis de glúcidos y lípidos, síntesis de clorofilas, carotenoides. El metabolismo de ácidos orgánicos es responsable del almacenamiento y transferencia de energía siendo un compuesto básico en las estructuras de macromoléculas como: ácidos nucleicos y fosfolípidos al igual que sus funciones metabólicas y estructurales quienes forman parte de las moléculas energéticas como el adenosín difosfato (ADP), adenosín trifosfato (ATP) o guanosín trifosfato (GTP) cuales pueden regular la actividad enzimática vegetal siendo participes en la formación de bloques de ADN y membranas celulares (Morales-morales & Martínez-campos, 2022).

#### **2.25 Interacción de *Trichoderma* spp., en la síntesis del ácido indol acético**

La interacción del hongo *Trichoderma* spp., en la síntesis del ácido indol acético se focaliza en el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a las hormonas que ejercen funciones específicas en el área fisiológica en concentraciones muy bajas, de las cuales existen cinco grupos principales: auxinas, gibelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno. Las auxinas y citoquininas actúan de forma sinérgica o antagónica para el control de varios procesos de desarrollo como en la formación y mantenimiento del meristemo, siendo las auxinas quienes generan mayor crecimiento y alargamiento celular. Entre las principales auxinas tenemos al ácido indol-3-acético (AIA), ácido naftalenacético (ANA), ácido indol butírico (AIB), 2,4-D, siendo el AIA, la fitohormona más conocida que naturalmente se produce en los ápices de los tallos, meristemos y/o hojas jóvenes migrando al resto de la planta de forma basipétala de arriba hacia abajo (Gil et al., 2016).

## CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación del ensayo

Se realizó en el cantón del Guabo, parroquia Barbones sitio “Victoria”, cuyas coordenadas UTM son las siguientes: Latitud Sur:  $3^{\circ}10'42.2''$ , Longitud Oeste:  $79^{\circ}48'47.6''$ .

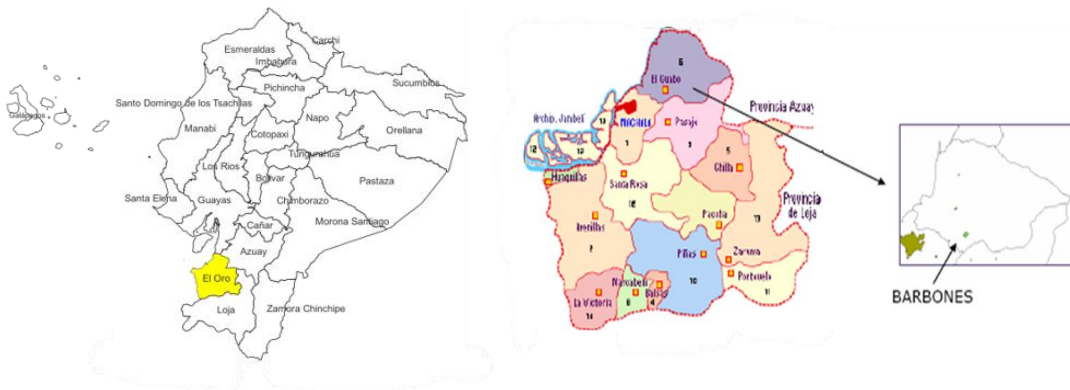


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

#### 3.1.1 Características de la zona

La parroquia la Barbones, se encuentra situada en el sector Noroccidental de la Provincia de El Oro, bañada por el océano pacífico, limita al norte con la parroquia Tendales, al Sur con el Cantón Machala, al Este con la cabecera Cantonal de El Guabo y al Oeste con el Océano Pacífico. La temperatura media más alta en Barbones es de  $29^{\circ}\text{C}$  en febrero y la más baja es de  $27^{\circ}\text{C}$  en julio.

#### 3.1.2 Diseño experimental

Se aplicará el diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos incluido el testigo y cuatro repeticiones, totalizando 16 unidades experimentales.

#### 3.1.3 Modelo matemático

Donde  $\mu$  es la media global de los tratamientos,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento el cual es constante para todas las observaciones dentro del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque,  $\varepsilon_{ij}$  es el término del error aleatorio donde se distribuye normal e independiente con media 0 y varianza  $\sigma_{\varepsilon}^2$ .

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases}$$

Las restricciones del modelo son:

$$\sum_i \tau_i = 0$$

$$\sum_j \beta_j = 0$$

### 3.1.4 Estimación de parámetros:

El método de mínimos cuadrados, se obtiene como estimadores de los parámetros

$$\hat{\mu} = \bar{y}_{..}$$

$$\hat{\tau}_i = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..} \quad i = 1, 2, \dots, t$$

$$\hat{\beta}_j = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..} \quad j = 1, 2, \dots, b$$

## 3.2 Hipótesis:

### 3.2.1 Hipótesis nula:

Las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el testigo tienen efecto igual en el control de las poblaciones y tipos de nematodos.

### 3.2.2 Hipótesis alterna:

Al menos un tratamiento es diferente, en el experimento.

### 3.2.3 Análisis de Varianza

Para la realización del experimento se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA) empleando ANOVA.

**Tabla 2. Análisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar.**

Causa de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor esperado de cuadrados medios
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b ((y_{i.} - \bar{y}_{..})^2)$	$\frac{SC_{ttos}}{t - 1}$	$\sigma_s^2 + \frac{b}{t - 1} \sum_{i=1}^t \tau_i^2$
Bloques	$b - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (y_{.j} - \bar{y}_{..})^2$	$\frac{SC_{bloques}}{b - 1}$	$\sigma_s^2 + \frac{t}{b - 1} \sum_{j=1}^b \beta_j^2$
Error	$(b - 1)(t - 1)$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..})^2$	$\frac{SC_{error}}{(b - 1)(t - 1)}$	$\sigma_s^2$
Total	$bt - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$		

Para contrastar las hipótesis de no efectos de tratamientos:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t = 0$$

Se puede utilizar la ecuación:

$$F = \frac{CM_{tto}}{CM_{EE}}$$

Ya que si  $H_0$  es cierta  $\sum \tau_i^2 = 0$  y así  $E[CM_{ttos}] = \sigma_s^2$ , lo cual quiere decir que  $CM_{ttos}$  es un estimador insesgado de  $\sigma_s^2$  y además  $CM_E$  es también un estimador de  $\sigma_s^2$  entonces se tienen dos estimadores insesgados de  $\sigma_s^2$  por lo tanto su cociente deber ser un valor estadísticamente cercano a 1.

### 3.3 Supuestos del modelo

El residual en un diseño de bloques completos al azar es dado por:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= y_{ij} - \hat{y}_{ij} \\ &= y_{ij} - (\bar{y}_{..} + \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..} + \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}) \\ &= y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..} \end{aligned}$$

Los supuestos del modelo son:



- i) El modelo es aditivo, es decir no existe interacción entre bloques y tratamientos
- ii) Las variables aleatorias error  $\varepsilon_{ij}$  se distribuyen normal con media cero
- iii) Las variables aleatorias error  $\varepsilon_{ij}$  son no correlacionadas (independientes)

Otra manera de enunciar los supuestos es:

- i) Los efectos de tratamientos y bloques son aditivos; las respuestas dentro de los bloques tienen la misma tendencia con respecto a los efectos de los tratamientos.
- ii) Las observaciones en las  $b_t$  celdas constituyen muestras aleatorias de tamaño 1 de cada una de las  $b_t$  poblaciones. Todas las  $b_t$  poblaciones son normalmente distribuidas,
- iii) Las varianzas de cada una de las  $b_t$  poblaciones son iguales

Si en la primera condición se dice que los efectos de bloques y tratamientos no interactúan y una prueba para la no aditividad es debida a Tukey (1949) y Ascombe.

### 3.4 Factor de estudio

Se realizó el estudio del efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en la sanidad del rizoma y suelo, en el cultivo de banano (*Musa* AAA).

### 3.5 Croquis del ensayo

En el croquis en la parte izquierda se encuentra descrito los cuatro tratamientos representados con la letra (T) y (TA); testigo absoluto, las cuales consta de cuatro repeticiones con letra (R) en la parte superior, obteniendo 16 unidades experimentales dentro de cada unidad experimental se tomará los datos de altura y diámetro de los retornos a 10 plantas por cada tratamiento por las cuatro repeticiones obteniendo un total de 40 datos cada 15 días de frecuencia por el tiempo de 3 meses, lo que nos dará una data de 960 tomas de información.

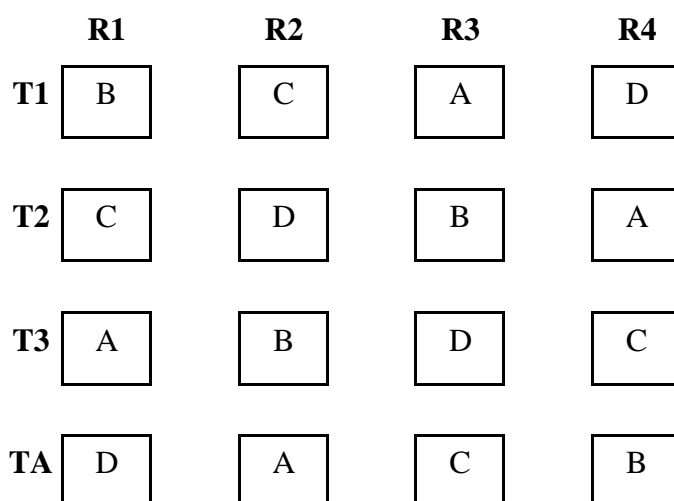


Figura 2. Diseño de campo de un BCA, en la inoculación de *Trichoderma* spp. en el control de nematodos suelo y raíz y el testigo del cultivo de banano.

### 3.6 Descripción del croquis del ensayo

El croquis está comprendido con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, el cual nos dará 16 unidades experimentales con sus respectivas codificaciones siendo bloques completamente al azar (BCA), como se lo describe en la tabla 3.

Letra A =  $1 \times 10^9$  cc de *Trichoderma* spp.

Letra B =  $2 \times 10^9$  cc de *Trichoderma* spp.

Letra C =  $2 \times 10^9$  cc de *Trichoderma* spp.

