



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Efecto de la biofumigación para el control de nematodos en el suelo de un cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*)**

**FAREZ GAONA EDUARDO JOSHUE  
INGENIERO AGRONOMO**

**PINEDA MACAS BRYAN JOEL  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Efecto de la biofumigación para el control de nematodos en el suelo  
de un cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*)**

**FAREZ GAONA EDUARDO JOSHUE  
INGENIERO AGRONOMO**

**PINEDA MACAS BRYAN JOEL  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Efecto de la biofumigación para el control de nematodos en el  
suelo de un cultivo de banano (Musa x paradisiaca)**

**FAREZ GAONA EDUARDO JOSHUE  
INGENIERO AGRONOMO**

**PINEDA MACAS BRYAN JOEL  
INGENIERO AGRONOMO**

**QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO**

**MACHALA  
2023**

# Tesis Pineda - Farez

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[aes.ucf.edu.cu](http://aes.ucf.edu.cu)  
Fuente de Internet

2%

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, FAREZ GAONA EDUARDO JOSHUE y PINEDA MACAS BRYAN JOEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de la biofumigación para el control de nematodos en el suelo de un cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



---

FAREZ GAONA EDUARDO JOSHUE

0750683229



---

PINEDA MACAS BRYAN JOEL

0705811818

UNIVERSITAS  
MAGISTRORUM  
ET SCHOLARIUM

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios, quien nos dio la sabiduría, fortaleza y constancia para poder llevar a cabo todo el proceso académico.

A nuestros padres, siendo ellos la más grande inspiración para seguir adelante día tras día, que, con la enseñanza de valores como el respeto, honestidad, disciplina, puntualidad y el apoyo incondicional en todo el periodo académico, permitieron que culminemos una etapa más en nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos profundamente a nuestros padres quienes fueron la motivación para poder desempeñarnos en todo el proceso de estudio; gracias a ellos por habernos apoyado y enseñado que con dedicación y esfuerzo podemos lograr todo lo que nos propongamos.

A todos los docentes que formaron parte de nuestra formación, gracias a cada aporte de su conocimiento profesional hacia nosotros, sirvió para ampliar nuestros conocimientos y así lograr culminar la carrera universitaria.

A la Universidad Técnica de Machala por brindarnos el espacio donde desarrollamos nuestro trabajo de titulación.

# **EFFECTO DE LA BIOFUMIGACIÓN PARA EL CONTROL DE NEMATODOS EN EL SUELO DE UN CULTIVO DE BANANO (*Musa x paradisiaca*)**

**Autores**

Pineda Macas, Bryan Joel

Farez Gaona, Eduardo Joshue

**Tutor**

Ing. Agr. Quevedo Guerrero José Nicasio, Mg. Sc.

## **RESÚMEN**

El banano desempeña un papel vital en la economía ecuatoriana, generando ingresos, empleo y estimulando la inversión en infraestructura agrícola. La presencia de nematodos en las raíces de las plantas de banano tiene un impacto perjudicial, reduciendo el rendimiento, debilitando las plantas y afectando la calidad del producto, esto conlleva costos significativos de control y amenaza la sostenibilidad a largo plazo de la industria bananera en Ecuador, por este motivo se planteó como objetivo de este trabajo, demostrar la efectividad de la biofumigación mediante aplicaciones de compuestos de origen vegetal en el suelo de un cultivo de banano, para reducir la cantidad de nematodos. El ensayo se llevó a cabo en la plantación de banano de la granja experimental “Santa Inés” de la Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Técnica de Machala, en la Provincia de El Oro; se utilizó un diseño completamente al azar para determinar el comportamiento de los tratamientos. Los compuestos utilizados para la biofumigación fueron obtenidos de coles de Bruselas y ortiga. Las variables fueron evaluadas fueron: número de hojas (NH), diámetro del fuste: (FS), altura del hijo hasta la parición (AHP), peso del racimo (PR), número de manos (NM), población de nematodos en tres etapas, porcentaje de raíces vivas, muertas y enfermas; estas variables se tomaron en tres etapas (inicial, media y final), luego de obtener la información, se construyó una base de datos en Excel para su respectivo análisis e interpretación. De acuerdo con los resultados obtenidos, el análisis ANOVA de un factor, determinó que si hubo significancia entre los tratamientos debido a que sus valores son menores a ( $p= 0.05$ ) en lo que respecta a las variables AHP y FS se observaron diferencias significativas entre al menos un par de grupos, lo que sugiere variaciones estadísticamente notables. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en NH entre los grupos

estudiados, en la prueba T de Dunnett bilateral se utilizó para realizar comparaciones múltiples entre los tratamientos T1 (OC10g), T2 (OC20g), T3 (OC30g) y el grupo de control T0 (OC0g) en relación con las mismas variables. En términos de AHP, los tratamientos T3 (1.41m) y T2 (1.39m) mostraron diferencias significativas con respecto al grupo de control, lo que indica un efecto positivo en la altura de las plantas. En cuanto a FS, solo el T3 (0.617m) mostró una diferencia significativa con el grupo de control. Sin embargo, en NH no se observaron diferencias significativas entre los grupos estudiados. Se realizó la interpretación de graficas en variables de producción lo que indico que los tratamientos T2 y T3 exhibieron un mayor peso de racimo, con promedios de 46,2 y 45,8 libras respectivamente, además de una mano adicional por racimo en comparación con T0 y T1, lo que podría influir positivamente en la producción. Estos tratamientos también demostraron un aumento significativo en el porcentaje de raíces sanas el T2 alcanzó el 82,57% acompañado del T3 con 81,34%, así como una reducción en las raíces enfermas y muertas, indicando una mejora en la salud radicular. Además, T2 y T3 exhibieron reducciones significativas en la población de nematodos en comparación con T0, respaldando la efectividad de la biofumigación en el control de nematodos. Estos resultados subrayan el potencial de la biofumigación como estrategia para mejorar la calidad de las raíces del banano y reducir la población de nematodos, lo que podría tener un impacto positivo en la productividad y la salud general de las plantas de banano, lo cual es relevante para la industria bananera de Ecuador.

**Palabras clave:** biofumigación, nematodos, banano, enmienda orgánica, desarrollo vegetativo

# **EFFECT OF BIOFUMIGATION FOR THE CONTROL OF NEMATODES IN THE SOIL OF A BANANA CROP (*Musa x paradisiaca*)**

## **Authors**

Pineda Macas, Bryan Joel

Farez Gaona, Eduardo Joshue

## **Tutor**

Ing. Agr. Quevedo Guerrero José Nicasio, Mg. Sc.

## **ABSTRACT**

Bananas play a vital role in the Ecuadorian economy, generating income, employment and stimulating investment in agricultural infrastructure. The presence of nematodes in the roots of banana plants has a detrimental impact, reducing yield, weakening the plants and affecting product quality, this entails significant control costs and threatens the long-term sustainability of the banana industry in Ecuador. For this reason, the objective of this work was to demonstrate the effectiveness of biofumigation through applications of compounds of plant origin in the soil of a banana crop, to reduce the amount of nematodes. The trial was carried out in the banana plantation of the “Santa Inés” experimental farm of the Faculty of Agricultural Sciences belonging to the Technical University of Machala, in the Province of El Oro; A completely randomized design was used to determine the behavior of the treatments. The compounds used for biofumigation were obtained from Brussels sprouts and nettle. The variables evaluated were: number of leaves (NH), diameter of the stem: (FS), height of the offspring until calving (AHP), weight of the cluster (PR), number of hands (NM), population of nematodes in three stages, percentage of live, dead and diseased roots; These variables were taken in three stages (initial, middle and final), after obtaining the information, a database was built in Excel for their respective analysis and interpretation. According to the results obtained, the one-factor ANOVA analysis determined that there was significance between the treatments because their values are less than ( $p= 0.05$ ) with regard to the AHP and FS variables, significant differences were observed between at least a couple of groups, suggesting statistically notable variations. However, no significant differences in NH were found between the groups studied; the bilateral Dunnett's T test was used to make multiple comparisons between treatments T1 (OC10g), T2 (OC20g), T3 (OC30g) and the

control group. T0 (OC0g) in relation to the same variables. In terms of AHP, treatments T3 (1.41m) and T2 (1.39m) showed significant differences with respect to the control group, indicating a positive effect on plant height. Regarding FS, only T3 (0.617m) showed a significant difference with the control group. However, in NH no significant differences were observed between the studied groups. The interpretation of graphs in production variables was carried out, which indicated that treatments T2 and T3 exhibited a greater bunch weight, with averages of 46.2 and 45.8 pounds respectively, in addition to an additional hand per bunch compared to T0. and T1, which could positively influence production. These treatments also demonstrated a significant increase in the percentage of healthy roots, T2 reaching 82.57% accompanied by T3 with 81.34%, as well as a reduction in diseased and dead roots, indicating an improvement in root health. Furthermore, T2 and T3 exhibited significant reductions in nematode population compared to T0, supporting the effectiveness of biofumigation in nematode control. These results underline the potential of biofumigation as a strategy to improve banana root quality and reduce the nematode population, which could have a positive impact on the productivity and overall health of banana plants, which is relevant. for Ecuador's banana industry.

**Key words:** biofumigation, nematodes, bananas, organic amendment, vegetative development

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1. Objetivo general.....	13
1.2. Objetivos específicos.....	13
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1. Importancia del banano en el Ecuador.....	14
2.2. Clasificación taxonómica del banano .....	14
2.3. Morfología de la planta de banano .....	15
2.3.1. Sistema radicular.....	15
2.3.2. Rizoma.....	15
2.3.3. Pseudotallo.....	15
2.3.4. Hoja .....	15
2.3.5. Inflorescencia.....	16
2.3.6. Racimo.....	16
2.4. Nematodos parásitos asociados al banano .....	16
2.5. Importancia económica del banano .....	16
2.6. <i>Helicotylenchus</i> spp.....	17
2.6.1. Taxonomía .....	17
2.6.2. Biología y Ciclo de vida.....	17
2.6.3. Daños y síntomas .....	18
2.7. <i>Radopholus similis</i> .....	19
2.7.1. Taxonomía de <i>Radopholus similis</i> .....	19
2.7.2. Biología y ciclo de vida.....	19
2.7.3. Daños y síntomas .....	20
2.7.4. Control químico .....	21
2.7.5. Control biológico .....	21
2.8. Biofumigación.....	21
2.9. Ortiga ( <i>Urea baccifera</i> L).....	22
2.9.1. Clasificación taxonómica .....	22
2.9.2. Descripción botánica .....	22
2.9.3. Composición química.....	23
2.9.4. Efecto nematicida en la planta.....	23
2.10. Col de brúcelas .....	23

2.10.1.	Taxonomía .....	24
2.10.2.	Glucosinolatos .....	24
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1.	Localización del ensayo .....	25
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	25
3.1.2.	Características de la zona .....	25
3.2.	Diseño experimental .....	26
3.3.	Tratamientos.....	26
3.4.	Materiales y equipos .....	27
3.4.1.	Materiales .....	27
3.4.2.	Equipos .....	27
3.5.	Metodología .....	27
3.5.1.	Preparación y aplicación de los tratamientos.....	28
3.5.2.	Muestreo .....	29
3.6.	Variables a evaluar .....	30
3.6.1.	Número de hojas .....	30
3.6.2.	Diámetro del fuste.....	31
3.6.3.	Altura del hijo hasta la parición.....	32
3.6.4.	Peso del racimo .....	32
3.6.5.	Número de manos .....	33
3.6.6.	Población de nematodos .....	33
3.6.7.	Porcentaje de raíces vivas, muertas y enfermas.....	34
3.7.	Modelo matemático .....	34
3.8.	Hipótesis.....	35
<b>4.</b>	<b>RESULTADO Y DISCUSIONES .....</b>	<b>36</b>
4.1.	ANOVA de las variables.....	36
4.2.	Prueba T de Dunnett bilateral.....	37
4.3.	Altura de hijo hasta parición .....	37
4.4.	Diámetro del fuste. ....	38
4.5.	Número de hojas .....	39
4.6.	Peso del racimo.....	41
4.7.	Número de manos .....	42

4.8. Porcentaje de raíces vivas .....	43
4.9. Porcentaje de raíces enfermas .....	45
4.10. Porcentaje de raíces muertas .....	46
4.11. Población de nematodos .....	48
4.12. Población de Radopholus similis .....	48
4.13. Población de Helicotylenchus sp. ....	49
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del predio de estudio.....	25
<b>Figura 2.</b> Preparación, picado y molido de ortiga y coles de Bruselas. ....	28
<b>Figura 3.</b> Aplicación por tratamiento. ....	29
<b>Figura 4.</b> Muestreo de raíces.....	30
<b>Figura 5.</b> Conteo de hojas. ....	31
<b>Figura 6.</b> Diámetro del fuste. ....	31
<b>Figura 7.</b> Altura de hijo hasta la parición .....	32
<b>Figura 8.</b> Peso del racimo. ....	32
<b>Figura 9.</b> Número de manos.....	33
<b>Figura 10.</b> Muestreo para nematodos. ....	33
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de raíces. ....	34
<b>Figura 11.</b> Media de altura de hijo hasta parición.....	38
<b>Figura 12.</b> Media de diámetro del fuste.....	39
<b>Figura 13.</b> Media del número de hojas. ....	41
<b>Figura 14.</b> Promedio peso de racimos. ....	42
<b>Figura 15.</b> Promedio número de manos.....	43
<b>Figura 16.</b> Porcentaje raíces vivas.....	44
<b>Figura 17.</b> Porcentaje raíces enfermas.....	46
<b>Figura 18.</b> Porcentaje raíces muertas.....	47
<b>Figura 19.</b> Cantidad de Radopholus similis.....	49
<b>Figura 20.</b> Cantidad de Helicotylenchus sp. ....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tratamientos aplicados a la investigación. ....	29
<b>Tabla 2.</b> ANOVA de un factor características biométricas.....	39
<b>Tabla 3.</b> Altura de hijo hasta parición T de Dunnett (bilateral) <sup>a</sup> .....	37
<b>Tabla 4.</b> Diámetro del Fuste T de Dunnett (bilateral) <sup>a</sup> .....	38
<b>Tabla 5.</b> Número de hojas T de Dunnett (bilateral) <sup>a</sup> .....	40
<b>Tabla 6.</b> Población inicial de nematodos promedio general .....	48

## 1. INTRODUCCIÓN

La alimentación a nivel mundial depende directamente de la agricultura ya que esta se encarga de producir y cultivar productos que sirven de alimento para los humanos y animales, es por eso que la agricultura se realiza en todos los países del mundo ya sea en grandes o pequeñas cantidades, ayudando también a la economía de cada país con las exportaciones que realiza de algún producto agrícola. Hay que tomar en cuenta que no todos los productos se pueden cultivar en todos los países, esto porque cada zona tiene diferentes características climáticas influyendo así en los requerimientos que exige cada planta para poder reproducirse de la mejor manera y tener productos de calidad.

