



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

Trabajo de Tesis

Control biológico de *Radopholus similis* (Cobb)
Thorne mediante la inoculación combinada de
bacterias endofíticas en *Musa paradisiaca* L.

Autores:

Br. Hamilton José Castillo Mejía
Br. Oscar Alexander Fornos Solano

Asesores:

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

Managua, Nicaragua

Octubre, 2026.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

Trabajo de Tesis

Control biológico de *Radopholus similis* (Cobb)
Thorne mediante la inoculación combinada de
bacterias endofíticas en *Musa paradisiaca* L.

Autores:

Br. Hamilton José Castillo Mejía
Br. Oscar Alexander Fornos Solano

Asesores:

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

Managua, Nicaragua

Octubre, 2026.

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

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Santos David Romero
Presidente

Ing. Tatiana Eunice Rivas
Secretario

Erika Olmara Cabeza Fonseca
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 09/ Abril /2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis, en primer lugar, a Dios, por regalarme el don de la vida, por concederme salud, fortaleza y sabiduría durante una de las etapas más significativas de mi vida, y por permitirme culminar con éxito mi formación universitaria.

A mi madre, Petrona Aydalina Espinoza Solano, por ser mi mayor inspiración, por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí y por su amor incondicional, que ha sido mi guía y mi refugio en todo momento.

A mis tíos, Digno Marvin Fornos y María Verónica Reyes (†), quienes fueron pilares esenciales en mi crecimiento personal y académico. En especial, dedico unas palabras de eterno agradecimiento a la memoria de María Verónica (Tía Vero), cuya bondad, apoyo y ejemplo seguirán siendo una luz que guíe mi camino.

A mi padre, Óscar José Fornos Obando, por su esfuerzo y sacrificio en cada etapa de mi vida. Sus enseñanzas y dedicación han sido fundamentales para forjar en mí la disciplina y el deseo constante de superación.

A Pamela López Ruíz, mi compañera de vida, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en este proceso. Su presencia constante, palabras de ánimo y fe en mí han sido una fuente invaluable de motivación para alcanzar esta meta.

A mis tías, Yamileth y Yessenia Espinoza, y a mi abuela, Flora Espinoza, por su compañía, consejos y confianza inquebrantable, siempre presentes en cada paso que he dado.

Br. Oscar Alexander Fornos Solano

DEDICATORIA

A Dios, por su infinito amor, por darme la fortaleza cuando sentí flaquear y por abrirme caminos donde parecía no haber ninguno. A Él encomiendo este logro que hoy culmina una etapa tan importante en mi vida.

A mi padre José Gabriel Castillo y a mi madre María Jeaneth Mejía Gómez, por su ejemplo, su dedicación y sus innumerables sacrificios. Gracias por creer en mí incluso en mis momentos de duda, por impulsarme a seguir adelante y por brindarme el amor que ha sido la base de cada uno de mis pasos. Este trabajo es también suyo.

A mi familia y a todas aquellas personas que fueron pilares fundamentales durante mi camino universitario: quienes me brindaron apoyo, palabras de ánimo y compañía en los momentos decisivos. Cada gesto de ustedes contribuyó a que hoy pueda celebrar este logro.

Con profunda gratitud, dedico esta tesis a todos ustedes.

Br. Hamilton José Castillo Mejía

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso, por su infinita misericordia y amor, que nos permitieron alcanzar este objetivo. Su fortaleza nos sostuvo en los momentos difíciles, y en cada logro pudimos ver reflejada su bondad.

Al MSc. Markelyn José Rodríguez Zamora nuestro asesor de tesis, por su constante apoyo, dedicación y compromiso durante el desarrollo de este estudio. Su experiencia, paciencia y valiosos consejos fueron fundamentales para culminar con éxito nuestro trabajo final. Reciba nuestro más sincero agradecimiento y respeto.

A todos los docentes que nos acompañaron a lo largo de nuestra formación académica, orientándonos y compartiendo con nosotros su conocimiento y vocación.

A nuestros familiares, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, que nos impulsaron a superar cada desafío con determinación.