Letra D = testigo absoluto

Letra R = repeticiones que se realizaran

**Tabla 3. Especificaciones del diseño, en el área experimental del ensayo en el cultivo de banano.**

<b>Área Experimental</b>	<b>Unidades métricas (m<sup>2</sup>)</b>
Área del ensayo	10.000 m <sup>2</sup> (100 x 100) m
Área del ensayo	10.000 m <sup>2</sup> (100 x 100) m
Tratamientos	4
Repeticiones	4
Unidad experimental	16
Área bruta por unidad experimental	635 m <sup>2</sup>
Área neta por unidad experimental	282.2m <sup>2</sup>

### **3.7 Materiales de campo**

- Hongo *Trichoderma* spp.
- Agua
- Bomba cp3
- Baldes
- Medidor de pH
- Aerosol (varios colores)
- Bolsas plásticas
- Pala
- Cinta métrica
- Escalímetro

### **3.8 Metodología**

#### **3.8.1 Toma de las alturas de los hijos seleccionados en el cultivo de banano**

Para establecer esta variable se medirá con un flexómetro a 10 plantas al azar por unidad experimental con su respectivo número de repeticiones concebidas de cada tratamiento, tomando en cuenta solamente a los hijos o retornos de plantas recién paridas.

#### **3.8.2 Medición de las circunferencias de los pseudotallos del cultivo de banano**

Para establecer esta variable se midió con un escalímetro a 10 plantas del retorno de banano al azar por unidad experimental, con su respectivo número de repeticiones concebidas de cada tratamiento, tomando en cuenta a los hijos con una altura promedio de 1.25 cm a 1.75 cm de altura de plantas recién paridas.

#### **3.8.3 Toma de muestras del suelo en el cultivo de banano**

Para realizar el muestreo de suelo se consideró lo siguiente: que no debe estar el suelo seco ni compacto ni saturado de agua luego se procedió a retirar la materia orgánica, basura, malezas y una capa promedio entre 3 a 5 cm de la superficie del suelo para minimizar la influencia de malas hierbas y cultivos aledaños. Para la extracción de muestras de suelo se empleó una pala procurando que exista una profundidad de 25 cm y de paredes laterales de 15 cm x 15 cm estas muestras fueron constituidas de 10 a 15 submuestras, quienes fueron homogenizadas dando como resultado aproximadamente 1

kg de suelo total para el envío a laboratorio, cuyas muestras se colocaron en una funda de plástico selladas, consecuentemente se colocó la etiqueta de identificación por fuera de la funda y su debido registro de información con marcador indeleble estos datos también se debe registrar en la orden de trabajo del laboratorio.

#### **3.8.4 Análisis de tipo y población de nematodos del suelo**

La toma de muestras se realizó en las plantas recién paridas completamente al azar realizando un hoyo aproximadamente 0.25 cm x 0.25 cm x 0.25 cm de profundidad frente al hijo de la planta madre, tomando en cuenta a los hijos con una altura promedio de 1.25 cm a 1.75 cm de altura de plantas recién paridas. Una muestra representa a 1/ha la cual se compone de 10 submuestras, donde se homogenizó las sub muestras obteniendo aproximadamente un kilo de suelo total, por lo tanto, se colocaron las muestras en una funda de plástico bien cerrada para el envío a laboratorio, donde se efectuó la identificación con etiqueta por fuera de la funda y se procedió a la entrega a laboratorio.

#### **3.8.5 Análisis de nematodos de raíces de banano**

Para los análisis de nematodos en tipos y población se realizó un hoyo aproximadamente de 0.25 cm x 0.25 cm x 0.25 cm de profundidad frente al hijo de la planta madre recién paridas tomando en cuenta que los hijos posean una altura promedio de 1.25 cm a 1.75 cm de altura, donde se extrajo las raíces de cada retorno que fueron colocadas en fundas plásticas independientes correspondientes a cada tratamiento componiéndose de 10 submuestras, por lo tanto, estas muestras se colocaron en una funda de plástico con toda la información respectiva y siendo enviadas el mismo día a laboratorio. En el laboratorio realizaron el licuado (Taylor y Loegering, 1953) de 25 g de raíces durante 10 segundos en baja y luego 10 segundos en alta velocidad. La mezcla final, se vertió sobre un juego de cribas de 0,5/0,150/0,038 mm (malla 35/100/400) ordenadas sistemáticamente de arriba hacia abajo. La criba de 0,5 mm se lavó por dos minutos y la de 0,150 mm por un minuto descartando los residuos de ambas cribas y el residuo de la criba de 0,038 mm, se lavó en un vaso con de precipitación de 250 ml para realizar el conteo de nematodos.

Para determinar la densidad poblacional de los nematodos presentes se realizaron por conteo con el microscopio a 4x de magnificación y los datos se convirtieron a nematodos por 100 g de raíces.

### 3.8.6 Procedimiento estadístico

El nivel de significación (Alfa) utilizado fue de 0.05; siendo el límite para juzgar p-valor. Si es menor que 0,05, rechazamos la hipótesis nula existiendo diferencias estadísticas significativas, en tanto que si p-valor es mayor que 0,05 (Alfa), no presentaría diferencia estadística.

**Tabla 4. Descripción de los tratamientos en las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., en la solución total.**

Código	Género	Dosis	% Ingrediente activo / ha	Plantas / ha	% Ingrediente activo/planta	Solución total
T1	<i>Trichoderma</i> spp.	1.000 cc	$1 \times 10^9$	1,296	$7.72 \times 10^5$	200.000 cc
T2	<i>Trichoderma</i> spp.	2.000 cc	$2 \times 10^9$	1,296	$1.54 \times 10^6$	200.000 cc
T3	<i>Trichoderma</i> spp.	3.000 cc	$3 \times 10^9$	1,296	$2.31 \times 10^6$	200.000 cc
TA	Sin aplicación	0	0	1,296	0	0

**Tabla 5. Descripción de los tratamientos de las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., por unidad experimental.**

Género	Dosis	% Ingrediente activo	Plantas / UE	% Ingrediente activo/planta	Solución total en 282.2 m <sup>2</sup>
<i>Trichoderma</i> spp.	28.22 cc	$1 \times 10^9$	40	$7.72 \times 10^5$	5.644 cc
<i>Trichoderma</i> spp.	56.44 cc	$2 \times 10^9$	40	$1.54 \times 10^6$	5.644 cc
<i>Trichoderma</i> spp.	84.66 cc	$3 \times 10^9$	40	$2.31 \times 10^6$	5.644 cc
Sin aplicación	0	0	40	0	0

**Tabla 6. Descripción de las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., de las unidades de producción por tratamiento del ensayo.**

Código	Género	Número de repeticiones	Plantas / tratamiento	Total, plantas
T1	<i>Trichoderma</i> spp.	4	10	40
T2	<i>Trichoderma</i> spp.	4	10	40
T3	<i>Trichoderma</i> spp.	4	10	40
TA	Sin aplicación	4	10	40

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1 Influencia de *Trichoderma* spp., en la altura y diámetro del retorno

#### 4.1.1 Altura de las plantas de banano

Se muestran los resultados del contraste de hipótesis efectuado para conocer las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., utilizadas en los diferentes momentos de muestreo (a partir de la medición inicial efectuada el 10-2-23 hasta el momento final del día 22-04-2023) de la altura del hijo productivo de la planta de banano.

En el primer momento de muestreo (antes de la aplicación de *Trichoderma* spp.) no presentaron diferencias estadísticas entre las diferentes dosis utilizadas (p-valor = 0,295), evidenciándose homogeneidad en las condiciones iniciales del desarrollo del cultivo en el experimento. A los 15 días de iniciado el experimento (segundo momento de muestreo) se obtuvo un p-valor = 0,128; cuyos resultados son similares por lo cual no se produce efecto bioestimulador del hongo *Trichoderma* spp., en las raíces de la planta de banano por ello en el crecimiento vegetal. En tanto que a los 30 días (tercer momento), 45 días (cuarto momento), 60 días (quinto momento) y 75 días (sexto momento) posteriores a la aplicación de las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., se alcanzó un p-valor de 0,025, 0,049, 0,005 y 0,006, presentando diferencias estadísticas significativas entre ellas en función de las alturas de plantas; evidenciándose el efecto de *Trichoderma* spp., en el crecimiento vegetal del hijo productivo de la planta madre de banano.

**Tabla 7. Resultados del ANOVA de un factor inter grupos en función de la altura (m), de las plantas de banano en los diferentes momentos de muestreo**

Momento de muestreo	Fuentes de variación	Suma de cuadrados Tipo III	gl	Cuadrados medios	F	p-valor
10/02/23	<i>Trichoderma</i>	0,503	3	0,168	1,247	<b>0,295</b>
	Error	20,582	153	0,135		
	<b>Total</b>	<b>298,761</b>	160			
25/02/23	<i>Trichoderma</i>	0,836	3	0,279	1,925	<b>0,128</b>
	Error	22,144	153	0,145		
	<b>Total</b>	<b>406,999</b>	160			
11/03/23	<i>Trichoderma</i>	1,585	3	0,528	3,205	<b>0,025</b>

	Error	25,228	153	0,165		
	<b>Total</b>	<b>569,590</b>	160			
25/03/23	<i>Trichoderma</i>	1,220	3	0,407	2,053	<b>0,049</b>
	Error	30,317	153	0,198		
	<b>Total</b>	<b>709,841</b>	160			
08/04/23	<i>Trichoderma</i>	2,529	3	0,843	4,383	<b>0,005</b>
	Error	29,430	153	0,192		
	<b>Total</b>	<b>901,102</b>	160			
22/04/23	<i>Trichoderma</i>	2,787	3	0,929	4,287	<b>0,006</b>
	Error	33,161	153	0,217		
	<b>Total</b>	<b>1063,061</b>	160			

En el primer momento de muestreo que se realizó la aplicación del hongo *Trichoderma* spp., se alcanzó el mayor valor de alturas en las plantas; con la dosis de 2 l/ha (1.38 m), no diferente estadísticamente a cuando se empleó la dosis de 3 l/ha (1.37 m), seguido por el control (1.27 m) y la dosis de 1 l/ha (1.25 m); asumiéndose la presencia de unidades muestrales (hijo productivo) homogéneas al inicio del ensayo. A los 15 días de aplicado *Trichoderma* spp., se obtuvo un valor superior de alturas de los retornos con la dosis de 3 l/ha (1.62 m), no diferente estadísticamente de 2 l/ha (1.61m), el control (1.50 m) y 1 l/ha (1.45 m); pero con diferencia numérica al mayor valor de altura; de 12 y 17 cm. A partir de los 30 días posteriores a la aplicación de *Trichoderma* spp., la dosis de 3 l/ha alcanzó el mayor valor (1.96 m), diferente estadísticamente al control (1.76 m), no así respecto a la dosis de 2 l/ha (1.91 m) y 1 l/ha (1.72 m); esta última dosis no es suficiente para garantizar la diseminación del hongo para que posibilite generar su acción controladoras de nematodos y bioestimulante en el crecimiento vegetal, al contrario podría constituirse como fuente de alimento para los nematodos existentes tanto en suelo como raíz, retrasando el crecimiento de la planta de banano.