Ecuador es un país privilegiado ya que al situarse en la mitad del mundo posee condiciones climáticas y topográficas favorables para que algunos cultivos puedan desarrollarse adecuadamente, uno de los cultivos de mayor demanda exportable es el banano (*Musa x paradisiaca*), influyendo directamente en la economía del país, la producción de esta musácea, ostenta un status destacado en la generación de ingresos y empleo en los lugares donde se cultiva con propósitos comerciales (Fiallos et al., 2022)

La raíz es el órgano de mayor influencia ya que a través de ellas la planta se nutre absorbiendo agua, nutrientes y sales minerales, además, sirve como soporte dando estabilidad al cultivo. Uno de los principales problemas que se presenta en raíces es la presencia de nemátodos, estos la destruyen evitando que la planta pueda desarrollarse adecuadamente. Es por eso que en esta investigación nos hemos propuesto realizar un nematicida orgánico que combata con estos problemas y sea amigable con el medio ambiente ya que no se emplearan químicos, para ello emplearemos la ortiga (*Urtica dioica* L) y las coles de Bruselas (*Brassica oleracea var. gemmifera*) en busca de opciones que nos puedan ayudar a eliminar los nemátodos del suelo en beneficio al desarrollo de las plantas, se analizaron los beneficios de la ortiga cuyo ingrediente activo es el Silicio. La forma asimilable del Silicio para las plantas se encuentra en ácido silícico. Cuando la planta transpira, pierde el agua absorbida junto con el (Si) el cual se cristaliza y se convierte en una barrera de "resistencia mecánica" que protege a la planta contra enfermedades e insectos (Feicán, 2011).

Mientras que las coles por su alto contenido de glucosinolatos. Este libera compuestos biológicamente activos como isotiocianatos, nitrilos y tiocianatos. Estas sustancias tienen

efecto sobre organismos fitopatógenos de origen fúngico y bacteriano, así como sobre diversos tipos de nematodos y otros microorganismos (Mitidieri et al., 2005).

### **1.1. Objetivo general.**

Determinar el efecto de la biofumigación mediante aplicaciones de extractos naturales para el control de nematodos en el suelo de un cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*)

### **1.2. Objetivos específicos.**

- Evaluar las características agronómicas de la planta de banano con la aplicación de tres dosis distintas de extractos naturales.
- Determinar el tratamiento de mayor incidencia en el incremento de raíces y reducción de nematodos.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del banano en el Ecuador

La producción de banano en Ecuador es de vital importancia ya que gracias a esto se logra generar empleo a muchos ecuatorianos y las exportaciones que se realiza ayuda a la economía del país. “Ecuador es el mayor exportador de banano del mundo y su presencia en el comercio mundial va en aumento” (Arias et al., 2004).

Aunque los costos de producción en Ecuador son más altos que los de sus competidores como; Colombia, Costa Rica y Guatemala, la relevancia de Ecuador en el mercado global de banano se sostiene debido a sus ventajas comparativas naturales, que están vinculadas a las condiciones climáticas favorables para una producción constante durante todo el año y una menor vulnerabilidad a plagas y enfermedades (Macaroff et al., 2022).

### 2.2. Clasificación taxonómica del banano

La clasificación taxonómica del banano se establece de la siguiente manera según (Torres, 2017 citado en Pineda & Saul, 2021).

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Zingiberales

**Familia:** Musáceas

**Género:** Musa

**Especie:** Paradisiaca

**Nombre científico:** *Musa x paradisiaca* L.

### **2.3. Morfología de la planta de banano**

La planta de banano es clasificada como una hierba perenne de gran tamaño ya que sus partes aéreas caen al suelo al finalizar el ciclo del cultivo, La razón detrás de su carácter perenne radica en que a partir de la base de la planta emerge un brote conocido como “hijo”, que sustituye a la planta madre y lo que comúnmente se percibe como un tronco en realidad recibe el nombre de “pseudotallo” o “falso tallo” (Vézina & Baena, 2020).

#### **2.3.1. Sistema radicular**

Las plantas de banano poseen dos tipos de raíces: uno primario y otro adventicio, las raíces primarias se originan en la superficie del núcleo central del rizoma, mientras que las secundarias y terciarias se desarrollan en las raíces primarias. Este sistema de raíces tiene la función de absorber y transportar tanto el agua como los nutrientes presentes del suelo hacia la planta (Vézina & Baena, 2020).

#### **2.3.2. Rizoma**

El rizoma es un tallo subterráneo que se extiende de manera horizontal y genera tanto raíces como nuevos brotes. En el caso del banano, el rizoma cumple una función fundamental como reservorio de nutrientes, comúnmente se le denomina cormo (Vézina & Baena, 2020).

#### **2.3.3. Pseudotallo**

Un pseudotallo en una planta de banano es un tipo de tallo que no es genuino. En realidad, consiste en una acumulación de hojas que se superponen una sobre otra. Estos pseudotallos funcionan como estructuras de soportes para las hojas, las inflorescencias y los racimos de frutos (Vézina & Baena, 2020).

#### **2.3.4. Hoja**

Las hojas de la planta de banano son grandes y anchas, pudiendo alcanzar longitudes de hasta 3 metros y un ancho de aproximadamente 60 centímetros. Presentan un color verde oscuro y se desarrollan en un patrón en espiral alrededor del pseudotallo y son las principales responsables de la fotosíntesis (Vézina & Baena, 2020).

### **2.3.5. Inflorescencia**

La inflorescencia es la parte de la planta que genera las flores. Se presenta como una estructura cónica colgante que surge desde el núcleo central del pseudotallo, esta estructura puede albergar una gran cantidad de flores individuales, aunque solo una parte de ellas se desarrollará y se convertirá en fruto (Vézina & Baena, 2020).

### **2.3.6. Racimo**

El racimo es la estructura que mantiene los frutos de banano en su lugar. Se desarrolla a partir de la inflorescencia y tiene la capacidad de llevar entre 50 y 150 frutas individuales. Los racimos de banano suelen ser flácidos y tienden a doblarse debido al peso de la fruta (Vézina & Baena, 2020).

## **2.4. Nematodos parásitos asociados al banano**

El cultivo de banano, abarca la actividad agrícola de mayor relevancia a nivel mundial. Los nematodos son unos gusanos microscópicos causante de las principales limitaciones de la planta estando susceptible a deficiencias y enfermedades ocasionando una baja productividad, por tanto, son una amenaza para la seguridad alimentaria (Chitamba et al., 2013).

Los nematodos logran causar graves daños e incluso la muerte de la planta, viven bajo tierra o en el interior de las plantas, haciendo dificultoso su control. La planta al encontrarse afectada corre el riesgo de ya presentar hongos u bacterias, por ello gran parte de las estrategias son tratamientos previos de la plantación (Krueger et al., 2007).

Con respecto a las frecuencias y densidades poblacionales de nematodos en el Ecuador, menciona Chávez & Araya (2001) que son cuatro géneros de nematodos cuya importancia es significativa dentro del banano en nuestro país, los cuales son: *R. similis*, *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp.

## **2.5. Importancia económica del banano**

El cultivo de banano implica un vital pilar para la socio-economía y seguridad alimentaria del Ecuador; como señala INIAP (2014) generando trabajo a más de un millón de hogares, lo que equivale al 17% de la población que actualmente depende de la industria bananera.

La producción de banano en el país presenta diversas limitaciones tales como sobreproducción, demandas de mercado, bajos precios, etc; otra parte que limita es los

factores bióticos, en primer lugar, se encuentra la Sigatoka negra y en segundo lugar los fitonematodos que reducen el rendimiento de las plantas (Aguirre et al., 2016).

Dentro del grupo de nematodos de raíces, *Radopholus similis* representa el 70% del total, considerado el más abundante o común. En plantaciones donde el control es inadecuado pueden provocar pérdidas de rendimiento que oscilan entre 30-50%, el deterioro del sistema radicular provoca un anclaje deficiente que conlleva el volcamiento de las plantas infectadas (Araya, 2001 citado en Rivas & Rosales, 2004, p.79).

## **2.6. Helicotylenchus spp.**

Se trata de un grupo de nematodos que se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo en todo el mundo. Estos son diminutos que generalmente miden de 0,5 a 1,5 mm de longitud, con cuerpos alargados y enrollados. Son nematodos fitoparásitos, lo que significa que se alimentan de las raíces de las plantas y pueden causar graves daños a los cultivos. Los síntomas de la infección por nematodos del género *Helicotylenchus* comprenden lesiones, decoloración y muerte de las raíces, además de una disminución en el volumen de raíces. También pueden causar una mayor susceptibilidad de la planta a otras enfermedades y estrés ambiental (Neval, 2018).

### **2.6.1. Taxonomía**

La taxonomía de los *Helicotylenchus* según (Parra et al., 2011) es la siguiente:

**Reino:** Animalia

**Filo:** Nematoda

**Clase:** Secernentea

**Orden:** Tylenchida

**Familia:** Hoplolaimidae

**Género:** *Helicotylenchus*

### **2.6.2. Biología y Ciclo de vida**

Los nematodos del género *Helicotylenchus* se caracterizan por tener una forma de cuerpo cónica con una cabeza distintiva y una cola puntiaguda. Presentan una cutícula gruesa y rugosa que les otorga una apariencia arrugada. Estos nematodos poseen un sistema nervioso

sencillo y carecen de sistemas circulatorio y respiratorio. Son parásitos de plantas y se alimentan de las raíces y tejidos vegetales, lo que puede causar daños a las plantas. Los efectos de su presencia pueden manifestarse a través de síntomas como decoloración de las hojas, retraso en el crecimiento, la marchitez y en última instancia la muerte de la planta (Parra et al., 2011).

El ciclo de vida de los *Helicotylenchus* puede variar dependiendo de la especie y las condiciones ambientales, pero en general, sigue un patrón similar al de otros nematodos.

- **Huevo:** El ciclo inicia con la formación de un huevo, que se encuentra en el suelo. Los huevos son depositados por la hembra en una estructura protectora conocida como "masa de huevos" (Parra et al., 2011).
- **Larva:** Una vez los huevos eclosionan, las larvas emergen, las cuales son las etapas juveniles de los nematodos. Estas larvas se nutren de las raíces de las plantas vecinas y continúan desarrollándose, mudando su piel varias ocasiones hasta llegar a la edad adulta (Parra et al., 2011).
- **Adulto:** Una vez que los nematodos llegan a su etapa adulta, tienen la capacidad de reproducirse y generar más huevos. Los adultos tienen una característica forma en espiral y su tamaño varía entre aproximadamente 0,5 y 1,5 mm de longitud (Parra et al., 2011).
- **Muerte:** Los nematodos tienen un tiempo de vida limitada y, con el tiempo, llega a su fin. No obstante, antes de morir, tiene la capacidad de depositar una abundante cantidad de huevos que darán continuidad al ciclo de vida (Parra et al., 2011).

### 2.6.3. Daños y síntomas

*Helicotylenchus* es un género de nematodos que tiene el potencial de causar problemas en los cultivos del banano. Los signos de una infestación de *Helicotylenchus* en las raíces del banano pueden comprender:

- Reducción del crecimiento y vigor de las plantas.
- Amarillamiento y marchitamiento de las hojas.
- Disminución de la producción de frutos.
- Reducción de la calidad de los frutos, con deformaciones y manchas (Parra et al., 2011).

Los nematodos pertenecientes al género *Helicotylenchus* tienen la capacidad de causar daños en las raíces del banano, lo que conduce a una reducción en capacidad de las plantas para absorber nutrientes y agua. Además, estos nematodos también pueden actuar como vectores de enfermedades virales que afectan a las plantas de banano.

## **2.7. *Radopholus similis***

Mestanza (2007) señala que *Radopholus similis* completa su ciclo dentro del tejido radicular y cormos, llamado nematodo endoparásito que migra a través de las plantas hospederas, como el banano y el plátano, entre otras musáceas, para alimentarse principalmente de los fluidos presentes en las células corticales.

### **2.7.1. Taxonomía de *Radopholus similis***

De acuerdo con Thorne, 1949 (como se citó en Liceras-Zárate & Wong, 1964) describe la taxonomía de *Radopholus similis*:

**Clase:** Secernentea (Phasmidia)

**Orden:** Tylenchida

**Familia:** Tylenchidae

**Sub familia:** Pratylenchinae

**Género:** *Radopholus*

**Especie:** *similis*

*Radopholus similis* (Cobb, 1893) (p.19).