Br. Hamilton José Castillo Mejía
Br. Oscar Alexander Fornos Solano

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivo específico	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Importancia de cultivo de plátano en Nicaragua	4
3.2. Problemas fitosanitarios en el cultivo de plátano	5
3.3. Nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano	6
3.4. Potencial de los microorganismos endófitos en la agricultura (Endófitos)	7
3.5. Bacterias endofíticas en el control de enfermedades	7
3.6. <i>Bacillus</i> sp. Como agente de biocontrol	8
3.7. <i>Pseudomonas</i> spp y su papel en la producción de cultivos	8
3.8. <i>Levadura</i> spp en la agricultura	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1. Ubicación del estudio	10
4.2. Diseño metodológico	10

4.3. Diseño experimental	11
4.4. Material biológico	12
4.5. Inoculación de los tratamientos	12
4.6. Inoculación de <i>Radopholus similis</i>	13
4.7. Manejo agronómico	13
4.8. Variables evaluadas	13
4.9. Análisis de datos	13
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
5.1. Densidad de <i>Radopholus similis</i> en 10 gramos de raíces	14
5.2. Control biológico de bacterias endofíticas sobre <i>Radopholus similis</i>	15
5.3. Bacterias endófitas en la promoción de crecimiento de la altura	16
5.4. Diámetro del tallo	17
5.5. Peso de raíz	19
5.6. Peso total	20
VI. CONCLUSIONES	22
VII. RECOMENDACIONES	23
VIII. LITERATURA CITADA	24
IX. ANEXOS	30

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Tratamientos y tipo de inoculación de aislados microbianos endofíticos evaluados para el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> en vitroplantas de plátano.	11

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación del estudio en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas (DECA), Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.	10
2. Efecto combinado de <i>Bacillus subtilis</i> sp, <i>Saccharomyces</i> sp, <i>Pseudomona</i> sp sobre la densidad de <i>Radopholus similis</i> en 10g raíz.	¡Error! Marcador no definido.
3. Porcentaje de control de <i>Radopholus similis</i> en vitroplantas de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	15
4. Efecto de las bacterias endófitas sobre la altura de vitroplantas de plátano.	17
5. Efectos de bacterias endofíticas sobre el diámetro promedio del tallo	18
6. Peso promedio de raíz (g) en vitroplantas de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> cv. Cuerno Enano) tratadas con bacterias endofíticas.	19
7. Peso total de plántulas de plátano tratadas con bacterias endófitas.	20

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Cronograma de actividades realizadas durante el período de ejecución del trabajo de tesis (noviembre, 2024 – Noviembre, 2025).	30
2. Presupuesto detallado y ejecutado de los costos de la investigación, desagregado por rubro.	31
3. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable nematodos en 10 g de raíz.	32
4. Prueba de normalidad Shapiro-Wilks modificada para la variable Peso Total.	32
5. Análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable Peso Total.	33
6. Análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable Diámetro del tallo.	33
7. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Altura de la planta.	34
8. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable peso de raíz.	34
9. Ensayo experimental en maceteras con tratamientos microbianos bajo condiciones de invernadero	35
10. Plantas de plátano, antes de su corte para su pesaje foliar	35
11. Proceso de pesaje foliar de las vitroplantas de plátano utilizando balanza digital Ohaus en el laboratorio de fitopatología.	36
12. Preparación y división de materiales para la elaboración del sustrato utilizado en la siembra de las vitroplantas de plátano.	36
13. Corte y separación del sistema radical de las vitroplantas de plátano previo al pesaje de raíz.	37