La aplicación de 3 l/ha (2.15 m) de *Trichoderma* spp. realizada a los 45 días demostró diferencia estadística con la dosis de 1 l/ha (1.92 m) y no así con el testigo (2.05 m) y 2 l/ha (2,10 m). La aplicación de 1 l/ha del hongo *Trichoderma* spp., podría generar un antagonismo en el desdoblamiento de fósforo en el suelo, ya que este elemento químico mejora el metabolismo siendo generador de crecimiento vegetal. Al inicio de los 60 días después de la aplicación de *Trichoderma* spp., no existe diferencia estadística entre las dosis de 3 l/ha (2.46 m), 2/ha (2.40 m) y el control (2.31 m); sin embargo, se presentó

diferencia estadística significativa y numérica de 0.33 cm cuando se utilizó 1 l/ha (2.13 m). La dosis de 1 l/ha ocasionó oposición en la síntesis del ácido indolacético; auxina que se genera en los meristemos y posteriormente se transloca hacia la parte superior de la planta produciendo crecimiento y desarrollo vegetal.

Finalmente, a los 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., en las dosis de 3 l/ha (2.69 m), 2 l/ha (2.60 m) y el control (2.48 m) no se presentaron diferencias estadísticas significativas, entre ellos, aunque si con la dosis de 1 l/ha (2.34 m). La aplicación de 3 y 2 l/ha poseen desempeños similares en el incremento de altura de la planta, aunque por cuestiones económicas se podría emplear 2 l/ha. La aplicación de 1 l/ha no es suficiente para el establecimiento y colonización del hongo en suelo y raíz de la planta de banano (ya que estos son promotores del crecimiento vegetal); al contrario, funcionó como activador o alimento para los nematodos.

**Tabla 8. Resultado de la prueba post hoc de un factor inter grupos en función de la altura (m), de las plantas de banano en las diferentes dosis de *Trichoderma* spp.**

Momento de muestreo	Estadísticos	Dosis de <i>Trichoderma</i> spp.			
		Altura de plantas de banano (m)			
		1 l/ha	2 l/ha	3 l/ha	Testigo
10/02/23	$\bar{X}$	1,25a	<b>1,38a</b>	1,37a	1,27a
	DS	0,39	0,37	0,40	0,32
	n	40	40	40	40
25/02/23	$\bar{X}$	1,45a	1,61a	<b>1,62a</b>	1,50a
	DS	0,40	0,41	0,42	0,43
	n	40	40	40	40
11/03/23	$\bar{X}$	1,72b	1,91ab	<b>1,96a</b>	1,76b
	DS	0,42	0,45	0,46	0,34
	n	40	40	40	40
25/03/23	$\bar{X}$	1,92b	2,10ab	<b>2,15a</b>	2,05ab
	DS	0,45	0,49	0,51	0,41
	n	40	40	40	40
08/04/23	$\bar{X}$	2,13b	2,40a	<b>2,46a</b>	2,31ab
	DS	0,45	0,48	0,48	0,45
	n	40	40	40	40
22/04/23	$\bar{X}$	2,34b	2,60a	<b>2,69a</b>	2,48ab



	DS	0,49	0,47	0,50	0,51
	n	40	40	40	40

$\bar{X}$ = media aritmética. DS=Desviación típica o estándar. n=número de observaciones realizadas.

\*Letras diferentes, en los diferentes momentos de muestreo, indican diferencias estadísticas significativas entre dosis de *Trichoderma* spp. (prueba de Duncan).

El efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp., al emplear 3 l/ha, presentó los mayores valores de altura del retorno desde los 15 hasta los 75 días, manteniendo superioridad con respecto a 2 l/ha, testigo y 1 l/ha. Los menores valores de altura de los hijos productivos seleccionados de las plantas madre de banano durante el desarrollo del experimento se presentaron cuando se aplicó 1 l/h de *Trichoderma* spp., El empleo de dosis bajas de *Trichoderma* spp., no suprimen el crecimiento de los microorganismos patógenos de las plantas, limitándose el crecimiento de las mismas. En dosis más altas de *Trichoderma* spp., se evidencian los mecanismos de acción de la hormona auxina generándose mayor crecimiento y alargamiento celular, en los hijos seleccionados de las plantas madres (Figura 2).

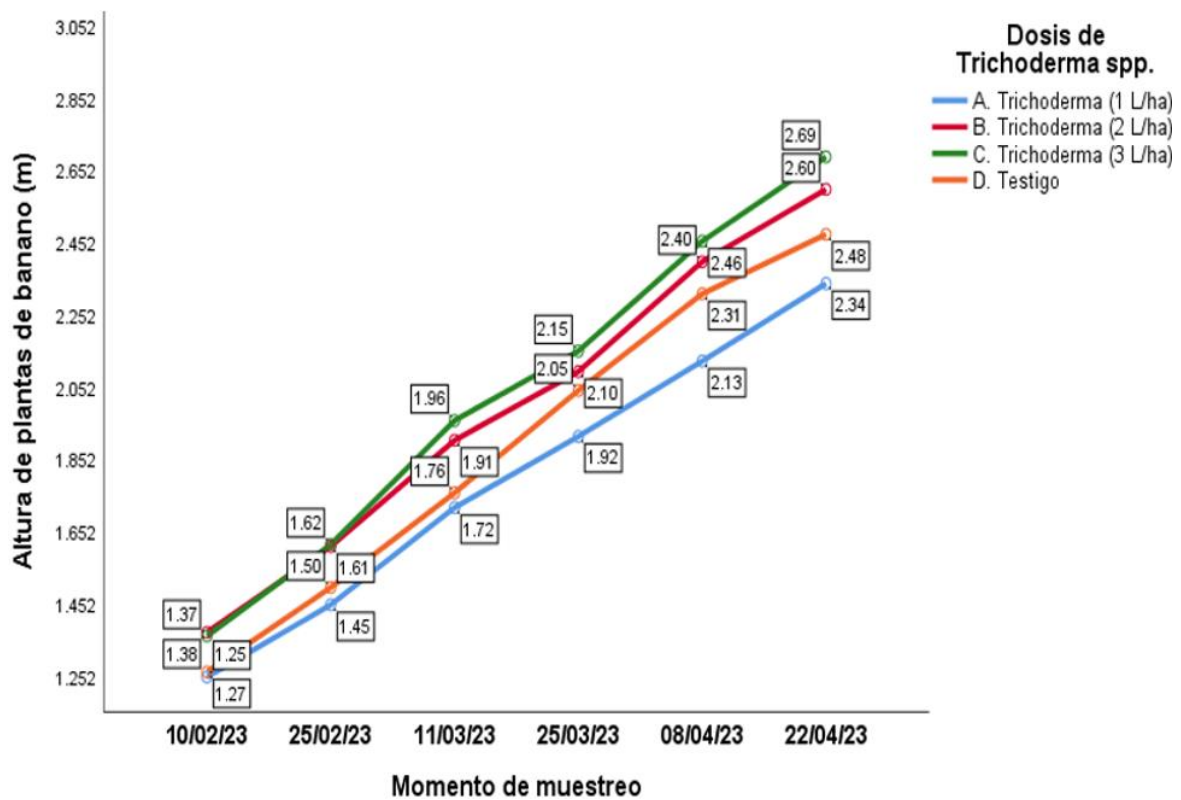


Figura 2. Comportamiento de las alturas de los hijos productivo de las plantas madre de banano durante los diferentes momentos de muestreo en las dosis de *Trichoderma* spp., utilizadas.

#### 4.1.2 Diámetro de las plantas de banano

Los resultados del contraste de hipótesis efectuado para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., utilizadas en los diferentes momentos de muestreo (a partir de la medición inicial efectuada el 10-2-23 hasta el momento final del día 22-04-2023), en función del diámetro del hijo productivo de la planta de banano.

En el primer momento de muestreo se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos objetos de estudios (dosis de *Trichoderma* spp. y el testigo) debido a que el p-valor obtenido (0,049) es menor a 0,05. Este acontecimiento se debe a la selección heterogénea de las plantas de banano (retorno). A los 15 días de aplicado el hongo saprófito no existió diferencias estadísticas entre los tratamientos ya que el p-valor obtenido fue 0, 093 al parecer no presentó sus características de parasitismo del hongo *Trichoderma* spp., en los nematodos existentes en el cultivo de banano. Transcurridos los 30, 60 y 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., demostró diferencias estadísticas significativas entre las diferentes dosis del hongo y el testigo; lo que puede estar atribuido a los mecanismo de biocontrol de *Trichoderma* spp., en los patógenos existentes en suelo y raíz de las plantas de banano, generando mayor acceso y captación de nutrientes mediante la producción de ácidos orgánicos y sideróforos (nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y hierro) y a la producción de reguladores del crecimiento vegetal como: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abscísico.