### **2.7.2. Biología y ciclo de vida**

Los adultos son vermiformes y miden aproximadamente 1 mm. Las hembras suelen ser más grandes que los machos, sus colas son afiladas y tienen una ligera curva, en las hembras tienden a ser rectas y redondas. En comparación con las hembras, los machos tienen a tener una vida más corta. Al ingresar en la raíz depositan los huevos maduros que eclosionan en respuesta a las condiciones del entorno.

Las hembras colocan de 4 a 5 huevos diarios durante un periodo de dos semanas, estos se desarrollan en cuatro etapas. La primera etapa conocida como J1 ocurre dentro del huevo

y finaliza mudando la cutícula, después de 8 a 10 días presenta la etapa J2 que, junto con las etapas J3 Y J4, también experimenta mudas de cutícula para llegar al estado adulto entre 10 a 15 días. El ciclo de vida completo se desarrolla en el interior de las raíces y cormos entre 20 y 25 días, con una temperatura óptima para la reproducción que oscila entre 25 y 28 °C, destaca la etapa J2 y hembras adultas tienen la capacidad de ser infecciosas y pueden parasitar nuevamente raíces sanas (Adrián & Piedrahita, 2011).

### **2.7.3. Daños y síntomas**

El nematodo entra en la zona final de la raíz conocida como caliptra, allí se nutre del citoplasma y de las células del tejido cortical, desplazándose tanto dentro como entre las células. Logrando causar daño al romper las paredes celulares, creando cavidades o túneles que eventualmente llevan a la necrosis perjudicando extensivamente a la región del parénquima (Wardlaw 1961, Christie 1986 citado en Live, 2009).

Ingresa directamente a las raíces principales, aprovechando su acceso a través de las raíces laterales, siendo esta otra forma de entrada. En condiciones en las que se producen lesiones necróticas significativas, son capaces de alterar la forma cilíndrica de la raíz (Oramas-Nival & Roman, 2006).

La necrosis en el interior de la raíz y el rizoma se agrava debido a la influencia de otros organismos en el suelo, debido a las heridas provocadas por el nematodo, adquieren un tono rojizo y presentan longitudes superiores a los 10 cm, permitiendo el ingreso de microorganismo como bacterias y hongos, entre los más frecuentes se encuentran *Fusarium spp*, *Acremonium stromaticum* y *Cylindrocarpon musae* (Sarah et al., 1996).

Los fitonematodos afectan negativamente la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas causando daños físicos a las raíces. Esto resulta en síntomas como marchitez, amarillamiento y deformación de las hojas, debilitando las plantas reduciendo su capacidad de anclaje, provocando que se incline o caiga, volviéndose más susceptible ante otros agentes patógenos y condiciones ambientales estresantes. Este proceso puede llevar a una disminución significativa en la producción de fruta, lo que tiene un efecto económico significativo en las áreas donde se cultiva (Morales, 2014).

#### **2.7.4. Control químico**

La utilización de productos químicos es una estrategia de manejo ampliamente aplicada, especialmente cuando las practicas agronómicas no son suficientes para controlar el problema causado por los nematodos. A pesar de su alto costo, su aplicación es común en cultivos de alta rentabilidad, en el mercado se encuentran diversas opciones de productos con distinta propiedad, lo que permite elegir aquel que mejor se adapte a las necesidades del cultivo. Existen muchas consecuencias ambientales y sociales sobre estos productos, la contaminación siendo la amenaza principal en los agroecosistemas, deben tomarse medidas de control para no causar el uso indiscriminado de estos productos químicos (Andrés, 2002).

#### **2.7.5. Control biológico**

El control biológico es un método para combatir plagas y enfermedades utilizando organismos o sus componentes, como estructuras o compuestos químicos. Se distingue entre el control biológico, que implica la intervención humana al aumentar la presencia del organismo controlador, y el natural, que ocurre sin intervención humana y es fundamental en sistemas agroecológicos (Rivera-Méndez, 2016).

Tras el aporte de enmiendas orgánicas se aporte a la colonización de microorganismos que inhiben el crecimiento de patógenos u otros microorganismos perjudiciales (Ayuso, 2000). Al incorporar la biofumigación como estrategia de control biológico aumentando la interacción microbiológica en el suelo estimula el crecimiento de las plantas al mejorar su sistema de raíces, su metabolismo y su sistema inmunológico (Velepucha et al., 2022; Rondon et al., 2021).

### **2.8. Biofumigación**

La biofumigación es un método que implica el manejo de patógenos y plagas edáficas, con la incorporación de materia orgánica en el suelo, esto implica la emisión de sustancias, en su mayoría volátiles provenientes de la descomposición y que poseen propiedades pesticidas (Gimsing & Kirkegaard, 2006).

Una de las alternativas en el proceso de la biofumigación se encuentran las especies pertenecientes al género Brassica, contienen niveles significativos de glucosinolatos, contenidos en sus tejidos los cuales pueden generar compuestos volátiles nocivos, como los tiocinatos e isotiocinatos durante su descomposición (Dutta et al., 2019).

El proceso de biofumigación involucra la incorporación de material vegetal en el suelo, seguido de su cobertura generando una elevada temperatura que potencia su impacto en los microorganismos, lo que resulta en la producción de gases tóxicos para patógenos y plagas del suelo. Es una alternativa favorable con el medio ambiente en comparación con los métodos convencionales de control de plagas, como pesticidas sintéticos, ya que no produce residuos tóxicos ni causa daño a cultivos, animales o humanos. Además, puede contribuir a mejorar la calidad y fertilidad del suelo. (Carrasco et al., 2006).

## **2.9. Ortiga (*Urtica baccifera* L)**

El nombre “Urtica” tiene su origen en el término latino “urere”, que denota la acción de quemar o arder, mientras que “baccifera” se refiere a la característica de producir frutos. Es una variedad de planta de la familia de las ortigas que se encuentra ampliamente distribuida en las regiones del centro y sur de América. Era usado por los aztecas para elaborar papel y en la medicina lo usaban como fuente para la curación de curación en artritis, alergias, cuadros reumáticos, además de ser un antiinflamatorio y diurético (Guamán, 2015).

### **2.9.1. Clasificación taxonómica**

La taxonomía de *Urtica baccifera* está definida de la siguiente manera según (Sanabria, 2011).

**Reino:** Plantae

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Urticales

**Familia:** Urticaceae

**Género:** *Urtica*

**Especie:** *Baccifera*

### **2.9.2. Descripción botánica**

*Urtica baccifera* (L) se caracteriza por ser una planta perenne que se presenta en forma de arbusto erecto, con una altura variable de 1,5 a 2,5 m. sus hojas son de disposición alternada y simples, pero están dotadas de pelos urticantes que pueden provocar irritación en la piel. La planta produce flores pequeñas unisexuales que crecen en inflorescencias axilares

y sus frutos son pequeños y tienen una forma similar a drupas o aquenios. Se caracteriza por su textura esponjosa, su contenido elevado de hidratos de proteínas y carbono, conocida coloquialmente como ortiga (Guamán, 2015).

### **2.9.3. Composición química**

La ortiga es una planta que contiene una cantidad significativa de ácido metanoico o ácido fórmico. El follaje de esta planta es rico en elementos minerales, destacando entre ellos el Fe, Si, K, Mn y el Cl. Además, en los pelos de esta especie se encuentran presentes la acetilcolina y la histamina. El Si es un elemento de gran importancia debido a los roles que desempeña tanto en el suelo como en la propia planta (Feicán, 2011).

### **2.9.4. Efecto nematicida en la planta**

La ortiga (*Urtica baccifera* L.) contiene un alto porcentaje de Silicio. La forma asimilable del Silicio para las plantas se encuentra en ácido silícico. Cuando la planta transpira, pierde el agua absorbida junto con el (Si) el cual se cristaliza y se convierte en una barrera de "resistencia mecánica" que protege a la planta contra enfermedades e insectos (Feicán, 2011).

Gracias a los componentes antimicrobianos extraídos de las raíces y el follaje de la ortiga con efectos inhibitorios, puede tener el potencial de ser considerado como un nematicida natural candidato para la integración potencial en el control de los nematodos parásitos de las plantas (Nasiri et al., 2014).

## **2.10. Col de brúcelas**

La col de Bruselas *Brassica oleraceae* L. Gemmifera son plantas anuales que se desarrollan en forma de arbustos erguidos, con altura que oscilan entre 60 cm y 1m, varía dependiendo de la variedad y las condiciones del cultivo. Presentan hojas lobuladas dispuestas de manera alterna a lo largo del tallo principal, caracterizadas por su color verde oscuro y textura rugosa. La parte de interés son las pequeñas coles, que surgen en las axilas de las hojas en el tallo principal, son redondas y compactas, con un diámetro entre 2.5 y 4 cm, suelen agruparse en racimos. Las flores son pequeñas unisexuales, dispuestas en inflorescencias axilares a lo largo del tallo (Zamora, 2016, p.1).

### **2.10.1. Taxonomía**

Según Ospina (1995), citado en (Maldonado, 2009) su taxonomía es:

**Reino:** Vegetal

**Clase:** Magnoliopsida

**Sub clase:** Dilleniidae

**Orden:** Capparales

**Familia:** Brassicaceae

**Género:** Brassica

**Especie:** *Brassica oleracea* L.

**Variedad:** Gemmifera

**Nombres comunes:** Col de Bruselas, Repollitos de Bruselas.

### **2.10.2. Glucosinolatos**

Los glucosinolatos son compuestos que se encuentran en ciertas plantas crucíferas, como la coliflor, el brócoli y la mostaza. Estos compuestos son conocidos por su actividad nematocida, es decir, su capacidad para matar o repeler nematodos, se debe a su capacidad para liberar isotiocianatos cuando se hidrolizan en presencia de la enzima mirosinasa. Los isotiocianatos son compuestos altamente reactivos que pueden dañar las estructuras celulares de los nematodos y afectar su capacidad para alimentarse y reproducirse.

Varios estudios han demostrado la eficacia de los glucosinolatos como agentes nematocidas en diferentes cultivos, incluyendo tomates, patatas, zanahorias y fresas. Sin embargo, es importante destacar que la actividad nematocida de los glucosinolatos puede verse afectada por varios factores, tales como la concentración de compuestos activos en la planta, la especie y la edad de los nematodos, y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se requieren más investigaciones para comprender completamente los mecanismos detrás de la actividad nematocida de los glucosinolatos y optimizar su uso en la agricultura (Pérez, 2014).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del ensayo

El presente trabajo de investigación se realizó en un área determinada de banano en la granja “Santa Inés” perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, localizada a 5,5 km de la vía Machala - Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro (Figura 1).

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

Longitud: 79° 54' 05" W.

Latitud: 03° 17' 16" S.

Altitud: 6msnm.

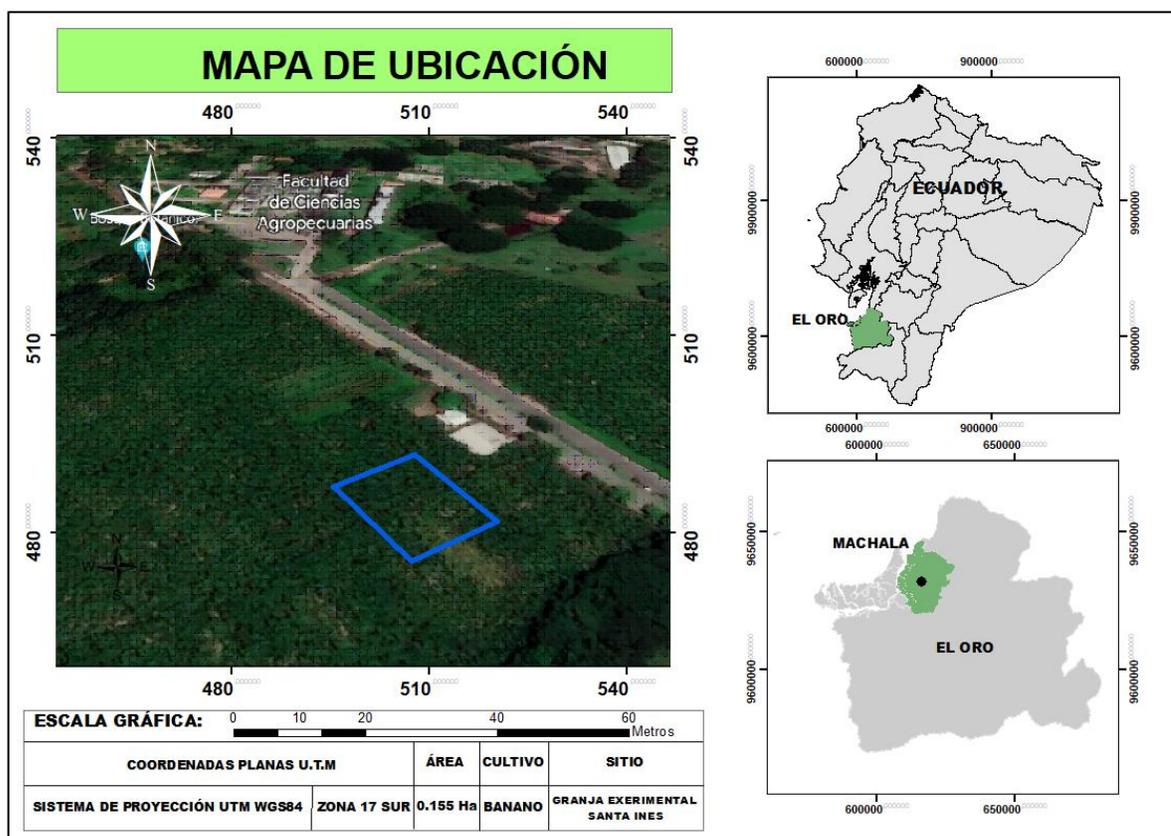


Figura 1. Ubicación geográfica del predio de estudio.