RESUMEN

El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) constituye un alimento básico dentro de la dieta nicaragüense y representa una fuente relevante de ingresos para pequeños y medianos productores. Este cultivo se ve afectado por diversos problemas fitosanitarios, siendo *Radopholus similis* el nematodo barrenador que afecta la productividad y sostenibilidad del cultivo especialmente en los departamentos de Rivas y Chinandega. La investigación se realizó en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas (DECA) de la Universidad Nacional Agraria, ubicada en Managua, Nicaragua, durante el año 2024. El objetivo principal fue evaluar el efecto del biocontrol de *Radopholus similis* mediante la inoculación combinada de bacterias endofíticas en vitroplantas de plátano (*Musa paradisiaca*). La investigación se enmarcó en un diseño experimental cuantitativo con un diseño completamente al azar (DCA), utilizando seis tratamientos y cinco repeticiones, lo que resultó en 30 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en evaluar tres aislados de *Bacillus*, dos de *Pseudomonas* y dos de levaduras spp. Se analizaron variables como peso radicular, población de nematodos, altura de la planta, peso fresco de raíz y peso fresco total. Se empleó una transformación Arcoseno, para homogenizar varianza y aplicar análisis de varianza y separación de medias por Tukey ($P < 0.005$). Los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos con bacterias endofíticas mostraron una reducción significativa en las poblaciones de *Radopholus similis* en comparación con el control. Además, se observó que *Bacillus subtilis* aumenta el peso fresco de raíz en combinaciones individuales.

Palabras clave: Nematodo fitoparásitos, control biológico, bacteria endofíticas, nematodo barrenador

ABSTRACT

Plantain (*Musa paradisiaca* L.) is a staple food in the Nicaraguan diet and represents an important source of income for small- and medium-scale producers, particularly in the departments of Rivas and Chinandega, where national production is concentrated. *Radopholus similis*, the burrowing nematode, is a major factor limiting crop productivity and sustainability. This study was conducted in the greenhouse of the Agricultural Sciences Directorate (DECA) at the National Agrarian University, Managua, Nicaragua, during 2024. The main objective was to evaluate the biocontrol effect of *R. similis* through combined inoculation of endophytic bacteria in plantain vitroplants (*Musa paradisiaca*). A quantitative experimental approach was employed using a completely randomized design (CRD) with six treatments and five replications, resulting in 30 experimental units. Treatments consisted of three *Bacillus* isolates, two *Pseudomonas* isolates, and two yeast spp. isolates. Variables analyzed included root weight, nematode population, and plant height. Results indicated that treatments with endophytic bacteria significantly reduced *R. similis* populations compared to the control. Additionally, inoculated plants exhibited greater root development and increased height.

Keywords: Plant-parasitic nematodes; biological control; endophytic bacteria; burrowing nematode

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*) constituye un alimento básico dentro de la dieta nicaragüense y representa una fuente relevante de ingresos para pequeños y medianos productores, especialmente en los departamentos de Rivas y Chinandega, donde se concentra la mayor producción nacional. En 2022, este rubro aportó 18.2 millones de dólares a la economía del país, evidenciando su importancia socioeconómica y su potencial para dinamizar los sistemas productivos locales. (Ministerio Agropecuario, 2024)

A pesar de su relevancia económica, la productividad del plátano se ve limitada por la incidencia de plagas y enfermedades, entre las cuales destacan los nematodos fitoparásitos, siendo *Radopholus similis* el de mayor impacto. Este organismo degrada el sistema radicular, provoca necrosis y reduce la absorción de agua y nutrientes, afectando severamente el desarrollo de la planta y el rendimiento del cultivo. (Fogain, 2000; Gowen *et al*, 2005)

El manejo de este nematodo se basa principalmente en la aplicación de nematicidas químicos, como el Oxamil, los cuales se utilizan con frecuencia sin el cumplimiento de medidas de seguridad ni respeto a los periodos de carencia, generando riesgos ambientales, intoxicaciones crónicas y contaminación de suelos y fuentes de agua (García, 2000). El uso indiscriminado de estos productos incrementa los impactos negativos sobre la biodiversidad y pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas productivos, lo que hace necesario desarrollar alternativas de control más seguras y ambientalmente amigables.