**Tabla 9. Resultados del ANOVA de un factor inter grupo, en función del diámetro en pseudotallos de las plantas de banano, en sus diferentes momentos de medición.**

Momentos de muestreo	Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p-valor
10/02/23	Entre grupos	475,73	3	158,58	2,64	<b>0,049</b>
	Error	9195,98	153	60,10		
	<b>Total</b>	102234,00	160			
25/02/23	Entre grupos	413,02	3	137,67	2,17	<b>0, 093</b>

	Error	9688,06	153	63,32		
	<b>Total</b>	147925,00	160			
11/03/23	Entre grupos	698,48	3	232,83	3,36	<b>0,021</b>
	Error	10614,03	153	69,37		
	<b>Total</b>	219854,00	160			
25/03/23	Entre grupos	715,22	3	238,41	2,59	<b>0,049</b>
	Error	14092,56	153	92,11		
	<b>Total</b>	276795,00	160			
08/04/23	Entre grupos	1057,37	3	352,46	3,64	<b>0,014</b>
	Error	14807,26	153	96,78		
	<b>Total</b>	368575,00	160			
22/04/23	Entre grupos	1217,02	3	405,67	3,78	<b>0,012</b>
	Error	16432,36	153	107,40		
	<b>Total</b>	441451,00	160			

En el primer momento de muestreo efectuado el día 10-02-2023 de aplicado el hongo *Trichoderma* spp., la dosis de 2 l/ha, alcanzó los mayores valores de diámetro con 26.25 cm presentando diferencias estadísticas significativas al aplicar 1 l/ha (22.48 cm) y testigo (22.20 cm), no así al aplicar 3 l/ha con 25.13 cm; las diferencias de diámetros se debe a la falta de acción del hongo al estar relacionado en la participación de las hormonas de crecimiento; las cuales son sintetizadas por *Trichoderma* spp., e inducidas a las plantas del hijo productivo de banano. A los 15 días de aplicado *Trichoderma* spp., al emplear 2 l/ha, presentó el mayor valor numérico (31.18 cm) seguido de 3 l/ha con 30.60 cm, en tanto las dosis de 1 l/ha y el testigo, obtuvieron valores iguales con 27.70 cm sin embargo no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, mientras que a los 30 días de aplicado *Trichoderma* spp., la dosis de 3 l/ha obtuvo el valor más alto con 38.16 cm seguido de 2 l/ha con 38.13 m, donde no existieron diferencias estadísticas significativas entre ellos, no así; en el control con 34.08 cm y 1 l/ha 33.83 cm; que presentaron diferencias estadísticas donde el valor más bajo de los tratamientos presenta diferencia numérica de 4.33 cm en relación al valor más alto obtenido, al parecer el desempeño de *Trichoderma* spp., a la dosis más alta (3 l/ha *Trichoderma* spp.) genera mayor actividad de las hormonas, acelerando el desarrollo de los diámetros (retorno) de las plantas de banano. En tanto que, a los 45, 60

y 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., la dosis de 3 l/ha; obtuvo los mayores valores numéricos y estadísticos seguido de 2 l/ha quienes no presentaron diferencias estadísticas significativas, no así del testigo y 1 l/ha; presentando los menores valores numéricos (49.78 cm y 47.68 cm). Utilizar *Trichoderma* spp., en dosis más altas origina mayor producción de enzimas hidrolíticas (xilanasas, lacasas, pectinasas y celulasas); quienes reducen la cantidad de etileno permitiendo mayor capacidad de absorción de agua, induciendo a la defensa de las plantas contra patógenos y a su vez a los estreses abiótico en ambientes desfavorables.

**Tabla 10. Diámetro del retorno productivo de las plantas de banano, aplicado *Trichoderma* spp. y el testigo en diferentes momentos de medición.**

Momentos de muestreo	Estadígrafos	Dosis de <i>Trichoderma</i> spp.			
		1 l/ha	2 l/ha	3 l/ha	Testigo
10/02/23	$\bar{X}$	22,48b	<b>26,25a</b>	25,13ab	22,20b
	DS	8,35	8,11	8,31	6,26
	n	40	40	40	40
25/02/23	$\bar{X}$	27,70a	<b>31,18a</b>	30,60a	27,70a
	DS	8,67	8,66	8,45	6,35
	n	40	40	40	40
11/03/23	$\bar{X}$	33, 83b	<b>38,13a</b>	<b>38,16a</b>	34,08b
	DS	8,74	9,59	8,77	6,78
	n	40	40	40	40
25/03/23	$\bar{X}$	37,88b	<b>42,35a</b>	<b>42,58a</b>	38,68ab
	DS	9,86	10,79	10,85	7,86
	n	40	40	40	40
08/04/23	$\bar{X}$	43,30b	<b>49,23a</b>	<b>49,40a</b>	45,55ab
	DS	9,99	11,22	9,89	9,39
	n	40	40	40	40
22/04/23	$\bar{X}$	47,68b	<b>53,65a</b>	<b>54,38a</b>	49,78ab
	DS	10,77	11,47	10,23	10,50
	n	40	40	40	40

$\bar{X}$ =media aritmética, DS=Desviación típica o estándar, n=número de observaciones realizadas,

\*Letras diferentes en los diferentes momentos de muestreo indican que se presentan diferencias estadísticas significativas entre las dosis de *Trichoderma* (prueba de Duncan),

Desde el momento inicial (10-02-2023) hasta los 15 días posteriores de la aplicación de *Trichoderma* spp., las dosis de 3 y 2 l/ha presentaron similitud en el desarrollo de los diámetros de los hijos productivos a diferencia de 1 l/ha, y el testigo. A partir de los 30 hasta los 60 días de aplicado *Trichoderma* spp., las dosis de 3 y 2 l/ha continúan presentando similitud en los diámetros de los pseudotallos de los hijos productivos de las plantas madre a diferencia de aplicar 1 l/ha; quien se mantuvo por debajo del testigo, con el menor desempeño. Finalmente, a los 75 días de aplicado el hongo saprófito. La dosis de 1/ha presentó los valores más bajos por debajo del testigo con los valores más bajos mientras que 3 l/ha sostuvo los mayores valores de los diámetros en los pseudotallos (retorno), seguido de 2 l/ha con valores similares.

Por lo tanto, la aplicación de *Trichoderma* spp., en dosis altas; se evidencia la acción de la auxina (fitohormona vegetal) generadora de la división y diferenciación celular de los pseudotallos de los hijos seleccionados de las plantas madres.

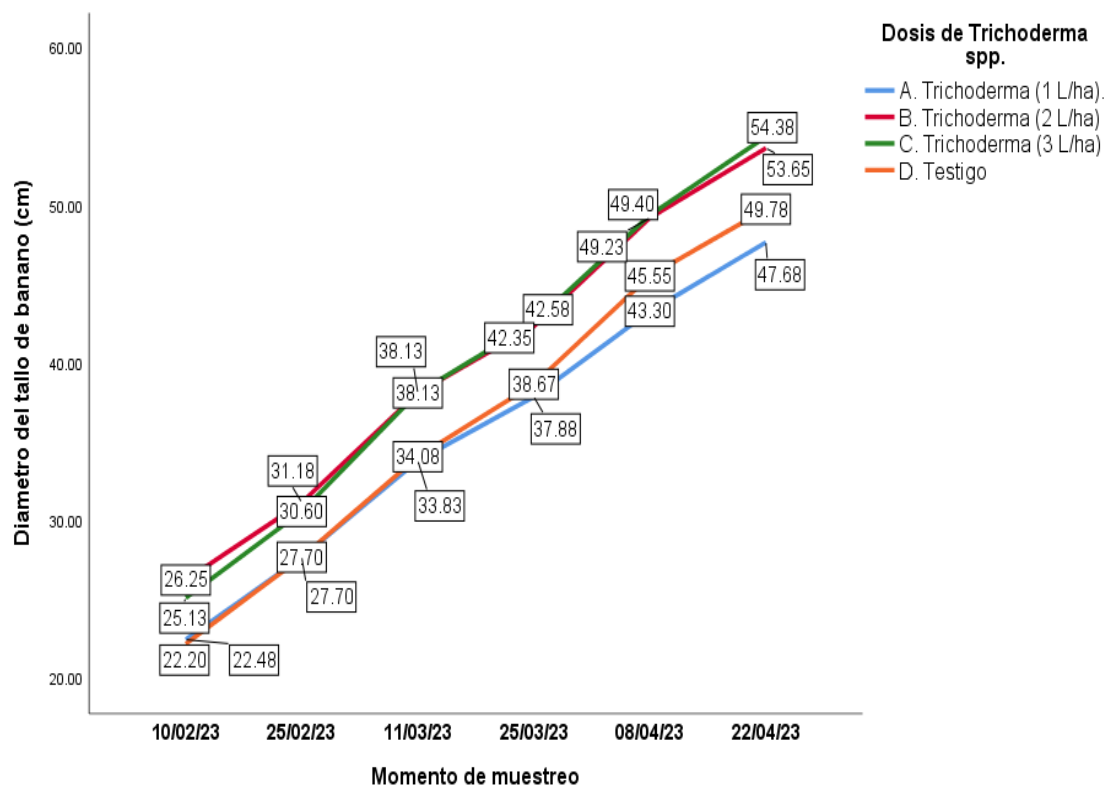


Figura 3. Comportamiento en el tiempo del diámetro de los retornos productivos de plantas madre de banano, bajo el efecto de las diferentes dosis de *Trichoderma* spp.

#### 4.2 Resultados del efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en los tipos y población de nematodos/kg-1 suelo a los 30, 60 y 90 días.

En los tres momentos de muestreo (30, 60 y 90 días) no se presentaron diferencias estadísticas en las diferentes dosis aplicadas de *Trichoderma* spp, debido a que el p-valor obtenido es mayor a alfa (nivel de significancia). Básicamente emplear *Trichoderma* spp., a diferentes dosis y momentos, no provoco los efectos fisiológicos y metabólicos en las poblaciones de nematodos, limitando así la capacidad de inducir a cualquier tipo de defensa de patógenos en la planta de banano.

**Tabla 11. Resultados del ANOVA de la población de nematodos/kg<sup>-1</sup> de suelo en función de tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control en sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo	Dosis de <i>Trichoderma</i> spp.	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
30 días	Entre grupos	33482,17	3	11160,72	1,11	<b>0,345</b>
	Error	441537,50	44	10034,94		
	<b>Total</b>	<b>475019,67</b>	<b>47</b>			
60 días	Entre grupos	67271,56	3	22423,85	1,80	<b>0,161</b>
	Error	548464,92	44	12465,11		
	<b>Total</b>	<b>615736,48</b>	<b>47</b>			
90 días	Entre grupos	13888,25	3	4629,42	0,61	<b>0,610</b>
	Error	331705,00	44	7538,75		
	<b>Total</b>	<b>345593,25</b>	<b>47</b>			

A los 30 días de aplicado *Trichoderma* spp., (primer momento) aunque no se presentaron diferencias estadísticas cuando se aplicó 3 l/ha, alcanzó el máximo valor de 104,58 nematodos/kg<sup>-1</sup> de suelo, seguido de 2 l/ha (94,33 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) y 1 l/ha (53,17 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo), mientras que el testigo mostró los valores más bajos (42,25 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) de los tratamientos del experimento, por lo tanto que emplear *Trichoderma* spp., a mayores dosis utilizada genera aceleración en el desarrollo y crecimiento en las poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo existentes, donde este hongo podría estar siendo fuente de alimento para los nematodos, mientras que a los 60 días de aplicado *Trichoderma* spp., la dosis de 2 l/ha, incremento en 25,84 nematodos/kg<sup>-1</sup>

suelo presentó el valor más alto (104,83 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo), estadísticas diferente a los diferentes a los tratamientos, seguido de aplicar 1 l/ha, evidenciándose también el aumento de 10,08 de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo con el valor (63,25 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo); presentando igualdad estadísticamente en 3 l/ha no así con el valor (42,50 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) quien decreció 62,08 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo; mientras que el testigo reflejo el valor más bajo de población (1,0 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo). Al no inocular el suelo con *Trichoderma* spp., no generó desarrollo ni crecimiento en las poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup>, mientras que aplicar 1 l/ha demostró que el hongo no controla las poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo.