##### 3.1.2. Características de la zona

En el área de estudio en base a los registros del INAMHI y con respecto a la zona de vida natural de Holdridge y de acuerdo al mapa ecológico del Ecuador, muestra condiciones

agroclimáticas con una temperatura media de 25 °C, con precipitación de 500 mm, resultando con 2 o 3 horas de heliofanía diaria, lo que establece al sitio un bosque muy seco – tropical.

### 3.2. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos incluido el testigo para un total de 40 unidades muestrales, la unidad experimental estuvo compuesta por parcelas de 50 m de largo y 7 m de ancho, cada una con 10 plantas, dando un total del área de 0.155 ha.

### 3.3. Tratamientos

El área total del diseño experimental fue de 0.15 ha donde se establecieron cuatro tratamientos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos aplicados a la investigación.

Tratamientos	Dosis Por planta	Contenido del tratamiento	Abreviatura
T0	0 g	TESTIGO	T0 (OC0g)
T1	10 g	Hojas de ortiga molida (5g) + Picado de col de bruselas (5g)	T1 (OC10g)
T2	20 g	Hojas de ortiga molida (10g) + Picado de col de bruselas (10g)	T2 (OC20g)
T3	30 g	Hojas de ortiga molida (15g) + Picado de col de bruselas (15g)	T3 (OC30g)

**Fuente:** Autor.

### **3.4. Materiales y equipos**

#### **3.4.1. Materiales**

- Marcadores
- Estacas
- Cinta de color morado
- Marcador
- Lápiz
- Cinta métrica
- Libreta de apuntes
- Hércules
- Pala
- Fundas
- Bandejas

#### **3.4.2. Equipos**

- GPS
- Balanza gramera
- Picadora
- Software SPSS

### **3.5. Metodología**

El área de estudio fue de 1550 m<sup>2</sup>, distribuida en 4 parcelas para cada tratamiento, de las cuales fueron seleccionadas 40 plantas al azar de tres metros de altura, con seis hojas funcionales y un hijo de más de 30 cm. Establecida la planta madre se marcó la hoja al inicio del ensayo de acuerdo a los tratamientos establecidos para su evaluación, semanalmente se obtuvieron datos de las variables a evaluar. Para la investigación se realizó análisis

nematológico en dos laboratorios en Quito y Duran, mientras para el porcentaje radicular se realizó muestreo y conteo en campo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

### 3.5.1. Preparación y aplicación de los tratamientos

Se extrajo gran cantidad de hojas de ortiga de diferentes bananeras del cantón del Guabo, para las coles de Bruselas se compró paquetes de 400 g del Bio Huerto Karintia orgánico. Se procedió con el secado de las hojas de ortiga dentro de un cuarto cerrado, transcurrido el tiempo necesario se molieron con molino eléctrico, tamizando lo recolectado y finalmente ubicar en fundas herméticas. Se trocearon las coles de Bruselas en pequeñas partes, respectivamente el peso requerido para cada tratamiento (tabla1) agrupando la ortiga y la col en fundas herméticas señalizada (Figura 2).



**Figura 2.** Preparación, picado y molido de ortiga y coles de Bruselas.

Utilizando un instrumento "hércules" se roturo el suelo a una profundidad de 30cm sin causar perturbación excesiva en el suelo circundante en forma de media luna, con el fin de facilitar la incorporación de las enmiendas (Torres et al., 2019), (figura 3) luego se cubrió con material vegetal de la plantación "mulch", con el fin de aprovechar la energía solar y confinar los gases dentro del suelo durante la descomposición (Carrasco J. et al., 2020)



**Figura 3.** Aplicación por tratamiento.

### 3.5.2. Muestreo

El muestro de raíces fueron tomadas de tres plantas al azar por tratamiento entre la planta madre y el hijo de sucesión a una distancia de 25 cm, se excavaron hoyos de 30 cm x 30 cm con profundidad 30 cm (figura 4), se extrajo el suelo junto con las raíces y se guardan en bolsas de plástico identificando la muestra (Triviño Gilces et al., 2013). Posteriormente fueron lavadas, secadas con papel absorbente y separadas, vivas (color blanco sin signos de daño por insecto), muertas (necrosadas, rojizas el interior) y enfermas (podridas). Cada categoría se pesó por separado, luego sumando todas las raíces para calcular el porcentaje de raíces sanas (López Aguilar et al., 2022).



**Figura 4.** Muestreo de raíces.

El análisis nematológico fue realizado en el laboratorio Agrobiolab Cía. Ltda. y Anemagro S.a., utilizando el muestreo tomado frente del hijo de sucesión y extracción de raíces para análisis de nematodos (Triviño et al., 2013), dependiendo de la cantidad de raíces encontradas en el hoyo se enviaron directamente del campo al laboratorio (Anexo 1), depositado en fundas plásticas selladas con identificación (Aguilar et al., 2022), un peso aproximado de 500g (2 lb), Fueron tomadas al inicio, medio y final de la investigación, cada muestra estuvo conformada por 3 submuestras, donde se identificaron las especies de nematodos por 100 g de raíces.

### **3.6. Variables a evaluar**

- 1) Número de hojas: (NH)
- 2) Diámetro del fuste: (FS)
- 3) Altura del hijo hasta la parición: (AHP)
- 4) Peso del racimo: (PR)
- 5) Número de manos: (NM)
- 6) Población de nematodos en tres etapas
- 7) Porcentaje de raíces vivas, muertas y enfermas

#### **3.6.1. Número de hojas**

Corresponde al número total de hojas emitidas de la planta madre desde el inicio de la investigación, hasta el día de su parición (Figura 5).



**Figura 5.** Conteo de hojas.

### **3.6.2. Diámetro del fuste**

Medición del fuste de la planta fue tomada con una cinta métrica a la altura de 1,50 m realizando la toma de datos semanal en metros (Figura 6).



**Figura 6.** Diámetro del fuste.

### 3.6.3. Altura del hijo hasta la parición

Es el crecimiento desde la selección del retorno hasta la aparición de la planta madre, las medidas fueron tomadas con un flexómetro desde la base de la planta hasta la intersección de la vaina de las primeras hojas expresado en metros (Figura 7).



**Figura 7.** Altura de hijo hasta la parición

### 3.6.4. Peso del racimo

La variable se la tomo al momento de la cosecha a cinco racimos al azar por tratamiento, registrando su peso en lb con una balanza (Figura 8).



**Figura 8.** Peso del racimo.

### 3.6.5. Número de manos

Se contabilizo el número de manos al momento de la cosecha, de cinco racimos al azar por tratamiento (Figura 9).



**Figura 9.** Número de manos.

### 3.6.6. Población de nematodos

Se realizo el muestreo en tres etapas que duro la investigación, etapa inicial, media y final, mediante análisis nematológico de laboratorio para obtener la variación de la población de nematodos en las tres etapas (Figura 10).



**Figura 10.** Muestreo para nematodos.

### 3.6.7. Porcentaje de raíces vivas, muertas y enfermas

Es la cantidad de raíces expresada en gramos, se lo realizó en tres plantas al azar por cada tratamiento, luego ser separadas en tres grupos, vivas, muertas y enfermas obteniendo su peso y porcentaje de cada uno (Figura 11). El porcentaje de cada muestra se las presentaran en los resultados.



**Figura 11.** Porcentaje de raíces.

### 3.7. Modelo matemático

(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008) señalaron el siguiente modelo matemático, empleado para este análisis:

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

Con  $i$  que va desde 1 hasta el número total de tratamientos.

Con  $j$  que va desde 1 hasta el número total de observaciones.

Donde:

$Y_{ij}$ : Observación obtenida en el  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima réplica en la UE (VD estudiada).

$\mu$ : Media general de la variable respuesta (gran media).

$\tau_i$ : Indica el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento, es decir, es el efecto de los niveles o versiones del factor en estudio.

$e_{ij}$ : Error experimental asociado, o sea, la desviación en el  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima réplica (error aleatorio asociado a la respuesta  $Y_{ij}$ ). Es la parte de la variable  $Y_{ij}$  no explicada ni por  $\mu$  ni por  $\alpha_i$ .

### **3.8. Hipótesis**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los tratamientos a usarse no tendrán un cambio significativo en comparación del testigo ( $T_0$ ) en el sistema radicular y rendimiento de las plantas en el diseño experimental.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Al menos dos de los tratamientos ( $T_2$  y  $T_3$ ) causaran un cambio significativo en el sistema radicular y rendimiento de las plantas cultivadas el diseño experimental.

## 4. RESULTADO Y DISCUSIONES

### 4.1. ANOVA de las variables

Se efectuó un ANOVA, para contrastar la eficiencia entre los tratamientos para la variable Altura de hijo hasta la parición (AHP), Numero de hojas (NH) y Diámetro del fuste (FS), (Tabla 2), donde se encontraron diferencias significativas en al menos dos de las variables, ya que el p-valor en la prueba fue menor que el nivel de significancia alfa establecido previamente (0,05).

**Tabla 2.** ANOVA de un factor características biométricas.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
AHP (m)	Entre grupos	0,197	3	0,066	3,397	0,028
	Dentro de grupos	0,696	36	0,019		
	Total	0,894	39			
FS (m)	Entre grupos	0,009	3	0,003	2,930	0,047
	Dentro de grupos	0,037	36	0,001		
	Total	0,046	39			
NH	Entre grupos	9,100	3	3,033	0,935	0,434
	Dentro de grupos	116,800	36	3,244		
	Total	125,900	39			

Se observaron diferencias significativas en AHP y FS entre al menos un par de grupos, indicando variaciones estadísticamente notables, donde la hipótesis alternativa fue aceptada, debido a que la lectura del p-valor de la prueba presentó el menor al nivel de significancia alfa predefinido. No obstante, en cuanto al NH no se observan diferencias significativas entre los grupos estudiados.

Con una confiabilidad en la estimación de un 95% se concluyó que al menos una de la media de las variables AHP, FS indujeron cambios significativos. Es así como se demostró estadísticamente que los tratamientos T2 y T3 pueden influir positivamente en el sistema radicular y el rendimiento de las plantas, mientras que el NH sugiere que los tratamientos no tuvieron un impacto significativo en esta variable y se mantiene homogéneo en relación con las diferencias en los grupos analizados.

#### 4.2. Prueba T de Dunnett bilateral

El resultado del análisis de comparaciones múltiples utilizando la prueba T de Dunnett bilateral. Estas pruebas se aplicaron para contrastar las medias de tres grupos distintos (T1, T2 y T3) comparando con un grupo control (T0) (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008); en relación a tres variables específicas altura de hijo hasta la parición (AHP), número de hojas (NH) y diámetro del fuste (FS).

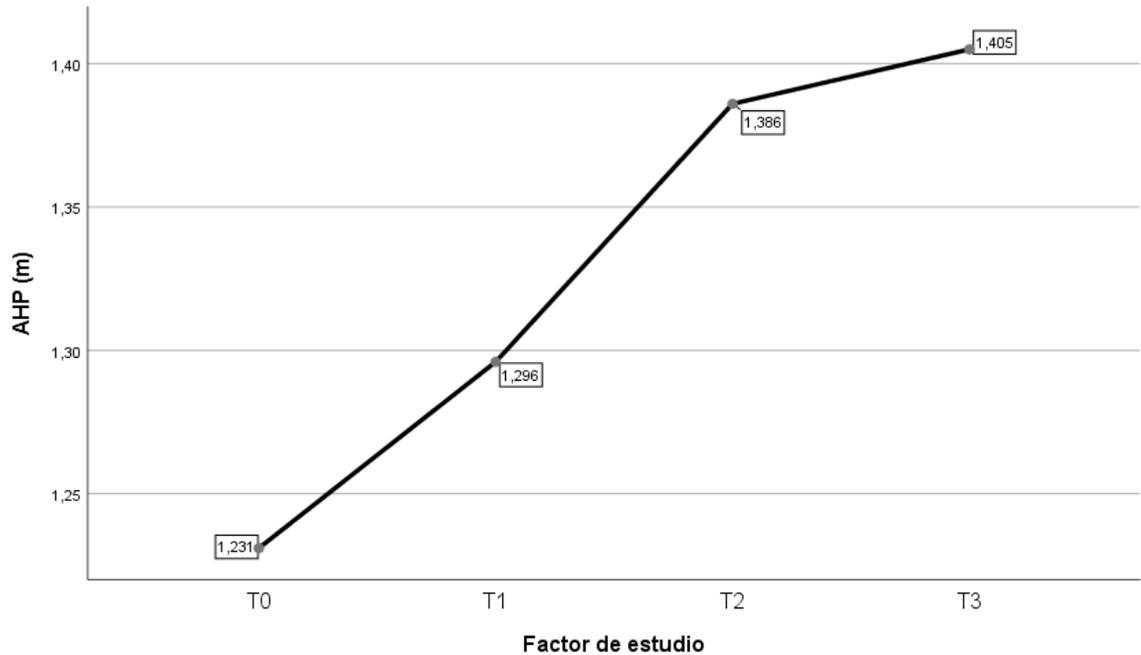
#### 4.3. Altura de hijo hasta parición

En relación a la variable altura de hijo hasta parición (AHP), (Tabla 3) los tratamientos se compararon con un grupo control T0; destacando el T2 y T3 que reflejaron un p-valor de 0,046 y 0,022 lo cual es menor a 0,05; indicando variaciones estadísticamente significativas en el crecimiento del hijo entre estos grupos. Contrariamente, en el T1 no se observaron diferencias significativas entre el grupo control, ya que el p-valor correspondiente fue 0,598 superando el umbral de 0.05.