Entre las estrategias de manejo sostenible destacan los microorganismos endofíticos, que habitan en el interior de las plantas sin causar lesiones visibles, y cuyos efectos incluyen promoción del crecimiento vegetal, producción de metabolitos bioactivos e inducción de resistencia contra patógenos (Hardoim *et al*, 2015; Mishra *et al*, 2021). Diversos estudios evidencian el potencial de géneros como *Bacillus* y *Pseudomonas* en la reducción de poblaciones de nematodos fitoparásitos, así como en el incremento de vigor y biomasa en musáceas. (Mendoza y Sikora, 2008; Chaves, 2007)

A partir de este contexto, la presente investigación evalúa el efecto de la inoculación combinada de bacterias endofíticas en el control de *Radopholus similis* en vitroplantas de plátano, con el fin de generar una alternativa viable y sostenible para mejorar el manejo fitosanitario del cultivo bajo condiciones de invernadero.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar alternativas de control biológico sostenible en sistemas convencionales de producción de plátano mediante la evaluación de bacterias endofíticas para reducir el uso de nematicidas fumigantes para el manejo de *Radopholus similis* en vitroplantas de plátano (*Musa paradisiaca* cv Cuerno enano)

2.2. Objetivo específico

Evaluar el efecto de inoculaciones individuales y combinadas de aislados endófitos (*Pseudomonas* spp., levaduras spp. y *Bacillus* spp.) sobre *Radopholus similis* bajo condiciones de invernadero.

Evaluar el efecto de las inoculaciones combinadas de aislados endófitos (*Pseudomonas* spp, *Levaduras* spp y *Bacillus* spp) en la promoción del crecimiento de variables agronómicas en vitroplantas bajo condiciones de invernadero.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Importancia de cultivo de plátano en Nicaragua

El cultivo de plátano es de gran relevancia para la economía y la alimentación en Nicaragua. Representa una de las principales fuentes de ingresos para los productores medianos y pequeños, quienes constituyen la mayor parte de la producción nacional. Este cultivo es vital, no solo como base de la dieta diaria, sino también como fuente de empleo, especialmente en los departamentos de Rivas y Chinandega, donde se concentra la mayor parte de la producción nacional.

En 2022, el cultivo de plátano contribuyó con un valor de 18.2 millones de dólares a la economía nicaragüense, lo que representó un crecimiento del 21.8% en términos de valor y 6.6% en volumen respecto al año anterior (Ministerio Agropecuario, 2025). De acuerdo con el monitoreo realizado por el Ministerio Agropecuario (2024), en el periodo de enero a noviembre de 2024 se produjo un total de 252.8 millones de unidades de plátano, distribuidas principalmente en la IV Región del país, bajo la gestión de 5,943 familias productoras. Las variedades más comunes entre los productores son el cuerno gigante, el cuerno enano y el censa ³/₄. (Ministerio Agropecuario, 2025)

El Banco Central de Nicaragua (2024) informó que la producción de plátano alcanzó 1,036.8 millones de unidades en el ciclo 2024, cumpliendo el 94.9 % de la meta establecida. Sin embargo, aunque el volumen exportado aumentó en 3.0 %, el valor de exportación disminuyó en 24.3 %, señalando fluctuaciones económicas vinculadas a la calidad del producto, costos de producción y problemas fitosanitarios que afectan el rendimiento y la competitividad internacional del cultivo.

Estos indicadores reflejan la dependencia socioeconómica de la actividad productiva del plátano, pero también evidencian la necesidad de fortalecer estrategias que permitan mejorar su rendimiento y sostenibilidad. Dentro de estas limitantes se destacan las enfermedades causadas por hongos, bacterias y nematodos, los cuales afectan de manera directa la productividad, reduciendo el vigor de las plantas y la calidad de los frutos. En consecuencia, la productividad del plátano requiere alternativas tecnológicas que contribuyan a su manejo fitosanitario, tal como el empleo de microorganismos endofíticos, abordado en la presente investigación.

3.2. Problemas fitosanitarios en el cultivo de plátano

El cultivo de plátano en Nicaragua enfrenta diversos problemas fitosanitarios que limitan su productividad y calidad. Entre las principales enfermedades que afectan a las musáceas, se encuentran la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), el Mal de Panamá raza tropical 4 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), el moko del plátano (*Ralstonia solanacearum*), la marchitez bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *musareum*), y diversos virus como el bunchy top (*BTV*), el mosaico de la bráctea (*BBrMV*), el estriado del plátano (*BSV*), y el mosaico del plátano (*BMV*). (Jones, 2000; Olivares *et al*, 2021)

La sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, es una de las enfermedades más importantes debido a su impacto en la capacidad fotosintética de las plantas, lo que conduce a la necrosis del tejido foliar (Depaz-Molina, 2010). El manejo de esta enfermedad generalmente implica el uso de fungicidas, aunque la aplicación continua de estos productos puede inducir resistencia en los patógenos (Agrios, 2005). Esto resalta la necesidad de integrar estrategias de control más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Por otra parte, el Mal de Panamá y el moko del plátano son enfermedades destructivas que afectan gravemente el sistema vascular, provocando marchitez, muerte de plantas y pérdidas económicas significativas. Estas enfermedades se han reportado como principales amenazas para la producción global de musáceas, afectando programas de exportación y limitando el rendimiento en plantaciones comerciales. (Fegan & Prior, 2005; Olivares *et al*, 2021)

3.3. Nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano

Los nematodos fitoparásitos constituyen una de las principales limitantes en la productividad del cultivo de plátano en Nicaragua, debido a su capacidad de dañar el sistema radicular, reducir el vigor de las plantas y predisponerlas a infecciones secundarias por hongos y bacterias (Mendoza y Sikora, 2009; Gowen et al., 2005). Estas interacciones patogénicas aumentan el estrés fisiológico de la planta, disminuyen la absorción de nutrientes y agua, y reducen significativamente el rendimiento productivo.

Las especies de nematodos más asociadas a esta problemática en el cultivo de plátano incluyen *Radopholus similis*, *Pratylenchus goodeyi*, *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multicinctus*, y *Meloidogyne spp.* (Quénéhervé, 2009). Estos nematodos ocasionan daños que incluyen raquitismo, amarillamiento foliar, necrosis de raíces, lesiones en cormo y caída de plantas debido a la pérdida de estabilidad del sistema radicular. (Gowen et al, 2005; Orion et al, 1999)

En estudios realizados en Nicaragua, se ha observado que las poblaciones de *Radopholus similis* en las raíces de plátano alcanzan frecuentemente entre el 82% y el 97% de la densidad total de nematodos (Guzmán-Piedrahita, 2011). La presencia de este nematodo, en particular, es devastadora para la productividad, ya que facilita la entrada de otros patógenos que pueden causar la muerte de la planta. (Rendón-Restrepo, 2020)

Los efectos negativos de *R. similis* se intensifican en sistemas donde no se aplican estrategias integradas o existe dependencia exclusiva de nematicidas químicos, lo cual aumenta los costos de producción, genera resistencia en las poblaciones y produce riesgos ambientales considerables (García, 2000). Por ello, el manejo de nematodos requiere alternativas que reduzcan el uso de agroquímicos sin comprometer la productividad.

3.4. Potencial de los microorganismos endófitos en la agricultura (Endófitos)

Los microorganismos endófitos, aquellos que habitan en el interior de las plantas sin causarles daño visible, han demostrado ser fundamentales en el control de enfermedades y en la mejora de la productividad agrícola. Estos organismos, que incluyen bacterias, hongos y protistas, desempeñan un papel crucial en la solubilización de nutrientes, la promoción del crecimiento vegetal y la mejora de la resistencia a patógenos. (Hardoim *et al*, 2015; Mishra *et al*, 2021)

Estudios recientes han señalado que la relación entre las plantas y los endófitos es compleja y depende de factores ambientales y fisiológicos, lo que requiere una mayor investigación para comprender los mecanismos exactos de estas interacciones (Durand *et al*, 2015). En este sentido, los microorganismos endófitos pueden ser aliados clave para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en cultivos como el plátano.

Numerosos estudios han demostrado que la relación planta–endófito confiere beneficios duales, ya que además de actuar como agentes de biocontrol, pueden estimular la producción de biomasa y fortalecer el sistema radicular, incrementando la eficiencia fisiológica del cultivo, lo cual resulta relevante para la presente investigación, que evalúa el potencial de consorcios microbianos frente a *Radopholus similis*.