Por el contrario, a mayor dosis ( 3 l/ha) el hongo muestra mejor eficiencia colonizadora y saprófita en la población de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo. Finalmente, a los 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., en los diferentes tratamientos desarrollados con el testigo en el experimento, no presentaron diferencias estadísticas significativas. Al tiempo que aplicar 1 l/ha de *Trichoderma* spp., obtuvo los valores más bajos (35,80 nematodos/kg<sup>-1</sup>) seguido de testigo con (42,50 nematodos/kg<sup>-1</sup>), mientras la dosis 3 y 2 l/ha, mostraron valores iguales (52,83). En el tercer momento mostró que aplicar la máxima dosis de *Trichoderma* spp., manifiesta la pérdida del efecto saprófito del hongo, demostrando valores de población de nematodos similares a dosis bajas. En tanto que, el testigo presenta la existencia de nematodos, ya que pudo haber existido la migración de los patógenos (nematodos) no controladas de las zonas inoculadas con *Trichoderma* spp., hacia las áreas no inoculados por el hongo, donde básicamente podrían diseminarse.

**Tabla 12. Población de nematodos/kg<sup>-1</sup> de suelo en función de aplicar las tres dosis de *Trichoderma* spp. y el control en sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo	Estadísticos	Nematodos/kg <sup>-1</sup> suelo			
		Dosis de <i>Trichoderma</i> spp. (l/ha)			
		1	2	3	Testigo
30 días	$\bar{X}$	53,17a	94,33a	<b>104,58a</b>	42,25a
	DS	95,12	120,17	103,90	76,52
	n	12	12	12	12
60 días	$\bar{X}$	63,25ab	<b>104,83a</b>	42,50ab	1,0b
	DS	112,61	165,69	96,92	0,00
	n	12	12	12	12

90 días	$\bar{X}$	11,33a	<b>52,83a</b>	<b>52,83a</b>	42,50a
	DS	35,80	98,70	98,70	96,92
	n	12	12	12	12

Nota: Resultados de la tabla de subconjuntos homogéneos de Duncan.

La evaluación realizada a los 30 y 60 días de aplicado *Trichoderma* spp., la población de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo, presentaron diferencias estadísticas significativas mientras que a los 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., y el control, no hubo diferencia estadística significativa presentando un p-valor mayor a 0,05. La efectividad del hongo a los 90 días disminuyó después de los 60 días, perdiendo eficacia en las poblaciones de los nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo, existentes en el hijo productivo seleccionado de la planta de banano.

**Tabla 13. Tipos de Nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo en función de la aplicación de *Trichoderma* spp., y el control en sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo	Tipos de nematodos/kg <sup>-1</sup> suelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
30 días	Entre grupos	233051,04	2	116525,52	21,67	0,00
	Error	241968,63	45	5377,08		
	<b>Total</b>	475019,67	47			
60 días	Entre grupos	134480,79	2	67240,40	6,29	0,00
	Error	481255,69	45	10694,57		
	<b>Total</b>	615736,48	47			
90 días	Entre grupos	40734,88	2	20367,44	3,01	0,06
	Error	304858,38	45	6774,63		
	<b>Total</b>	345593,25	47			

Una vez aplicada las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., el comportamiento a los 30 días, los tipos de población de nematodos/kg<sup>-1</sup> de suelo *M. incognita* alcanzó el mayor valor (172,13 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo), demostrando diferencia estadísticamente a lo obtenido con *H. multicinctus* y *R. similis* con valores iguales (24,31 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo); donde muestra la susceptibilidad del efecto del hongo *Trichoderma* spp.,



(parasitismo; creando producción de enzimas que degradan las paredes celulares de estos patógenos) mientras que a los 60 días de aplicado este hongo anaeróbico *M. incognita* continúa exponiendo los valores más altos (125,56 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) presentando diferencia estadística significativa de *H. multincinctus* (32,06 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) y *R. similis* (1,0 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) donde muestran ser iguales estadísticamente. *M. incognita* presenta mayor resistencia a las enzimas degradantes de la pared celular donde se evidencia la resistencia al parasitismo de las cepas de *Trichoderma* spp. Finalmente, a los 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., y el testigo. Los tres tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo (*M. incognita*, *H. multincinctus* y *R. similis*) no presentan diferencia estadística significativa donde *M. incognita* mantiene presentando los valores más alto de población con (78,81 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) seguido de *R. similis* (32,06 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo) y con los valores más bajos de población nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo, *H. multincinctus* (8,75 nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo). La aplicación de *Trichoderma* spp., mostró mayor eficacia de parasitismo y reducción de espacio de alimentación de *H. multincinctus*.

**Tabla 14. Tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo en función de la aplicación de *Trichoderma* spp., y el control en sus diferentes momentos de muestreos.**

Momentos de muestreo	Estadígrafos	Nematodos/kg <sup>-1</sup> de suelo		
		Tipos de nematodos		
		<i>Radopholus</i>	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Meloidogyne</i>
30 días	$\bar{X}$	<b>24,31b</b>	<b>24,31b</b>	172,13a
	DS	67,67	67,67	83,51
	n	16	16	16
60 días	$\bar{X}$	<b>1,0b</b>	<b>32,06b</b>	125,56a
	DS	0,0	85,05	157,64
	n	12	12	12
90 días	$\bar{X}$	32,06ab	<b>8,75b</b>	78,81a
	DS	71,79	31	119,20
	n	12	12	12

En los 30 días de aplicado *Trichoderma* spp. y control cero. Los tres tipos de nematodos (*M. incognita*, *H. multincinctus* y *R. similis*). *M. incognita* reflejo los valores más altos incluso en el testigo seguido de *H. multincinctus* y *R. similis*; presentes en las diferentes

dosís del hongo y el testigo, a pesar de la abundante presencia de *M. incognita* en el suelo no se considera problema en primera instancia, pero es muy probable la migración a las raíces del hijo productivo (retorno) donde sí pueden ocasionar daños en la raíz que es donde se generan los mecanismos de transformación de los macro y micro nutrientes para el desarrollo vegetativo. En tanto que, a los 60 días de aplicado *Trichoderma* spp., en sus tres dosis, *M. incognita* y *H. multicinctus* mantienen los valores más altos de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo, no así en testigo que mostró los valores más bajos e igual que *R. similis*; estando ausente en el resto de los tratamientos del experimento.

Finalmente, a los 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., *M. incognita* muestra reducción en las poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo, no así en testigo demostrando incremento de sus poblaciones, ya que en su ciclo de vida continúan mudando tanto en hembras como en machos adultos y su ciclo de vida puede prolongarse o acortarse la duración del ciclo de vida está entre un promedio de los 29 días, a partir de ahí se tendrá la inoculación para las siguientes generaciones.

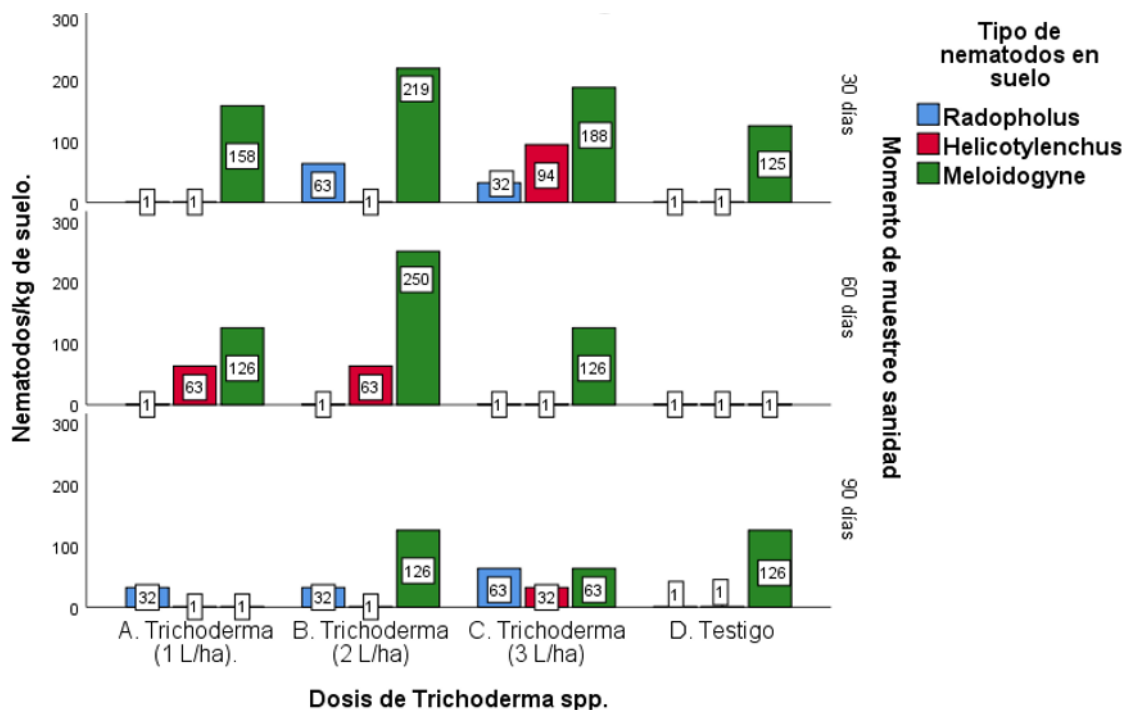


Figura 4. Comportamiento de población de nematodos/kg-1 suelo, en los hijos productivos de las plantas madre de banano a los 30, 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp.

#### 4.3 Resultado del efecto de la inoculación de *Trichoderma* spp., en tipo y población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz a los 30, 60 y 90 días.

La evaluación realizada a los 30, 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., la población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz del hijo productivo de la planta de banano, presentó un p-valor mayor a 0,05 demostrando que no existe diferencias estadísticas significativas de aplicado *Trichoderma* spp. y el control, al parecer la aplicación de *Trichoderma* spp., no generó metabolitos secundarios no volátiles de tipo enzimático como quitinasas, celulasas y la β-1,3-glucanasas que hidrolizan el componente principal de las paredes celulares de los nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz.