**Tabla 3.** Altura de hijo hasta parición T de Dunnett (bilateral)<sup>a</sup>

Variable	Factor de estudio (I)	Grupo control (J)	Diferencias de medias	Sig.
AHP (m)	T1	T0	,06500	,598
	T2	T0	,15500*	,046
	T3	T0	,17400*	,022
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.				
a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.				

En la (Figura 12), en la variable AHP se evidenció que, la media de estos tratamientos varió en cuanto a la distribución de los datos en comparación del grupo control T0. Específicamente, las medias de altura más alta fueron T3 con 1.41m y T2 con 1,39 m, seguido por T1 con 1,30m representando datos homogéneos con el grupo control T0, el cual registró altura media de 1,23 m. Se puede afirmar que los tratamientos ejercieron una influencia significativa en la altura del hijo, resultado que indica que la aplicación de enmiendas orgánicas como parte de la biofumigación aportan en el crecimiento del hijo de manera eficiente, concordando con lo expresado por (Niola et al., 2021), quien demostró que la aplicación de enmiendas orgánicas en banano produce un incremento de altura en las plantas.



**Figura 11.** Media de altura de hijo hasta parición.

**Fuente:** El autor.

#### 4.4. Diámetro del fuste.

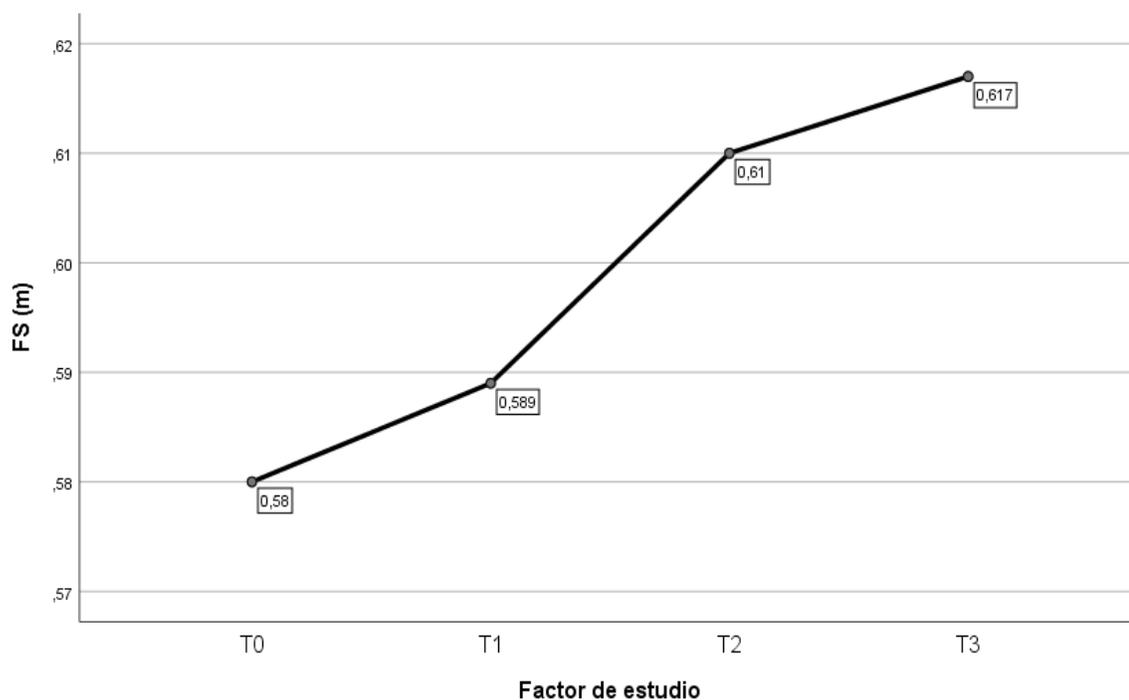
En cuanto a la variable diámetro del fuste (FS), (Tabla 4) los tratamientos se compararon con un grupo control T0, únicamente el T3 muestran un p-valor de 0,037 que difiere significativamente del grupo control T0; mientras que los grupos T1 y T2 entre el T0 no son estadísticamente significativas, presentando homogeneidad entre sí.

**Tabla 4.** Diámetro del Fuste T de Dunnett (bilateral)<sup>a</sup>

Variable	Factor de estudio (I)	Grupo control (J)	Diferencias de medias	Sig.
FS (m)	T1	T0	,00900	,866
	T2	T0	,03000	,109
	T3	T0	,03700*	,037
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.				
a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.				

Los datos evidencian que la media más alta para diámetro del fuste (Figura 12) fue el T3 con 0,617 m, seguido por el T2 con 0,61m, valores muy similares; consecutivamente T1 con diámetro 0,589 m, y el grupo control T0 con 0,58m. Se pudo indicar con respecto a las

medias, las mejores interacciones para el incremento de la circunferencia del pseudotallo, son atribuibles al mayor contenido de enmiendas orgánicas que corresponde al T3 y la dosis (OC30g) en comparación del T0 quien presentó el menor incremento; corroborando los resultados de Santos (2021) quien demostró el efecto positivo de enmienda orgánica al obtener un incremento significativo en el fuste de la planta.



**Figura 12.** Media de diámetro del fuste.

**Fuente:** El autor.

#### 4.5. Número de hojas

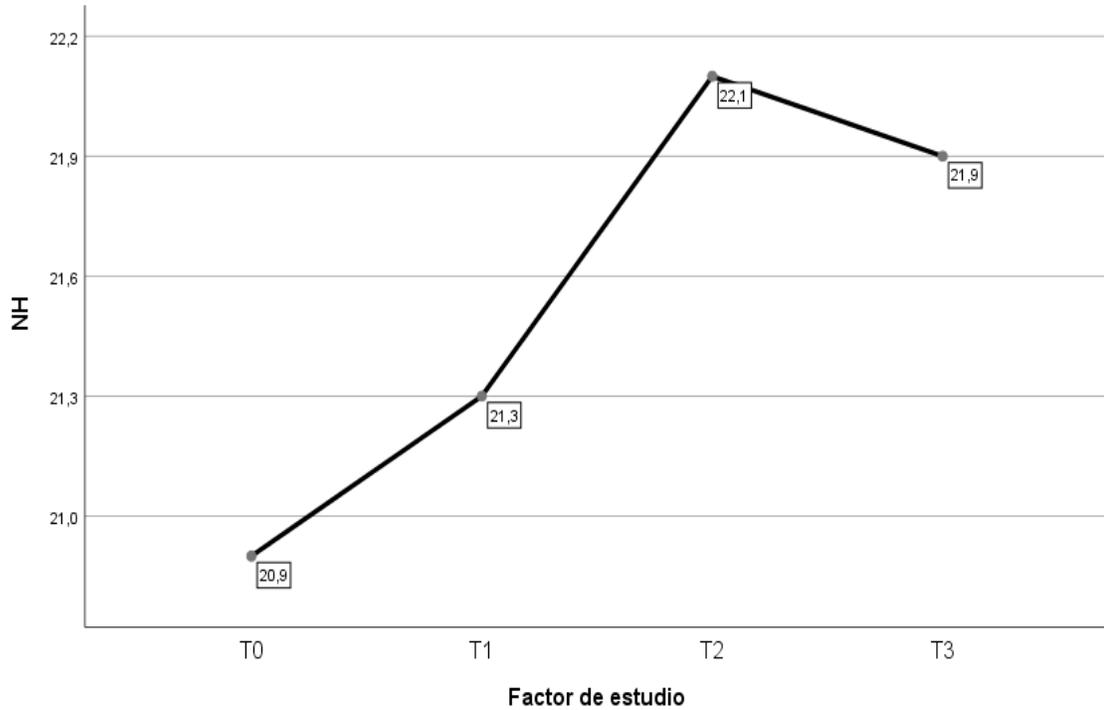
En relación a la variable número de hojas, los resultados revelaron que no existen diferencias estadísticamente significativas en el NH entre ninguno de los grupos, dado que todos los valores de p(Sig.) superan el umbral de significancia establecido al 0.05. Por lo tanto, en términos de esta variable, no se pudo demostrar ninguna disparidad estadísticamente relevante entre los grupos analizados en contraste con el grupo control T0.

**Tabla 5.** Número de hojas T de Dunnett (bilateral)<sup>a</sup>

Variable	Factor de estudio (I)	Grupo control (J)	Diferencias de medias	Sig.
NH	T1	T0	,400	,926
	T2	T0	1,200	,325
	T3	T0	1,000	,468
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.				
a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.				

La media del número de hojas (Figura 13) no se ve influenciado por los tratamientos, esto indica que la diferencia en el número de hojas entre los diferentes tratamientos es mínima, con solo una hoja de diferencia entre ellos. El T2 exhibió una media de 22.1 hojas, seguido por el T3 con 21.9 hojas, mientras que el T1 muestra un valor de 21.3 hojas en comparación del grupo control T0 que registró 20.9 hojas. Estos resultados sugieren que no existen diferencias estadísticamente significativas en el NH entre los diferentes tratamientos; resultados similares presentó Velepucha et al., (2022), tras la incorporación de harinas orgánicas no evidenciaron diferencias en el número de hojas.

Es crucial destacar que los tratamientos de la variable NH exhibieron similitudes con el T0. No obstante, es relevante considerar que estos resultados podrían haber sido influenciados por un factor no controlado, la fumigación para la Sigatoka negra. Esta circunstancia posiblemente perturbo los efectos de los tratamientos, como lo ha corroborado Azurero et al., (2020) quien llegó a una conclusión similar en su investigación tras presentar el número de hojas similar a las plantas testigo.

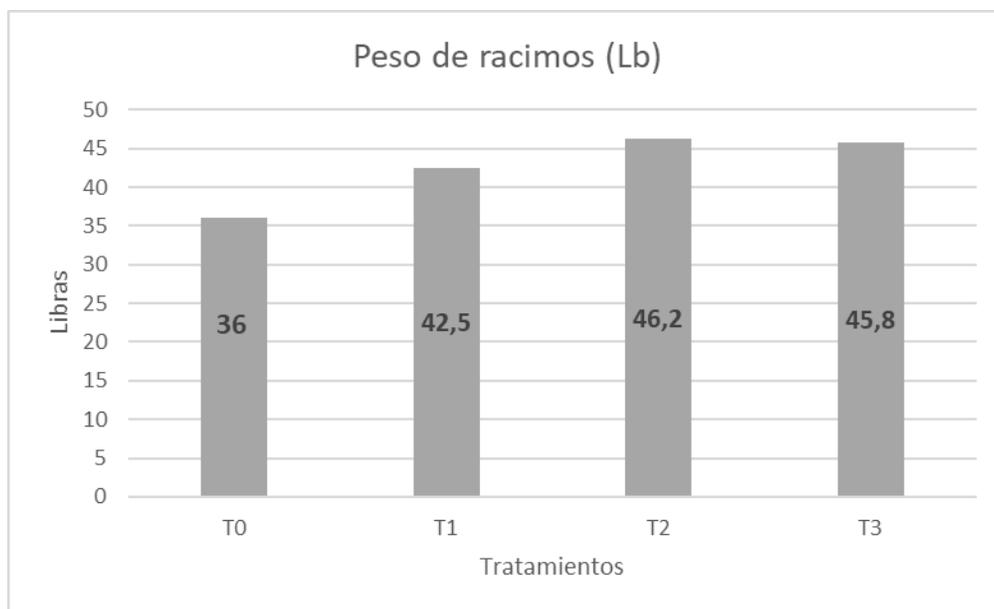


**Figura 13.** Media del número de hojas.

**Fuente:** El autor.

#### **4.6. Peso del racimo**

En la figura 14 en relación a la variable de peso de racimo (PR), se observó que en los tratamientos T2 y T3 exhiben el mayor rendimiento en términos de PR, con un promedio de 46,2 libras en el T2 y 45,8 libras en el T3. Por otro lado, el T1 registró un peso del racimo de 42,5 libras, menor que los dos tratamientos anteriores, mientras que el tratamiento control T0 muestra el peso más bajo, alcanzando las 36 libras, siendo este último el tratamiento que no recibió ninguna intervención. El T2 registro el mayor aumento con un 28.33% en comparación del T0. Esto contrasta con los hallazgos de Velepucha et al., (2022), quienes lograron un promedio de 61,3 al emplear microorganismos eficientes y harinas orgánicas como parte de su tratamiento.



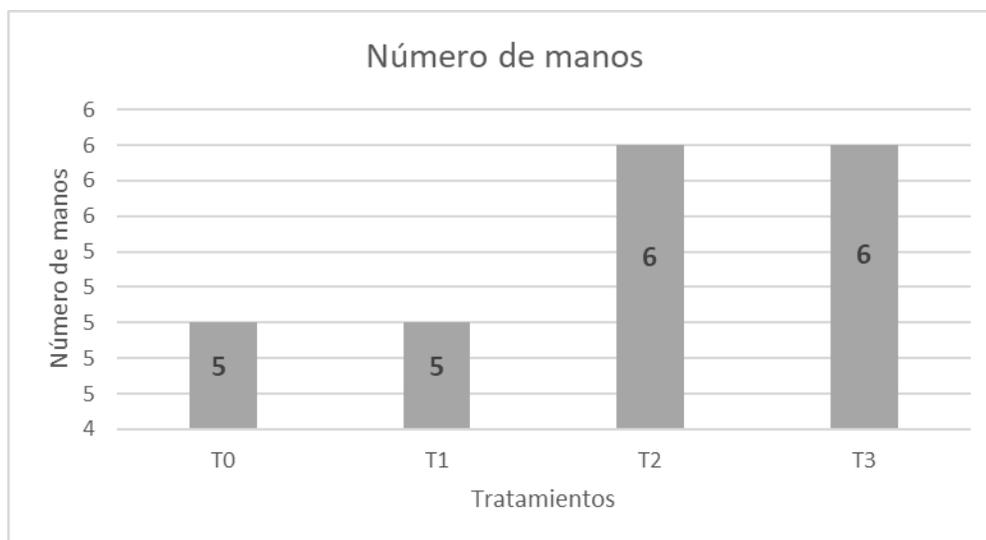
**Figura 14.** Promedio peso de racimos.