3.5. Bacterias endofíticas en el control de enfermedades

Las bacterias endofíticas tienen un gran potencial biotecnológico, tanto en la agricultura como en la industria. En el ámbito agrícola, estas bacterias pueden mejorar la resistencia de las plantas a factores bióticos y abióticos, y en la industria, se utilizan para la producción de metabolitos secundarios con aplicaciones medicinales. (Wu *et al*, 2021)

Entre los géneros bacterianos más estudiados se encuentran *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., y *Serratia* spp., que tienen la capacidad de producir compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de patógenos como hongos, bacterias y nematodos. Estos agentes de biocontrol son efectivos para mejorar la salud del suelo y aumentar la resistencia sistémica de las plantas. (Berg y Hallmann, 2006; Dunlap *et al*, 2019)

Diversas investigaciones demuestran que los microorganismos endofíticos no solo actúan como agentes de biocontrol, sino que también promueven el crecimiento vegetal mediante la producción de hormonas, solubilización de nutrientes y mejora de la absorción mineral, lo que fortalece el sistema radical y reduce la proliferación de patógenos del suelo (Berg y Hallmann, 2006; Mishra *et al*, 2021). En musáceas, se ha comprobado que las bacterias endofíticas disminuyen las poblaciones de *Radopholus similis* a través de metabolitos secundarios, resistencia sistémica y competencia por nichos ecológicos, respaldando su uso como alternativa sostenible al manejo químico convencional. (Núñez Pérez, 2006; Chaves, 2007)

3.6. *Bacillus* sp. Como agente de biocontrol

El género *Bacillus* comprende una amplia variedad de especies que son altamente eficaces en el control de plagas y enfermedades mediante la producción de compuestos antimicrobianos, como cianuro de hidrógeno y surfactina (Kumar *et al*, 2020; Li *et al*, 2014). Estas bacterias no solo inhiben el crecimiento de patógenos, sino que también mejoran la resistencia de las plantas al estrés biótico, promoviendo un ambiente saludable en el sistema radicular y aumentando la tolerancia de las plantas a condiciones adversas. (Berg y Hallmann, 2006)

3.7. *Pseudomonas* spp y su papel en la producción de cultivos

El género *Pseudomonas* ha sido ampliamente estudiado debido a su capacidad para producir compuestos antibacterianos, antifúngicos y nematocidas que ayudan a proteger los cultivos contra patógenos del suelo. Estas bacterias endófitas son capaces de reducir las poblaciones de nematodos como *Meloidogyne javanica* y *Radopholus similis*, mediante la producción de metabolitos como 2,4-diacetilfloroglucinol y ácido cianhídrico, los cuales afectan la movilidad, alimentación y reproducción de los nematodos. (Siddiqui & Shaukat, 2003; Siddiqui *et al*, 2005)

“Estudios han demostrado que el uso de *Pseudomonas spp.* en cultivos de plátano puede reducir significativamente la infestación de nematodos y mejorar la salud general de las plantas.” (Núñez, 2006)

3.8 Levadura spp en la agricultura

“Las levaduras, aunque menos estudiadas como agentes de biocontrol, poseen potencial agrícola debido a su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes y tolerancia al estrés, además de intervenir en procesos de inhibición de patógenos mediante metabolitos antifúngicos y antibacterianos”. (Hernández-Fernández *et al*, 2021)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas (DECA) de la Universidad Nacional Agraria, ubicada en el kilómetro 12 1/2 de la Carretera Norte, Managua, Nicaragua en las coordenadas 12° 8'46.31" N latitud norte y 86° 9'46.52" O latitud oeste.



Figura 1. Ubicación del estudio en el invernadero de la Dirección de Ciencias Agrícolas (DECA), Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

4.2. Diseño metodológico

La investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo de tipo experimental, desarrollada bajo condiciones semicontroladas con el propósito de evaluar el efecto combinado de bacterias endofíticas sobre el crecimiento de vitroplantas de plátano (*Musa paradisiaca* cv. Cuerno Enano) y su eficacia como agentes de biocontrol frente a *Radopholus similis*.