**Tabla 15. Población de nematodos/kg-1 raíz en sus diferentes momentos de evaluación en función de las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control.**

Momentos de muestreo	Dosis de <i>Trichoderma</i> spp.	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
30 días	Entre grupos	26736875,000	3	8912291,67	1,20	<b>0,316</b>
	Error	444287500,00	60	7404791,67		
	<b>Total</b>	471024375,00	63			
60 días	Entre grupos	56401875,000	3	18800625,00	0,98	<b>0,407</b>
	Error	1147257500,00	60	19120958,33		
	<b>Total</b>	1203659375,00	63			
90 días	Entre grupos	23602500,000	3	7867500,00	0,91	<b>0,441</b>
	Error	518315000,00	60	8638583,33		
	<b>Total</b>	541917500,00	63			

A los 30 días de aplicado *Trichoderma* spp., y control cero no presentaron diferencias estadísticas la dosis de 1 l/ha de *Trichoderma* spp., (4,175.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) y el testigo (3,037.5 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) presentaron los mayores valores de población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz seguido 3 l/ha de *Trichoderma* spp., (2,800.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) donde 2 l/ha presentó los menores valores de población (2,450.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz). Al parecer la aplicación del hongo *Trichoderma* spp., generó la aceleración en el desarrollo de los nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz, mas no así en donde no se aplicó el hongo. A los

60 días de aplicado *Trichoderma* spp., continúan no presentando diferencias estadísticas donde 1 y 2 l/ha de *Trichoderma* spp., muestran los mayores valores (4,175,0 y 4,000,0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) seguido de testigo (2,950.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) evidenciando los valores más bajos al aplicar 3 l/ha de *Trichoderma* spp., (2,200.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz). Aplicar dosis menores de 3 l/ha de *Trichoderma* spp., generó mayor aceleración en el desarrollo de nematodos existiendo migración de los nematodos presentes en el suelo a la raíz siendo alimento para los nematodos en la raíz del hijo productivo seleccionado de la planta de banano. Finalmente, a los 75 días de aplicado *Trichoderma* spp., continuaron no presentando diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de *Trichoderma* spp., y el testigo al emplear 1 y 2 l/ha de *Trichoderma* spp., muestran los mayores valores (3,625.0 y 3,362.5 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) seguido de testigo (2,312.5 nematodos/kg<sup>-1</sup>) evidenciando los valores más bajos de aplicar 3 l/ha de *Trichoderma* spp., (2,275.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz). Por lo visto la dosis más alta de *Trichoderma* spp., (3l/ha) mantuvo su efecto biocontrol (saprófito) en las poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz a diferencia de sus dosis bajas, y el control cero.

**Tabla 16. Población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control en sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo	Estadígrafos	Nematodos/kg <sup>-1</sup> de raíz			
		Dosis de <i>Trichoderma</i> spp. (l/ha)			
		1.0	2.0	3.0	Testigo
30 días	$\bar{X}$	<b>4,175.0a</b>	2,450.0a	2,800.0a	3,037.5a
	DS	3,757.93	1,817.69	2,508.65	2,428.96
	n	16	16	16	16
60 días	$\bar{X}$	<b>4,637.5a</b>	4,000.0a	2,200.0a	2,950.0a
	DS	6,679.41	4,050.35	1,835.94	3,477.58
	n	16	16	16	16
90 días	$\bar{X}$	<b>3,625.0a</b>	3,362.5a	2,275.0a	2,312.5a
	DS	3,034.79	3,005.97	3,348.93	2,256.81
	n	16	16	16	16

En los tres momentos de evaluación 30, 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., y control cero los tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz del hijo productivo de la planta de banano, presentó un p-valor < 0,05 demostrando que existe diferencias estadísticas significativas de aplicado *Trichoderma* spp., y el control. Aplicar *Trichoderma* spp., generó quitinasas, celulasas y la β-1,3-glucanasas que reaccionan química en la ruptura de los enlaces moleculares de las paredes celulares de los nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz.

**Tabla 17. Tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en función al resultado de las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
30 días	Entre grupos	284466875,00	3	94822291,67	30,50	<b>0,00</b>
	Error	186557500,00	60	3109291,67		
	<b>Total</b>	<b>471024375,00</b>	63			
60 días	Entre grupos	493881875,00	3	164627291,67	13,91	<b>0,00</b>
	Error	709777500,00	60	11829625,00		
	<b>Total</b>	<b>1203659375,00</b>	63			
90 días	Entre grupos	332222500,00	3	110740833,33	31,68	<b>0,00</b>
	Error	209695000,00	60	3494916,67		
	<b>Total</b>	<b>541917500,00</b>	63			

El comportamiento de los tipos de población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz, una vez aplicada a diferentes dosis de *Trichoderma* spp., y el control muestran que a los 30 días *M. incognita* alcanzó el menor valor (1,350.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) demostrando que no existe diferencia estadística con *P. penetrans* (1,475.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz), continuando con *R. similis* (3,062.5 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) muestran el mayor valor de población en *H. multicinctus* (6,575.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz). La aplicación de *Trichoderma* spp., es más susceptible a los mecanismos de efecto biocontrol en *M. incognita* mientras que a los 60 días de aplicado este hongo anaeróbico las poblaciones de *M. incognita* obtuvo los menores valores (750.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) donde no presentaron diferencias estadísticamente significativas en *R. similis* y *P. penetrans* con valores iguales (2,875.0 nematodos/kg<sup>-1</sup>); no así de *H. multicinctus* con el valor más alto (8,075.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz).

Demuestra que la aplicación de *Trichoderma* spp., controla con mayor efectividad las poblaciones de *M. incognita* a diferencia de los demás tipos de nematodos. Finalmente, a los 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., y el testigo los tres tipos de nematodos (*M. incognita*, *H. multicinctus*, *R. similis* y *P. penetrans*) presentaron diferencias estadísticas significativas mientras que las poblaciones de *M. incognita* continúa presentando los valores más bajos (725.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz), seguida de *P. penetrans* (1,212.5 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz) continuando con *R. similis* (3,112.5 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz), demostrando que *H. multicinctus* fueron los valores más altos (8,075.0 nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz), La aplicación de *Trichoderma* spp., mostró mayor residualidad (parasitismo) y eficiencia en el control de las poblaciones de *M. incognita*; ya que presentan características invasoras en las raíces donde generan su ciclo de vida inhibiendo a los juveniles infecciosos que eclosionan, perforan y penetran en las raíces particularmente en las zonas de elongación quienes se mueven intercelularmente hacia abajo hasta la punta de la raíz, entrando al cilindro vascular donde luego giran y se mueven de la misma forma (intercelularmente) hacia arriba hasta llegar a la zona de diferenciación donde se asientan generando sitios de alimentación evitando mayores daños causados por este nematodo.

**Tabla 18. Tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en función del resultado de las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control en sus diferentes momentos.**

Momentos de muestreo	Estadígrafos	Nematodos/kg <sup>-1</sup> raíz			
		Tipos de nematodos			
		<i>Radopholus</i>	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>
30 días	$\bar{X}$	3,062.5b	6,575.0a	<b>1,350.0c</b>	1,475.0c
	DS	1,857.19	2,847.10	539.14	768,98
	n	16	16	16	16
60 días	$\bar{X}$	2,875.0b	8,075.0a	<b>750.0b</b>	2,087.5b
	DS	3,273.23	5,850.07	563,323	1,436.605
	n	16	16	16	16
90 días	$\bar{X}$	3,112.5b	6,525.0a	<b>725.0c</b>	1,212.5c
	DS	2,872.37	2,096.19	707,58	913,510
	n	16	16	16	16

A los 30 días de aplicado *Trichoderma spp.*, y el testigo. *H. multicinctu* presentó el valor más alto de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en sus tres dosis de *Trichoderma spp.*, donde *R. similis* muestra el valor más alto en 1/ha de *Trichoderma spp.*, seguido de testigo mientras que emplear 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, se evidencia con los valores por debajo de 3 l/ha, en tanto que, a los 60 días de aplicado *Trichoderma spp.*, la población de *H. multicinctu* continúa presentando los valores más altos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en sus tres dosis de *Trichoderma spp.*, mientras que *R. similis* muestra el valor más alto en la dosis de 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, seguido de 3 l/ha de *Trichoderma spp.*, en tanto que, emplear 1 l/ha de *Trichoderma spp.*, muestra los valores más bajos de población nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz.

Al tiempo que *M. incognita* en testigo presentó los menores valores en testigo donde aplicar *Trichoderma spp.*, a 2 l/ha aumenta su población seguido de 3 y 1 l/ha, en tanto que, 1 l/ha de *Trichoderma spp.*, presenta el mayor valor de las poblaciones de *P. penetrans* seguido de 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, donde 3 l/ha de *Trichoderma spp.*, presenta menores valores de población que el testigo. Finalmente, a los 90 días de aplicado *Trichoderma spp.*, la población de *H. multicinctu* presentó los mayores valores en 1, 3 y 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, seguido del menor valor del testigo en tanto que *R. similis* presento los mayores valores en la dosis de 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, seguido de 1 l/ha de *Trichoderma spp.*, donde aplicar 3 l/ha de *Trichoderma spp.*, mostró los menores valores de población por debajo del testigo. Las poblaciones de *M. incognita* presentaron valores altos en aplicar 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, testigo y 1 l/ha de *Trichoderma spp.*, no así en aplicar 3 l/ha de *Trichoderma spp.*, mostró el menor valor de población. El mayor valor de población de *P. penetrans* se evidenció en 1 l/ha seguido de 2 l/ha de *Trichoderma spp.*, y el testigo mientras que 3 l/ha demostró los valores más bajos de la población de este nemátodo fitopatógeno.