**Fuente:** El autor.

#### 4.7. Número de manos

En cuanto a los resultados del número de manos demostrados en la figura 15, señala que en los tratamientos T0 y T1 existe un promedio de 5 manos por racimo. Por otro lado, en los tratamientos T2 y T3 se registró un promedio de 6 manos por racimo, lo que sugiere que, en comparación con los tratamientos T0 y T1, los racimos en estos tratamientos exhiben una mano adicional. La diferencia de una mano por racimo entre los grupos de tratamientos puede ser importante desde el punto de vista de la comercialización.

Según Julca et al., (2020), han demostrado que la incorporación de enmiendas orgánicas constituye una estrategia eficaz para potenciar el rendimiento en los cultivos de banano, esto reduce el uso excesivo de fertilizantes químicos. En este contexto coincidimos que la biofumigación conlleva un aumento en la producción, manifestado en un incremento notorio tanto en peso de racimos como en número de manos.



**Figura 15.** Promedio número de manos.

**Fuente:** El autor.

#### **4.8. Porcentaje de raíces vivas**

En la figura 16, se ilustran los porcentajes de los tratamientos correspondientes a la cantidad de raíces vivas evaluadas hasta los 90 días, con un intervalo de muestreo de 30 días, después de la aplicación en todos los tratamientos. De acuerdo a los resultados obtenidos en la fase inicial, se destaca que el T2 exhibió el mayor índice de raíces vivas, alcanzando un valor del 64,99%, con una diferencia mínima al T3 que obtuvo el 64,39%, mientras que el T1 que fue el tratamiento con menor dosis de aplicación alcanzó el 60,55% en comparación al T0 que reflejó un 44,20%. De acuerdo a estos datos se pudo observar que desde los primeros días de las aplicaciones existió un incremento de calidad.

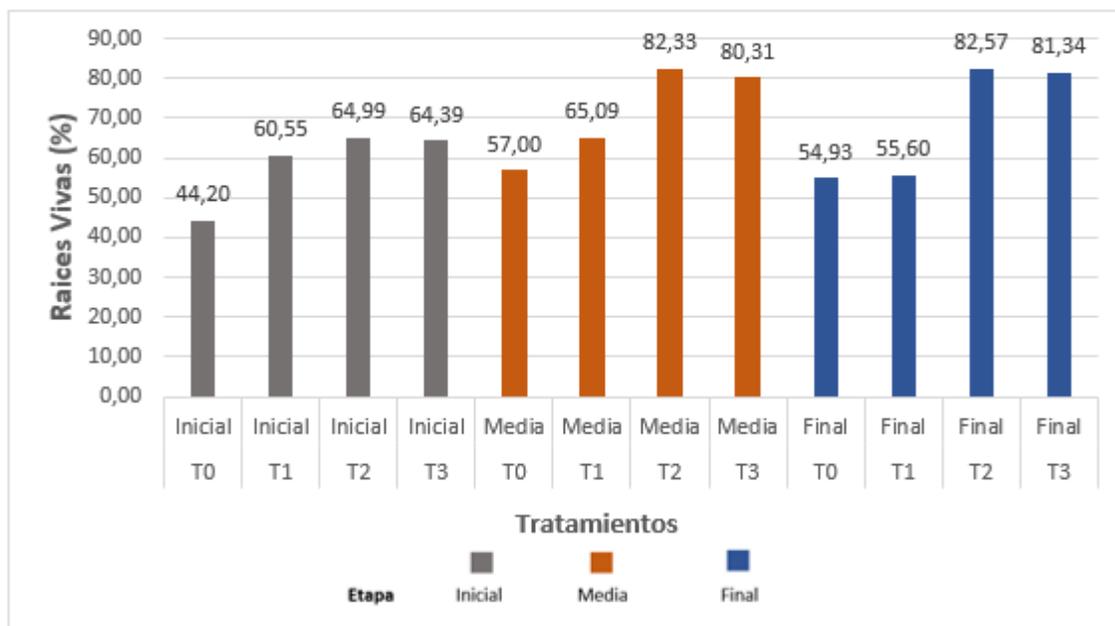
En el segundo muestreo realizado a los 60 días, correspondiente a la etapa media de la investigación se registró un incremento de raíces vivas, liderando el T2 con 82,33% seguido del T3 con 80,31%, mientras que el T1 registró un valor de 65,09%. Por su parte el T0 que funciona como grupo control, mantuvo el menor porcentaje, aunque experimentó un notable incremento en comparación con la fase inicial, llegando al 57% de raíces vivas.

En la etapa final (90 días) de las aplicaciones de la biofumigación, se observó un incremento leve en el porcentaje de raíces vivas, liderando como desde un principio el T2 donde en esta fase alcanzó el 82,57% acompañado del T3 con 81,34%. Sin embargo, el T1 experimentó una disminución en comparación con la fase media alcanzando el 55,60% de raíces vivas,

mientras que el T0 disminuyó nuevamente en esta etapa llegando a 54,93%. Se destaca que no existió una diferencia de gran relevancia entre la fase media y final en cuanto a los tratamientos de mayor índice (T2 y T3).

En el desenlace de la investigación, se observaron niveles superiores de raíces viables en los tratamientos T2 y T3, siendo superior al grupo control T0. Se destaca al T2 como el tratamiento con mayor porcentaje de raíces vivas, ya que, comparado con el T0, obtuvo un incremento del 38,37% desde el inicio hasta la conclusión de la fase experimental. Estos hallazgos evidencian que todos los tratamientos de estudio superan en términos de porcentaje al grupo control T0, lo que nos indica que la aplicación de enmiendas orgánicas contribuye significativamente al desarrollo adecuado de raíces.

Tuz (2018), indica en su investigación que el uso de enmiendas orgánicas produce un efecto estimulante en las plantas, debido a que contribuye al estado fitosanitario del sistema radicular. Como se puede apreciar en los resultados obtenidos, los tratamientos que se sometieron a la biofumiación poseen valores significativamente superiores en comparación con el grupo testigo.



**Figura 16.** Porcentaje raíces vivas.

**Fuente:** *El autor.*

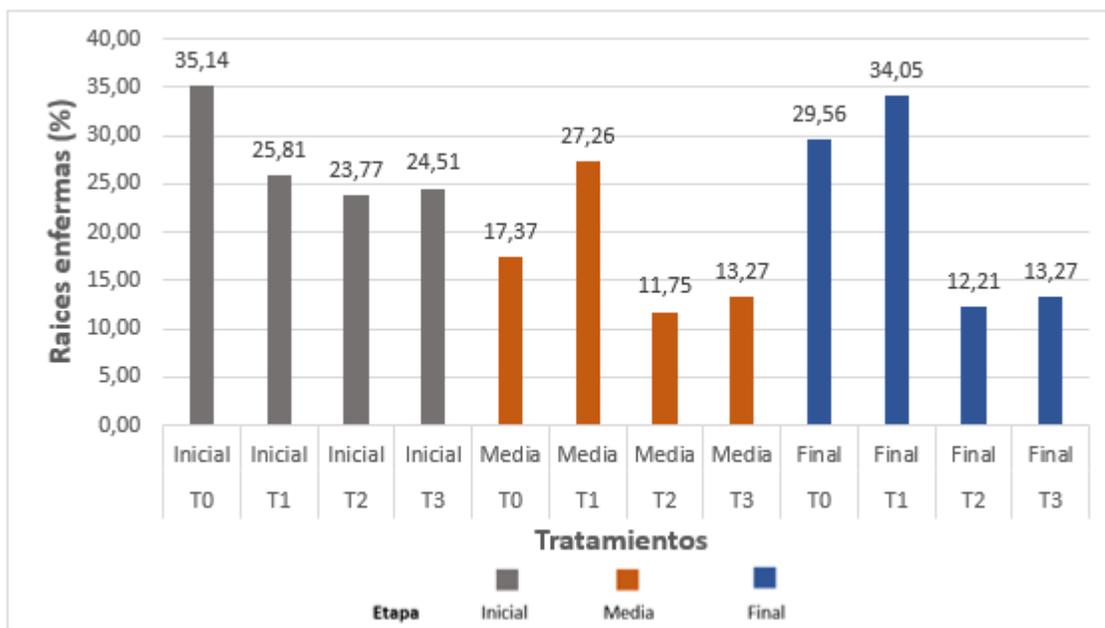
#### **4.9. Porcentaje de raíces enfermas**

En la figura 17 se reflejan los resultados obtenidos de raíces enfermas durante todo el periodo de la investigación, segmentando en tres etapas, cada una con una duración de 30 días. En la fase inicial se observó que en el T0 el porcentaje de raíces infectadas fue del 35,14%, el T1 con 25,81%, el T2 con 23,77% siendo este el de menor alcance en esta fase y el T3 con 24,51% de raíces con afectaciones por nematodos. Estos datos indican que el producto aplicado tiene un impacto en la calidad de raíces, evidenciándose una disminución de raíces enfermas.

En la segunda fase de la investigación, los resultados demuestran una diferencia significativa en comparación con los datos iniciales. El tratamiento control T0 experimentó una disminución alcanzando un 17,37%, mientras que el T1 fue el único tratamiento que aumentó, llegando a 27,26%. Por otro lado, los tratamientos que presentaron mayores diferencias fueron el T2 con el 11,75% y el T3 con el 13,27% de raíces enfermas. Los datos en esta fase reflejaron los niveles mas bajos en cuanto a porcentaje de raíces en mal estado.

Los resultados de los muestreos realizados después de la última aplicación a los 90 días, es decir, en la fase final, reflejaron un incremento en todos los tratamientos, destacando el T1 que alcanzo el 34,05%, superando al grupo control T0 quien obtuvo un 29,56%, mientras tanto el T2 registró un 12,21%, siendo este un resultado mayor al de la fase anterior. Por otro lado, el T3 se mantuvo con el 13,27% indicando que en este periodo existieron diferencias desfavorables, esto debido a que durante esta etapa de la investigación, la plantacion experimentó una deficiencia de agua, lo que resultó en estrés hídrico y afectó a la calidad de las raíces.

Al finalizar las tres etapas de estudio, se evidenció que la reducción más significativa en la presencia de raíces enfermas alcanzó un valor de 23,39%, este resultado indica que la aplicación de la técnica de biofumigación tiene efectos benéficos en la mejora del sistema radicular, ya que es una enmienda orgánica, lo cual ratifica con lo anteriormente mencionado por (Tuz, 2018).



**Figura 17.** Porcentaje raíces enfermas.

**Fuente:** *El autor.*

#### 4.10. Porcentaje de raíces muertas

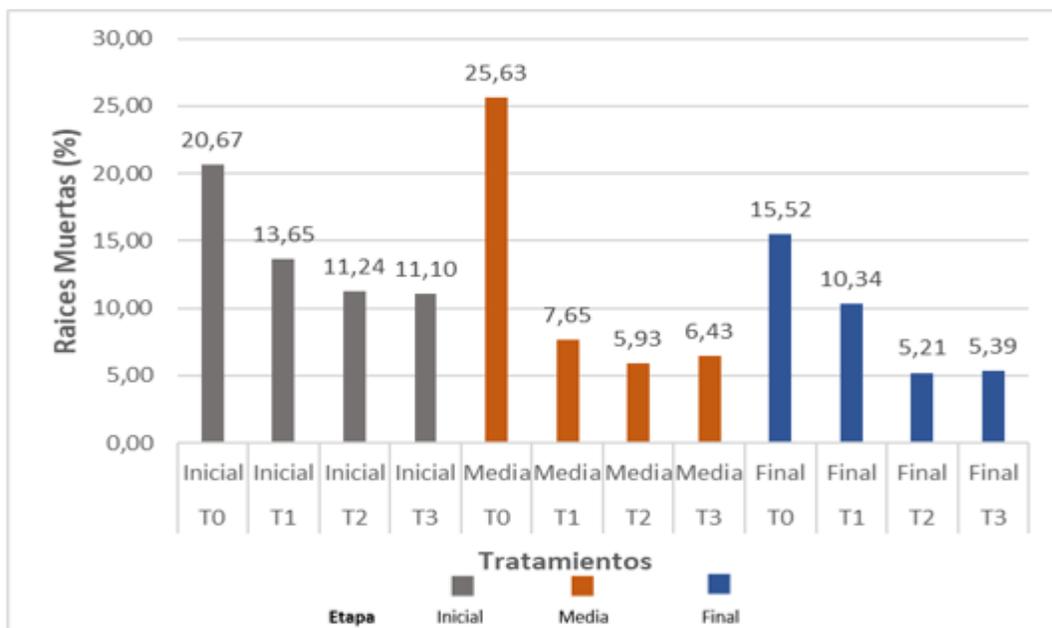
La figura 18 se demuestran los resultados obtenidos en porcentaje de raíces muertas evaluados a lo largo de las tres etapas de esta investigación las cuales fueron explicadas anteriormente. En la fase inicial, se destaca al tratamiento testigo T0 con el nivel mas alto de raíces muertas alcanzando el 20,67% seguido del T1 con 13,65% y el T2 con el 11,24%, notablemente con una diferencia mínima respecto al T2, el T3 alcanzó el 11,10%, siendo estos dos ultimos tratamientos los que presentan el menor porcentaje de raíces inactivas.

El segundo muestreo realizado en la etapa media de la investigación, es decir, despues de la segunda aplicación a los 60 días, hubo un aumento en el porcentaje de raíces muertas ilustradas en el T0 alcanzando el 25,63% pero hubo una disminución en los demas tratamientos de estudio, demostrando un 7,65% en el T1, 5,93% en el T2 siendo este el porcentaje mas bajo alcanzado en esta etapa y con el 6,43% el T3. En esta fase se observaron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos estudiados en lo que corresponde a la cantidad de raíces muertas.