4.3. Diseño experimental

Se estableció un arreglo unifactorial en diseño completo al azar (DCA) con 6 tratamientos y cinco repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales; cada unidad experimental estuvo representada por una planta. Por cada tratamiento se utilizaron cinco plantas establecidas en macetas de 11 cm de diámetro y 9.7 cm de altura, con un volumen de suelo de 754 gramos.

Los tratamientos estuvieron conformados por aislamientos endofíticos de los géneros *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y levaduras (*Saccharomyces sp.*), aplicados individualmente o en combinación, además del tratamiento testigo sin inoculación microbiana.

Cuadro 1. Tratamientos y tipo de inoculación de aislados microbianos endofíticos evaluados para el biocontrol de *Radopholus similis* en vitroplantas de plátano.

Tratamientos	Descripción	Tipo de inoculación	Concentración
T1	<i>Bacillus Subtilis</i> (1)	Individual	1×10^8 UFC mL ⁻¹
T2	<i>Bacillus Subtilis</i> (2)	Individual	1×10^8 UFC mL ⁻¹
T3	<i>Pseudomonas sp</i> + <i>Bacillus Subtilis</i> (1)	Combinada	1×10^8 UFC mL ⁻¹
T4	<i>Pseudomonas sp</i> + <i>Bacillus Subtilis</i> (2)	Combinada	1×10^8 UFC mL ⁻¹
T5	<i>Saccharomyces sp</i>	Individual	1×10^8 UFC mL ⁻¹
T6	Testigo	Solución con <i>Radopholus similis</i>	1×10^8 UFC mL ⁻¹

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_k(i) + M_j + TM_{ij} + e_{K(ij)}$$

Donde; Y_{ij} = Variable repuesta

μ = Promedio general

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

$E_k(i)$ = Error debido al tratamiento

M_j = Efecto de la medición

TM_{ij} = Efecto entre la interacción tratamiento

$e_{K(ij)}$ = error debido a la medición

4.4. Material biológico

Los aislados de bacterias endofíticas, incluyendo *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. y levaduras (*Saccharomyces* sp.), se obtuvieron a partir de raíces de plantas de plátano recolectadas de forma aleatoria en los departamentos de Rivas y Chinandega. Los aislados utilizados en este estudio fueron proporcionados por el Laboratorio de Microbiología Agrícola de la Universidad Nacional Agraria (UNA). Dichos microorganismos habían sido previamente aislados, caracterizados e identificados por el laboratorio antes de su suministro para la investigación.

Los aislamientos fueron preservados en caldo nutritivo y almacenados a 8°C hasta su utilización. Las colonias se cultivaron mediante la técnica de rayado en agar nutritivo e incubaron a 30°C, posteriormente fueron resuspendidas en agua estéril y ajustadas a una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹ utilizando la escala de McFarland.

4.5. Inoculación de los tratamientos

Las vitroplantas aclimatadas fueron trasplantadas en maceteras previamente desinfectadas. La inoculación de los microorganismos endofíticos se realizó mediante orificios realizados alrededor de la base del pseudotallo, aplicando 5 mL de suspensión bacteriana ajustadas a una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹ correspondiente a cada tratamiento. En el tratamiento testigo se aplicaron 5 mL de agua estéril libre de cloro, con el fin de mantener las mismas condiciones de aplicación utilizadas en los tratamientos inoculados.

4.6. Inoculación de *Radopholus similis*

Los inóculos de nematodos se obtuvieron de una población de *Radopholus similis* previamente de la cría de un cultivo monoxénico de *Radopholus similis* que crecieron en tres discos de zanahoria (*Daucus carota* L.). Dos semanas después, cada plántula fue inoculada con una población mixta de 500 nematodos juveniles, hembras y machos, realizando tres orificios a una profundidad entre 2 cm y 3 cm alrededor de la base del pseudotallo.

4.7. Manejo agronómico

Las vitroplantas de plátano del cultivar Cuerno Enano fueron adquiridas en el INTA y contaban con dos meses de aclimatación previa. El sustrato utilizado consistió en una mezcla esterilizada de 50 % arena y 50 % tierra. No se aplicaron fertilizantes edáficos durante el ensayo. El riego se efectuó cada dos días utilizando 15 mL de agua libre de cloro, evitando la incorporación de productos químicos que interfirieran en la interacción suelo–microorganismos.