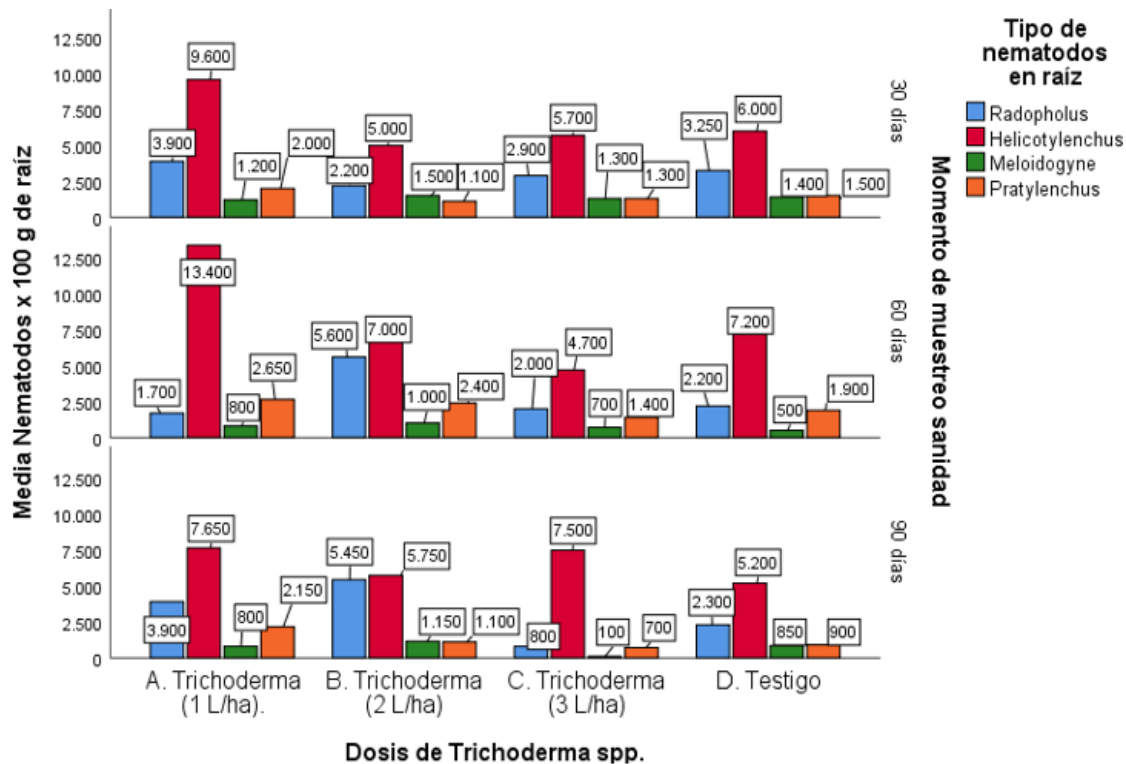


Figura 5. Desempeño de las tres dosis de *Trichoderma* spp., en los diferentes tipos y poblaciones de nematodos/kg-1 raíz de las plantas madre de banano en sus respectivos momentos de sanidad.

Dentro de los 30 días de aplicado *Trichoderma* spp., y el control cero los cuatro tipos de nematodos (*M. incognita*, *H. multicinctus*, *P. penetrans* y *R. similis*) no mostraron afectación en sus poblaciones al tiempo que *H. multicinctus* mostró los valores más altos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz seguido de *R. similis* posteriormente con valores similares a *M. incognita* y *P. penetrans*. Aplicar a bajas dosis el hongo *Trichoderma* spp., generó mayor población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz de *H. multicinctus* ya que estos nematodos viven como parásitos internos de la raíz, donde los nematodos *P. penetrans* existentes en suelo atravesaron los poros en películas de agua buscando refugio y alimento (*Trichoderma* spp.) en la raíz. En tanto que, a los 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., en sus tres dosis, y el control cero. *H. multicinctus*, se mantiene presente con valores altos de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo a diferencias de los otros tipos de nematodos (*M. incognita*, *P. penetrans* y *R. similis*) seguido de *R. similis* posteriormente con *P. penetrans* y con los valores más bajos en todos los tratamientos del experimento *M. incognita*. La aplicación del hongo *Trichoderma* spp., no ejerció efecto control en las poblaciones de *H. multicinctus*/kg<sup>-1</sup> raíz siendo fuente de alimento generando la acelerando en su ciclo de vida en menor tiempo de lo normal que va hasta los 29 días, lo



cual permite las siguientes generaciones causando mayor daño a las raíces de los hijos seleccionados de las plantas productivas de banano.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

### **5.1 Comportamiento de las alturas en los hijos productivo de las plantas madre de banano durante los diferentes momentos de muestreo en las dosis de *Trichoderma* spp., utilizadas.**

El efecto ocasionado por la inoculación del hongo saprófito (*Trichoderma* spp.), en el retorno de las plantas madre de banano se evidenció el crecimiento vegetal (alturas de planta). A mayor dosis de aplicación se obtuvo mayor desarrollo vegetativo a diferencia de las plantas no inoculadas (testigo), estos resultados concuerda con los obtenidos por (Javeed & Farooq, 2021), quienes mencionan que utilizar *Trichoderma* spp., posibilita la creación de interacciones con las plantas promoviendo el crecimiento y desarrollo vegetal además a la resistencia de las diferentes enfermedades (fitopatógenos) mientras que (Singh et al., 2014) establecieron que *Trichoderma* spp., posee mecanismos de competencia por espacios y nutrientes creando la inactivación en las enzimas generadas por los patógenos; siendo estos responsables de la interferencia del crecimiento vegetal.

### **5.2 Comportamiento del tiempo en el diámetro en los hijos productivos de plantas madre de banano bajo el efecto de diferentes dosis de *Trichoderma* spp.**

Los mayores diámetros (cm) del hijo productivo de las plantas de banano se observó bajo la influencia de las dosis más altas 3l/ha del hongo *Trichoderma* spp., quien indujo a un mayor desarrollo vegetativo (fitohormonas) y a la absorción del fósforo presentes en el suelo fomentan el crecimiento vegetal a diferencia de no aplicar (el testigo), coincidiendo con lo que menciona (Kubiaak & Wolna-Maruka, 2023) que inocular *Trichoderma* spp., promueve el crecimiento de las plantas donde facilita la solubilización del fósforo y a la producción de fitohormonas y fitorreguladores por parte de estos microorganismos benéficos, coincidiendo con (Zhu et al., 2022), demostraron que colonizar las raíces de pepino por *T. asperellum* aumento el aprovechamiento del fósforo (P) con una mejora significativa en la biomasa vegetal.

### **5.3 Comportamiento de población de nematodos/kg-1 suelo en los hijos productivos de plantas madre de banano a los 30, 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp.**

En el presente estudio se obtuvo un mayor control de *H. multicinctus* y *R. similis*, bajo la influencia de la inoculación de *Trichoderma* spp., lo cual se corrobora con lo obtenido por Gunasekaran (2021) quien en su estudio demostró que *Trichoderma* spp., controla *H. multicinctus* ya que su alimentación lo realiza en la parte externa de la corteza de la raíz permitiendo ser fácilmente parasitado, mientras que Mathew et al. (2019) en sus investigaciones evidenciaron que *R. similis*, en busca de su alimentación lo realiza ocasionalmente fuera del sistema radicular de la planta, donde *Trichoderma* spp., parasita con facilidad, obteniendo un mejor control no así en *M. incognita*, quien muestra resistencia a la inoculación de *Trichoderma* spp., hasta los 90 días momento que empieza a mostrar la disminución de sus poblaciones; estos resultados obtenidos en el experimento se confirman con los datos obtenidos por (Mbaluto et al., 2021), quienes mencionan que no hubo control en *M. incognita* en sus investigaciones ya que los juveniles al eclosionar proceden a agujerear hasta penetrar la raíz del huésped (retorno) moviéndose hasta el meristema apical de la raíz, ocasionando áreas de alimentación donde seguirán con su ciclo biológico.

### **5.4 Desempeño de las tres dosis de *Trichoderma* spp., en los diferentes tipos y poblaciones de nematodos/kg-1 raíz de plantas madre de banano en sus respectivos momentos de sanidad.**

La aplicación de *Trichoderma* spp., en el presente trabajo de investigación no presentó efecto control en los cuatro tipos de nematodos (*M. incognita*, *H. multicinctus*, *P. penetrans* y *R. similis*), el que menor control se efectuó fue en *H. multicinctus*; el predominio de este nematodo refleja los efectos negativos en las plantas (retornos) con un menor desarrollo vegetativo (altura y diámetro) resultados que se corroboran con (Hui Xia, Yan; Li, Jin; Lei Bin; Lian, 2022) donde exponen en sus estudios que *H. multicinctus*; al ser semi endoparásito se caracteriza por poseer mecanismos de reducción en el crecimiento de las plantas por lo tanto su ciclo biológico no se vio afectado debido a que no surtió efecto saprófita del hongo, esta resistencia es razonable y similar a lo indicado por (Gunasekaran, 2021) quien precisa que *H. multicinctus* es capaz de completar su ciclo de vida en la parte interna de las raíces evitando que sea afectado a los agentes externos.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

En el experimento desarrollado manifiesta el efecto de inocular *Trichoderma* spp., en sus tres dosis tanto en suelo como en raíz comparada con el control, estos efectos se vieron reflejados en el desarrollo vegetativo (alturas y diámetros) de los hijos productivos de la planta de banano (retorno), en comparación con el control cero (el testigo), y en sus poblaciones de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo y raíz.

La utilización de dosis bajas de 1 l/ha de *Trichoderma* spp., no ejerce control en los nematodos que causan daños a la raíz, más bien crean efectos negativos indirecto como en el crecimiento y diámetro vegetativo la cual condiciona la receptación de nutrimentos y agua para sus funciones metabólicas y fisiológicas de la planta de banano por lo tal emplear dosis bajas de *Trichoderma* spp., demuestra que son tomados como fuente nutritiva para continuar realizando su ciclo biológico las cuales crearon mayor población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz mientras que el empleo de 2 y 3 l/ha de *Trichoderma* spp., presento un mayor efecto de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz y suelo, al tener mayor sanidad en las raíces se presentó el incremento en las alturas y diámetro en el retorno de la planta de banano.

En los tres momentos 30, 60 y 90 días de aplicado *Trichoderma* spp., la recopilación de datos en los tres tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> suelo (*H. multincinctus*, *R. similis* y *M. incognita*) manifestó el mayor efecto control en *H. multincinctus* y *R. similis* esto se debe a las característica que presentan estos nematodos debido a que su alimentación la realiza en la parte externa de la raíz del huésped, facilitando así los mecanismos del hongo parásito en tanto que *M. incognita* demostró mayor presencia /kg<sup>-1</sup> suelo lo que puede estar condicionado a que este nematodo se encuentre como huésped en la raíz y salga para tomar como alimento al hongo *Trichoderma* spp., debido a que su ciclo biológico lo realiza en la parte interna de la raíz. Utilizar las tres dosis de *Trichoderma* spp., no presentaron diferencia estadísticamente significativa a los 30 días, no así a los 60 días, donde emplear la dosis de 3 l/ha demostró mayor efecto control y diferencia estadística entre los tratamientos mientras que a los 90 días todos los tratamientos son iguales, lo que quiere decir que tienen un rango de dos meses de acción control a dosis de 3 l/ha, aplicar menos de la dosis antes mencionada sirve de alimento para el nematodo.