El tercer muestreo que se realizó luego de biofumigar a los 90 días, corresponden a la etapa final de la investigación, en el cual reflejaron los siguientes resultados; El T0 indica una

disminución del porcentaje de raíces muertas en comparación con las dos etapas anteriores, exhibiendo el 15,52%, mientras que el T2 continua disminuyendo llegado a 5,21% y el T3 con 5,39%. Por otro lado el T1 es el unico tratamiento que experimenta un aumento en esta fase, alcanzando un 10,34% de raíces no viables.

Al concluir las tres etapas de estudio, se pudo evidenciar que los niveles de raíces muertas son notablemente inferiores en los tratamientos que fueron sometidos a la biofumigación. Es relevante destacar que el T2 presenta el menor porcentaje de raíces inactivas en comparación con el grupo de control T0, logrando una reducción del 15,46% desde el inicio de la investigación hasta su conclusión. Este hallazgo evidencia que el producto aplicado ejerce influencia positiva en la calidad de raíces, este aspecto guarda correlación con los resultados obtenidos por de Belduma (2021), dado que también implementó enmiendas orgánicas y demostró en sus resultados una reducida presencia de raíces muertas. Es relevante resaltar que la proporción de raíces inactivas puede ser afectada no solamente por el ataque de nematodos, sino también por factores abióticos, como el nivel de humedad en el suelo, al cual estuvieron expuestos todos los tratamientos durante la totalidad del experimento (Ayuso, 2002).



**Figura 18.** Porcentaje raíces muertas.

**Fuente:** *El autor.*

#### 4.11. Población de nematodos

El análisis nematológico inicial se observa en la tabla 6, el cual dio como resultados que la mayor cantidad la ocupan los *Helicotylenchus sp.* Seguido del endoparásito *Radopholus similis*.

**Tabla 6.** Población inicial de nematodos promedio general

Nematodos x 100g de Raíz	
<i>Radopholus similis</i>	<i>Helicotylenchus sp.</i>
3700	5700

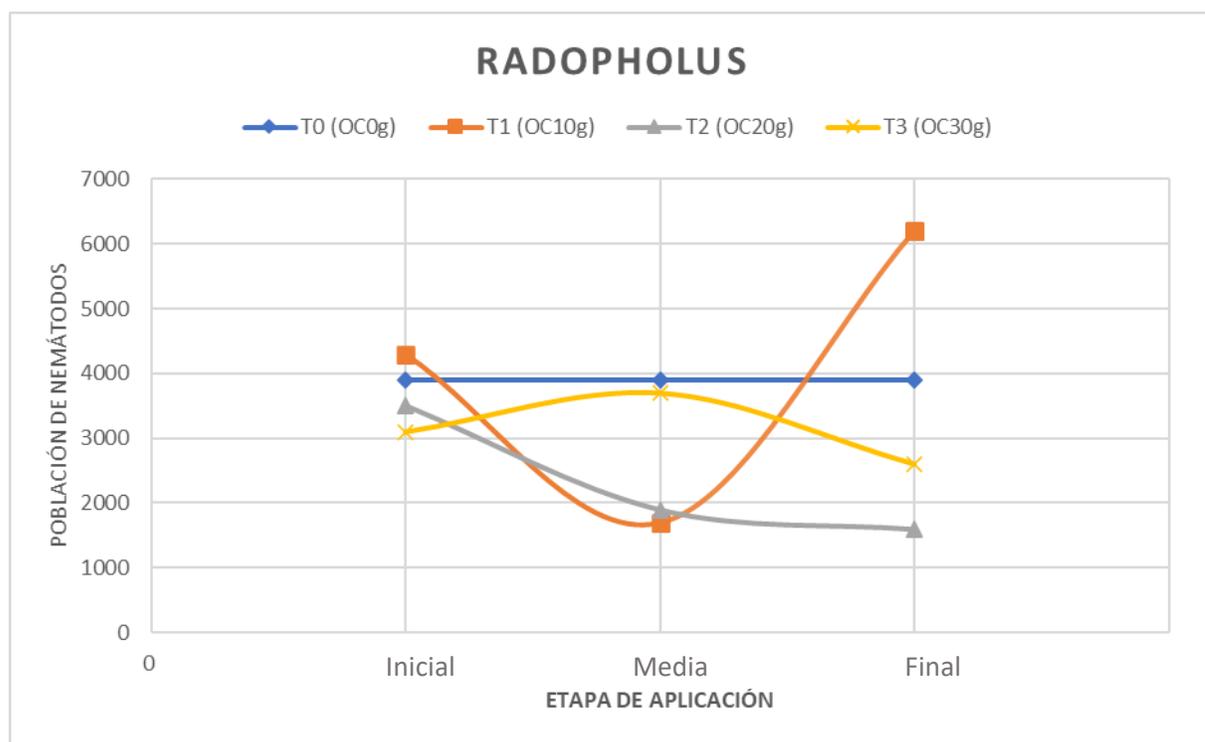
#### 4.12. Población de *Radopholus similis*

En la figura 19 se observa la población de nemátodos por tratamientos durante las evaluaciones realizadas en tres etapas distintas, a lo largo de un período de 90 días, con un intervalo de muestreo de 30 días después de la aplicación en todos los tratamientos. Al inicio del estudio, los datos del laboratorio indican que el T1 exhibió la población más alta de nematodos, alcanzando los 4300 individuos, seguido por el T0 con 3900, el T2 con 3500 y el T3 con 3100.

En el segundo muestreo, llevado a cabo a los 60 días, que corresponde a la etapa media de la investigación, el T1 experimentó una drástica disminución en la población de nematodos, llegando a 1700, seguido del T2 que mostró una disminución moderada a 1900, mientras que el T3 mantuvo una población estable en 3700. Es importante destacar que tanto el T2 como el T3 registraron reducciones en comparación con el grupo control T0.

En la etapa final, se evidencia la influencia significativa de los tratamientos en la población de nematodos en comparación al grupo control T0, por lo que los resultados reflejan en particular al T1 quien experimentó un aumento considerable, alcanzando los 6200 individuos, lo que indicó la influencia de la dosis baja aplicada, al no presentar una diferencia positiva. El T2, por otro lado, mostró una disminución significativa, llegando a 1600, lo que resalta la efectividad de la dosis aplicada; en cuanto al T3, mantuvo una población relativamente estable en 2600, sugiriendo que el tratamiento no respondió de manera

significativa en esta etapa. Concordando con Bonanomi et al., 2018 y Pereira et al., 2018 (como se citó en Torres et al., 2019) tras aplicaciones diversas de enmiendas, contribuyó a diversificar la microbiota del suelo, lo que tuvo un impacto positivo tanto en el sistema radicular como en la capacidad de las raíces para tolerar los nematodos de manera sistémica.



**Figura 19.** Cantidad de *Radopholus similis*.

**Fuente:** *El autor.*

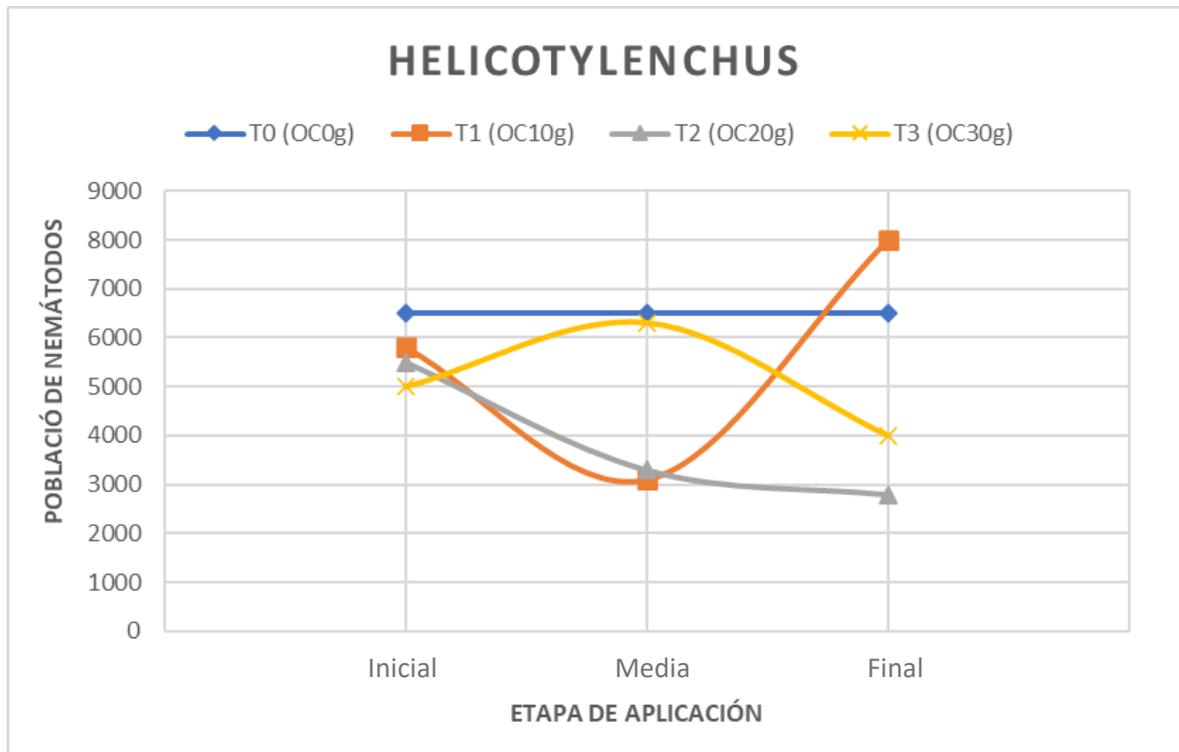
#### **4.13. Población de *Helicotylenchus sp.***

En la figura 20 se demuestran resultados relativos a la población de nematodos del género *Helicotylenchus sp.* En la fase inicial, se estableció una población de referencia en el grupo control T0, con 6500 individuos por 100 gramos de raíces, sirviendo como punto de partida para la evaluación del comportamiento de los nematodos en los demás tratamientos a lo largo de las tres etapas de la investigación. En concordancia con esto, se registraron 5800 nematodos en el T1, mientras que el T2 mostró una población de 5500. Por otro lado, el tratamiento con menor población en esta fase inicial fue el T3, con un total de 5000 individuos por cada 100 gr de raíces

Tras la segunda aplicación, correspondiente a la fase media de la investigación, se evidenciaron cambios estadísticamente significativos en la cantidad de nematodos. El T1 reflejó la mayor reducción en la población en esta etapa, registrando un total de 3100 nematodos, un valor cercano al observado en el T2, que alcanzó los 3300 individuos. En contraste, se observó un incremento en la densidad de nematodos en el T3 con un total de 6300 individuos, acercándose a la población que se obtuvo en el tratamiento testigo.

En la etapa final se observaron cambios sustanciales en el T1, llegando a obtener 8000 nematodos, lo que superó considerablemente al tratamiento de control T0 que en su inicio fue de 6500. Por otro lado, el T2 continuó experimentando una disminución en la población, reflejando en esta fase un total de 2800 nematodos, siendo esta cifra más baja observada en todo el estudio, mientras que el T3 exhibe una reducción llegando a un total de 4000 individuos.

Al concluir las tres etapas de aplicaciones de la biofumigación se observaron cambios estadísticamente significativos en cuanto a la población de nemátodos, destacando al T2 como el tratamiento con mayor reducción de nematodos. En comparación al grupo control T0, reflejó una disminución de 3700 individuos a lo largo de todo el periodo de estudio. Estos resultados respaldan la influencia positiva de la aplicación de enmiendas orgánicas en el control de nematodos, lo cual se corrobora con las conclusiones obtenidas por Vera & Hasang (2021), quienes también observaron una disminución de la población de *Helicotylenchus sp.*, al emplear nematicidas orgánicos en su investigación.



**Figura 20.** Cantidad de Helicotylenchus sp.

**Fuente:** *El autor.*

A partir de estos hallazgos, se evidencia la eficiencia de la implementación de la técnica de la biofumigación, elaborada mediante la combinación de extractos de ortiga (*Uretra Baccifera* L) y coles de Bruselas (*Brassica oleraceae* L. Gemmifera), debido a que ha demostrado mejoras significativas en la calidad del sistema radicular y, en particular, en la supresión de la población de nematodos a lo largo del periodo de esta investigación. Estos resultados respaldan la eficacia de la investigación previa realizada por Nimisha & Nisha (2019) quienes lograron una reducción significativa de la población de nematodos mediante la biofumigación con residuos de col. Importante destacar que Nasiri et all. (2014) presentó resultados positivos tras la aplicación de ortiga como abono verde, evidenciando que la incorporación de la ortiga junto a coles de Bruselas genera un impacto favorable en reducción de nematodos.