En los tres momentos de muestreo 30, 60 y 90 días en los tipos de nematodos/kg-1 raíz en función al resultado de las tres dosis de *Trichoderma* spp., y el control sus diferentes momentos no se presentaron diferencias estadísticas en las diferentes dosis aplicadas de *Trichoderma* spp., ya que el p-valor obtenido es mayor a alfa (nivel de significancia). Básicamente emplear *Trichoderma* spp., a diferentes dosis y momentos; no provocó efectos fisiológicos ni metabólicos en las poblaciones de nematodos, limitando la capacidad de inducir a cualquier tipo de defensa de patógenos en la plantas de banano donde 1/ha obtuvo el valor más alto de población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz, debido a que el hongo fue tomado como fuente de alimento acelerando su ciclo de vida, generando así mayores poblaciones seguido de 2 l/ha nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz y con el menor valor de población nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz la dosis de 3/ha.

La utilización de *Trichoderma* spp., en los cuatro tipos de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz (*M. incognita*, *H. multicinctus*, *P. penetrans* y *R. similis*), presentaron diferencias estadísticas significativas y en el control cero. El mayor efecto control se obtuvo con los menores valores de población de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz en *M. incognita* siendo altamente efectivo para este nematodo, seguido de *P. penetrans* continuando con *R. similis* finalmente siendo *H. multicinctus* con el mayor valor de nematodos/kg<sup>-1</sup> raíz, estos resultados se deben a su orden alimenticia ya que se desenvuelve en la capa externa de la raíz, donde su ciclo de vida lo realiza en la parte interna de la raíz protegiéndose de cualquier agente externo en este caso del hongo *Trichoderma* spp., evitando su efecto saprófito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Argumedo, R., Gómez, M., & Delgado, J. (2022). Promoción del crecimiento vegetal hongos filamentosos y sus aplicación en la fertilización de pastos para consumo animal. *Agronomy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy12123033>
- Arteaga, F. J. (2015). Origen y Evolución del Banano. *ACADEMIA Accelerating the World's Research, I*, 11.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44494637/articulo\\_banano\\_pdf\\_evolucion\\_de\\_plantas\\_cultivadas-with-cover-page\\_v2.pdf?Expires=1662079545&Signature=CFmprZCArC6CJRfK57JclCM0KJrsocZfSvTLoJtjePSGBwVZlr9afXpOwlnRbiUJv3~f7h2ep1Z5V9Z5Po0ptVNVTFyftUuDSZayLYMV](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44494637/articulo_banano_pdf_evolucion_de_plantas_cultivadas-with-cover-page_v2.pdf?Expires=1662079545&Signature=CFmprZCArC6CJRfK57JclCM0KJrsocZfSvTLoJtjePSGBwVZlr9afXpOwlnRbiUJv3~f7h2ep1Z5V9Z5Po0ptVNVTFyftUuDSZayLYMV)
- Aziz, Elbehri; Germán, C. C., & Staver. (2015). Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. *FAO*, 180.  
<https://www.fao.org/3/i5697e/i5697e.pdf>
- Daramola, F., Orisajo, S., Malan, A., & Marais, M. (2020). Caracterización molecular de *Helicotylenchus multicinctus* y *H. dihystra* (Tylenchida: Hoplolaimidae) de *Theobroma cacao* en Nigeria. *ZOOTAXA*, 2, 343–356.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.11646/zootaxa.4778.2.6>
- E, H. P., & Asociación española de ecología terrestre. (2013). Los nemátodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 22(1), 50–55.  
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-1.09>
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Bernardo, J., & Hernandez, P. (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4), 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- García, D., & Vargas, J. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*, 46(2), 47–60. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v46n2/0377-9424-ac-46-02-47.pdf>
- Gil, A. E., Medina, E., López, Z., & Capus de la Universidad de Trujillo. (2016). Efecto sinérgico del ácido indolacético, ácido giberélico y 6- bencilaminopurina en la propagación in vitro de “papaya” *Carica papaya* L. (Caricaceae). *Arnaldoa*, 2, 577–586. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.232.23210>

- Gunasekaran, T. A. A. (2021). Distribución y caracterización molecular de *Helicotylenchus multicinctus* (Tylenchida: Hoplolaimidae) de de banano en la región de Tamil Nadu. *Revista Internacional de Estudios de Botánica*, 6(4), 965–971. [www.botanyjournals.com](http://www.botanyjournals.com)
- Hernandez, D. D. I. M. (2021). Ciclo de vida de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en dos cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. *Revista de Protección Vegetal*, 36 (2), 1–5. <https://eqrcode.co/a/7c5LVa>
- Hui Xia, Yan; Li, Jin; Lei Bin; Lian, H. (2022). Identificación y método de un microlobus de *Helicotylenchus* a partir de tomate en China. *Zoología BMC*, 7:42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40850-022-00144-7>
- Javeed, M., & Farooq, T. (2021). Rol de *Trichoderma* como agente de biocontrol (BCA) de nematodos fitoparásitos e inductor del crecimiento vegeta. *Elsevier*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626> R
- Kubiaak, A., & Wolna-Maruka, A. (2023). Hongos del Género *Trichoderma*: Perspectivas Futuras de Beneficios en Agricultura Sostenible. *Ciencias Aplicadas*, 32. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app13116434>
- Lerro, C. C., Koutros, S., Andreotti, G., Friesen, M. C., Blair, A., Zhang, Y., & Freeman, L. E. B. (2015). Uso de insecticidas organofosforados e incidencia de cáncer entre cónyuges de aplicadores de pesticidas en el Estudio de Salud Agrícola. *Medicina Ocupacional y Ambiental*, 736–744. <https://doi.org/10.1136/oemed>
- Madison, W. (2021). *50 Pratylenchus penetrans* y la enfermedad de muerte temprana de la papa (R. A. D. M. L. Johan; Sikora (ed.); Caby). Caby. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.0050>
- Marisol, A., & Pinta, M. (2020). Ecuador : producción de banano , café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Uisrael*, 7(3), 103–121. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rcuisrael/v7n3/2631-2786-rcuisrael-7-03-00103.pdf>
- Martínez, B., Infante, D., & Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género *Trichoderma*. *Protección Vegetal*, 3 (5), 11–22. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v30s1/rpv004s15.pdf>
- Mathew, Reny; Cahrls D; Opperman, H. (2019). El genoma del nematodo migratorio, *Radopholus similis*, revela firmas de estrecha asociación con los nematodos del quiste sedentario. *Plos One*, 1–15.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224391>
- Mbaluto, C. M., Vergara, F., & Mart, A. (2021). infección de raíces por el nematodo *Meloidogyne incognita* modula las defensas antiherbívoras de las hojas y la resistencia de las plantas a *Spodoptera exigua*. *Revista de Botánica Experimental*, 72(7909–7926), 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jxb/erab370>
- Mesa, A., Marín, A., & Osorno, J. (2019). Metabolitos secundarios en *Trichoderma* spp . y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas applications. *Actualidades Biológicas*, 41(111), 32–44. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02>
- Ministerio de agricultura y ganadería. (2022). *Ficha del cultivo de Banano Musa paradisiaca* (AAA). 2023. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/bananos>
- Mora, M. (2022). *Estimulación de la masa radicular para mejorar la sanidad en el cultivo de Banano (Musa AAA)* [Universidad Tecnica de Babahoyo Facultad]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13885>
- Morales-morales, E. J., & Martínez-campos, Á. R. (2022). Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 345–354. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13n2/2007-0934-remexca-13-02-345.pdf>
- Orbe, D. C. M. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2022/PPT\\_Espac\\_2022\\_04.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_Espac_2022_04.pdf)
- Orbe, D., & Cuichan, M. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). *Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]*, 14. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín\\_técnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín_técnico.pdf)
- Singh, A., Sarma, B. K., Singh, H. B., & Upadhyay, R. S. (2014). *Trichoderma*: un trabajador silencioso de la rizosfera vegetal. *Elsevier*, 10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00040-0> 533
- Tyśkiewicz, R., Ozimek, E., & Nowak, A. (2022). *Trichoderma* : el estado actual de su aplicación en Agricultura para el Biocontrol de Fitopatógenos Fúngicos y Estimulación del crecimiento vegetal. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares Revisar*. <https://doi.org/>. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vera, M. J. (2021). *Uso de Enmiendas y Activadores Biológicos para el manejo de nematodos en el cultivo de banano (Musa AAA) zona Caracol, Cantón Babahoyo*

[Universidad Técnica de Babahoyo].

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/10073/C-UTB-CEPOS-MPV-000004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Zali, D., Faustin, T., & Akono, E. (2021). Toxicidad subcrónica de un plaguicida a base de terbufos (Contador 15FC) en ratas macho adultas. *Revista de Riesgos Químicos Para La Salud*, 11, 169–180. <https://doi.org/10.22034/jchr.2021.1903415.1152>
- Zhiminaicela, J., Quevedo, J., García, R., & Machala. Ecuador., U. T. de. (2020). La producción de banano. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3, 7. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>
- Zhu, L., Zhao, X., Academia de ciencias de china, & Universidad Normal de Zhoukou. (2022). Trichoderma afecta el crecimiento de las plantas y el medio ambiente ecológico del suelo: una revisión. *Zemdirbyste Agriculture*, 109(4), 341–348. <https://doi.org/10.13080/za.2022.109.044>



## ANEXOS

### 8.1 Selección del hijo productivo de la planta madre de banano (retorno)



Selección y toma de muestras de suelo y raíz frente a la planta madre del hijo productivo



Selección y toma de muestras de raíz frente a la planta madre del hijo productivo

## 8.2 Adecuación para la aplicación de *Trichoderma* spp., en las tres dosis en el campo experimental



Bomba Cp3, *Trichoderma* spp., realizando la mezcla en agua con pH neutro



Tratamientos con dosis respectivas de 1, 2 y 3 l/ha de *Trichoderma* spp., frente al retorno con aplicación de bomba Cp3



Muestras entregadas a laboratorio donde realizaron los respectivos analices a las muestras de suelo y raíz del retorno (hijo productivo de banano)

**8.3 Fotografías tomadas en laboratorio 10-03-2023 con sus respectivos tratamientos**



**8.4 Fotografías tomadas en laboratorio 12-04-2023 con sus respectivos tratamientos**



**8.5 Fotografías tomadas en laboratorio 12-05-2023 con sus respectivos tratamientos**