## 5. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos indican que la aplicación de enmiendas orgánicas como parte de la biofumigación compuestas a base de ortiga y coles de Bruselas, presenta una herramienta alternativa para el manejo y control del ataque de nematodos; tras la aplicación se observó su incidencia en el crecimiento del retorno y diámetro del fuste, por lo que se determinó que los tratamientos T2 y T3 generaron una mayor influencia en el desarrollo vegetativo de la planta; sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el número de hojas debido a factores no controlados.
- Se determinó el efecto positivo en la reducción de la población de nematodos en consecuencia de esto aumentó el porcentaje de raíces sanas, un factor directamente correlacionado con la productividad. Este incremento en la salud radicular se tradujo en un mejor rendimiento en términos de peso de racimo en los diversos tratamientos en comparación al testigo, que no recibió ninguna intervención. En relación al número de manos, se observó que los tratamientos T2 y T3 exhibieron una ligera diferencia en comparación con T1 y T0, con una variación de una mano, lo cual podría tener relevancia desde una perspectiva de comercialización.
- Las enmiendas aplicadas de manera conjunta al suelo exhibieron un efecto estimulante en el sistema radicular del cultivo de banano, evidenciándose tanto en el aumento del peso de las raíces como en el tejido funcional durante los muestreos nematológicos. Sin embargo, es relevante destacar que el "porcentaje de raíces enfermas" experimentó un aumento en todos los tratamientos a lo largo del estudio, debido a factores como el estrés hídrico. Es importante mencionar que el "porcentaje de raíces muertas" registró una disminución significativa en los tratamientos T2 y T3, lo que respalda la eficacia de la técnica de biofumigación en la mejora del sistema radicular del banano. Esta técnica puede integrarse como estrategia de control evitando el uso mínimo de nematicidas, siendo rentable en parámetros edáficos.
- Se pudo contrastar que, los resultados obtenidos indican un impacto significativo de los tratamientos en la población de *Radopholus similis* y *Helicotylenchus sp.* En general, se observó una efectividad variable de los tratamientos, el T2 y T3 demostraron reducciones en comparación con el grupo control, mientras que el T1 no presentó diferencias significativas debido a que fue el tratamiento con menor

dosificación. En particular, el T2 (OC20g) demostró una disminución significativa en la población de los nematodos durante el periodo de estudio, lo que sugiere que podría ser una estrategia efectiva para el control de estos nematodos. Se pudo evidenciar que, a medida que transcurre el tiempo, la influencia de las enmiendas se reduce, lo cual sugiere variaciones en las poblaciones de nematodos a lo largo del tiempo. Este patrón de cambio se relaciona con factores de estrés hídrico. Para mantener y estimular de manera constante el efecto beneficioso de la biofumigación, se requiere realizar aplicaciones continuas de enmiendas orgánicas.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Luego de realizada la investigación y observar resultados positivos para el cultivo de banano con el uso de la biofumigación, se sugiere la realización de futuras investigaciones que evalúen estas y otras enmiendas orgánicas, teniendo en cuentas diversas variables, así como la expansión de los estudios a otros lugares.
- Considerando los resultados obtenidos en la investigación se recomienda el uso continuo de enmiendas orgánicas en conjunto de una base nutrición que será aprovechada por las raíces funcionales para aportar un mejor desarrollo.
- Se recomienda utilizar este tipo de enmiendas en otros cultivos con la finalidad de disminuir la incidencia de nematodos y potenciar los resultados de producción.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, C. L., Barrezueta-Unda, S., & Aguilar, E. J. (2022). Efecto de hongos entomopatógenos para el control de nematodos en el sistema radicular del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 107–114. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Aguirre, O., Chávez, C., Giraud, A., & Araya, M. (2016). Frequencies and population densities of plant-parasitic nematodes on banana (*Musa AAA*) plantations in Ecuador from 2008 to 2014. *Agronomía Colombiana*, 34(1), 61–73. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V34N1.53915>
- Andrés, M. F. (2002). Estrategias en el control y manejo de nemátodos y fitoparásitos. *Ciencia y Medio Ambiente*, 221–227. <http://hdl.handle.net/10261/128310>
- Ayuso, F. (2002). Efecto de enmiendas orgánicas y de un hongo micorrícico sobre *Radopholus similis* en banano *Musa (AAA)*. [ Tesis Doctoral. Tesis Mag. Sc. CATIE, Costa Rica]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6102>
- Ayuso Rodríguez, F. (2000). *Influencia de enmiendas orgánicas y un hongo endomicorrícico sobre el nemátodo Radopholus similis, en banano Musa (AAA)* [Tesis (Mag. Sc.), CATIE (Centro agronómico tropical de investigaciones y enseñanzas) ]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10048>
- Azuero Gaona, B. R., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2020). Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia “La Victoria.” *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 110–120. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/408/387>
- Arias, P., Dankers, C., Pascal, L., & Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del Banano 1985-2002 (Vol. 1)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO
- Belduma, F. B. (2021). Biocarbón obtenido de restos de plantas cosechadas como enmienda edáfica vegetal en el cultivo de banano (*Musa x Paradisiaca* L.). [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17463>
- Carrasco, J., Vega, B., & Torres, A. (2020). Biofumigación una alternativa orgánica para la desinfección de suelos en invernaderos. Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://hdl.handle.net/20.500.14001/67318>
- Carrasco, J., Riquelme, J., Torres, A., & González, S. (2006). Como reemplazar el bromuro de metilo. 1. Soluciones biológicas para desinfectar el suelo. *Tierra Adentro*, INIA, 14–16. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6263>
- Chávez, C., & Araya, M. (2001). Frecuencia y densidades poblacionales de los nematodos parásitos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador. *Nematropica*, 31, 25–36.

- Chitamba, J., Manjeru, P., Chenai Chinheya, C., Mudada, N., & Handiseni, M. (2013). Plant-Parasitic Nematodes Associated With Banana (*Musa* sp.) in Rusitu Valley, Zimbabwe. *Nematropica*, 43(1), 113–118.
- Dutta, T. K., Khan, M. R., & Phani, V. (2019). Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. In *Current Plant Biology* (Vol. 17, pp. 17–32). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>
- Feicán, M. (2011). Manual de producción de abonos orgánicos. [Manual no. 89]. Cuenca, Ecuador: INIAP, Estación experimental Austro. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2396/1/MANUAL%2089.pdf>
- Fiallos, C. M., Pérez, M. S., & Ramirez, A. D. (2022). Prospectives for the development of a circular bioeconomy around the banana value chain. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 541–555. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.12.014>
- Gimsing, A. L., & Kirkegaard, J. A. (2006). Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of Brassica biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2255–2264. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.024>
- Guamán, F. (2015). Determinación y comparación de la actividad antibacteriana in vitro de extractos de dos especies de ortiga sobre bacterias de importancia clínica. [Tesis, Escuela superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4575>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (Segunda edición). McGRAW-HILL. [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseno\\_experimentos.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf)
- INIAP. (2014). Banano, plátano y otras musáceas. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>
- Julca, M., León, K., & Ancota, R. (2020). Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa spp.* L.). *Manglar*, 17(4), 301-306. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.045>
- Krueger, R., Dover, K. E., McSorley, R., & Wang, KH. (2007). Marigolds (*Tagetes spp.*) for nematode management. University of Florida, IFAS, Florida. ENY-056.
- Liceras-Zárate, L., & Wong, F. (1964). El Nemátode Barrenador del Plátano *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949. *Revista Peruana de Entomología*, 7(1), 18–24. <https://www.revperuentomol.com.pe/index.php/rev-peru-entomol/article/view/381/356>
- Live, F. (2009). Uso de extractos acuosos de raquis de banano y *Tagetes spp.* enriquecidos con bacterias y hongos endofíticos para el control biológico de *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. [Maestría de Agricultura Ecológica en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)].

[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5624/Usodeextractosacuososde\\_rquisdebanano\\_y\\_Tagetes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5624/Usodeextractosacuososde_rquisdebanano_y_Tagetes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Macaroff, A., Herrera, S., Chuquimarca, S., Ávila, V., Orozco, C., Polo, P., Naranjo, A., Montenegro, F., Burneo, N., Llerena, M. (2022). ESTADO DEL BANANO EN ECUADOR: acumulación, desigualdad y derechos laborales. Friedrich Ebert Stiftung , 2. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/19562-20220927.pdf>
- Maldonado, M. (2009). Evaluación agronómica de tres variedades de col de bruselas (*Brassica oleracea L. var. gemmifera*) bajo invernadero [Tesina de Grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5617/Ts-1279.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Mitidieri, M. S., Brambilla, M. V., Saliva, V. V., Piris, E. B., Piris, M. E., Celie, R. E., ... & Gonzalez, J. (2009). Efecto de distintas secuencias de tratamientos de biofumigación sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, el rendimiento y la salinidad de cultivos de tomate y lechuga bajo cubierta. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Morales, D. (2014). Bioprospección de hongos endófitos para el control biológico del nematodo barrenador *Radopholus similis* en el cultivo de banano [Programa de Maestría, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/5797>
- Mestanza, S. (2007). Evaluación de la eficacia de hongos beneficiosos en el control de *Radopholus similis* en plantas de banano. [Tesis de Maestría, Universidad ESPOL].
- Nasiri, M., Azizi, K., Hamzehzarghani, H., & Ghaderi, R. (2014). Studies on the nematocidal activity of stinging nettle (*Urtica dioica*) on plant parasitic nematodes. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 47(5), 591-599. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2013.816080>
- Neval. (2018). *Helicotylenchus spp.* Neval Grupo Farmalent, S.L. <https://www.neval.com/helicotylenchus-spp/>
- Nimisha, A. M., & Nisha, M. S. (2019). Effect of biofumigation for the management of nematodes in banana. Journal of Entomol and Zool Stud, 7(5), 951–956. <https://www.researchgate.net/publication/365442440>
- Niola Sornoza, C. J., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., & Noles León, M. J. (2021). Efectos de dos enmiendas edáficas sobre parámetros agronómicos de producción en banano (*Musa X paradisiaca* l.). Revista Científica Agroecosistemas, 9(3), 104–118. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/499/475>
- Oramas, D., & Roman, J. (2006). Histopatología de los nematodos *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Rotylenchulus reniformis* y *Meloidogyne incognita* en plátano (*Musa acuminata* x *M. balbisiana*, AAB). Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 90, 83–97. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v90i1-2.2963>

- Pérez, A. (2014). Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. *Alimentos Hoy*, 22(31), 64–80.  
<https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/256>
- Parra, S. C. A., Arcila, P. J., Pérez Naranjo, J. C., Castaño Zapata, J., Guzmán Piedrahita, Ó. A., Villegas Estrada, B., Hoyos Carvajal, L. M., Marín Montoya, M. A., & Leguizamón Caicedo, J. E. (2011). Importancia de los nematodos espiral, *Helicotylenchus multicinctus* (cobb) golden y *h. dihystra* (cobb) sher, en banano y plátano (Vol. 19, Issue 2).  
<http://agronomia.ucaldas.edu.co>
- Pineda, J. (2021). Evaluación de diferentes métodos de aplicación de fungicidas y extractos botánicos para el control de pudrición de corona de banano. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16561/1/TTUACA-2021-IA-DE00027.pdf>
- Piedrahita, G. (2011). El Nematodo Barrenador (*Radopholus Similis* [Cobb] Thorne) Del Banano Y Plátano. *Luna Azul*, 33, 137–153.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742011000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742011000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Rivas, G., & Rosales, F. (2003). Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. *Actas del Taller “Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodo y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas”*, celebrando en Guayaquil, Ecuador. INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del banano y el plátano Montpellier. p.79.
- Rivera-Méndez, W. (2016). Control microbiológico como experiencia de sostenibilidad local en la agricultura centroamericana. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(7), 31–40.  
<https://doi.org/10.18845/TM.V29I7.2703>
- Rondon, T., Hernandez, R. M., & Guzman, M. (2021). Soil organic carbon, physical fractions of the macro-organic matter, and soil stability relationship in lacustrine soils under banana crop. *PLoS ONE*, 16(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254121>
- Sanabria, A. (2011). *Urera baccifera* (L.) Gaudich. Herbarium Amazonense–AMAZ.  
<https://doi.org/10.15468/r6f5if>
- Santos, W. B. (2021). Efectos de la aplicación de bioestimulantes orgánicos en la plantación de banano de la granja santa inés [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Machala].  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17493>
- Sarah, J., Pinochet, J., & Stanton, J. (1996). The burrowing nematode of bananas, *Radopholus similis* Cobb, 1913. *Musa Pest Fact Sheet*, no. 1. Montpellier, France: INIBAP.  
[https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/129.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/129.pdf)

- Torres, P., Segura, R., Sandoval, J., Ortega, R., & Samuels, J. (2019). Manejo de la sanidad radical del cultivo del banano mediante rizoestimulantes microbianos, enmiendas orgánicas y minerales. *CORBANA*, 45(65), 83–92.  
<https://www.researchgate.net/publication/346927551>
- Triviño, C., Navia, D., & Velasco, L. (2013). Guía para reconocer daño en raíces y métodos de muestreo y extracción de nemátodos en raíces y suelo. *Boletín divulgativo* (433).  
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3849>
- Tuz, G. I. (2018). Manejo integrado del cultivo de banano (*Musa x Paradisiaca* l.) Clon williams, usando biocarbón y microorganismos eficientes. [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13263>
- Velepucha, E. M., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2022). Biota del Suelo: Fortalecimiento Mediante la Aplicación de tres Fuentes de Inóculo en el Cultivo de Banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 94–100.  
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Vera, A. M., & Hasang, M. E. (2021). Uso de Enmiendas y Activadores Biológicos para el manejo de nematodos en el cultivo de banano (*Musa AAA*) zona Caracol, Cantón Babahoyo. [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Babahoyo].  
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10073>
- Vézina, A., & Baena, M. (2020). Morfología de la planta del banano.  
<https://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>
- Zamora, E. (2016). El cultivo de la col de bruselas. Serie guía-producción de hortalizas DAG/HORT-012 Universidad de Sonora. División de Ciencias Biológicas y de la Salud Departamento de Agricultura y Ganadería Hermosillo.



**Anexo 3.** Lombriz de tierra y diplópodos encontrados en tratamientos juntos a los residuos vegetales aplicados.



**Anexo 4.** Planta madre con racimo seguido el hijo de sucesión con crecimiento óptimo.



**Anexo 5.** Cosecha del racimo.



**Anexo 6.** Pesado del racimo.