4.8. Variables evaluadas

- Densidad de *Radopholus similis* en 10 g de raíz.
- **Altura de la planta:** medida desde la base del pseudotallo hasta la inserción de las hojas 1 y 2 (cm).
- **Diámetro del tallo:** medido con pie de rey digital a 2 cm de la base del pseudotallo (mm).
- **Peso fresco de raíz:** determinado mediante una balanza digital calibrada (g).
- **Peso fresco total:** se determinó utilizando una balanza digital calibrada. Se pesó la biomasa total de cada plántula y los resultados se expresaron en gramos (g).

4.9. Análisis de datos

Se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se empleó transformación con la función arcoseno para el porcentaje de control, luego se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Al encontrar diferencias estadísticas, se compararon las medias a través de la prueba de diferencias mínimas de Tukey con un margen de error del 5 %, empleando el software InfoStat/ versión Profesional 2024 (InfoStat Group, FCA., AR).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Densidad de *Radopholus similis* en 10 gramos de raíces

El análisis de varianza realizado con un $\alpha = 0.05$ y un 95% de probabilidad, cuyo modelo explicó un 85% de la variabilidad observada en los datos, los cuales variaron un 15.38 % con relación a su media mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.0001$) (Anexo 3).

Se observaron diferencias estadísticas en el número total de nematodos. *Saccharomyces* sp. presentó la mayor población, con 543 individuos de *Radopholus similis* en 10 g de raíz, seguido del tratamiento testigo con 480 individuos. Por su parte, *Bacillus subtilis* (1) registró la menor población, con 273 individuos, lo que evidencia la eficacia de este tratamiento en la reducción de las poblaciones del nematodo (Figura 2).

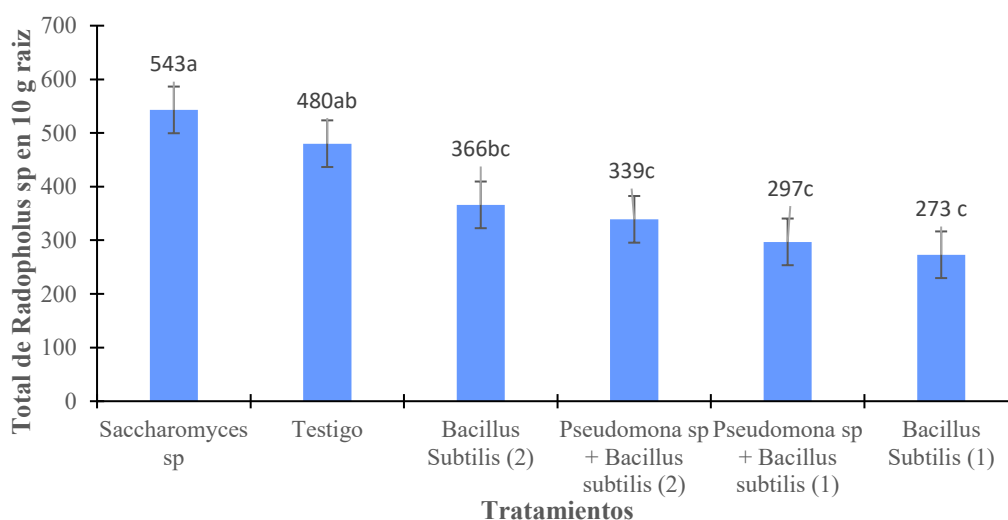


Figura 2. Efecto combinado de *Bacillus subtilis* sp, *Saccharomyces* sp, *Pseudomona* sp sobre la densidad de *Radopholus similis* en 10 g raíz.

Bacillus subtilis (1) mostró la mayor reducción en el número de *Radopholus similis*, con 273 individuos en comparación con el testigo. Estos resultados sugieren que *Bacillus subtilis* posee mecanismos biológicos capaces de limitar la reproducción y establecimiento del nematodo en las raíces de plátano.

Estudios demostraron que *Bacillus subtilis* afecta la penetración de nematodos fitoparásitos, logrando disminuir la población en un 74 % mediante aplicaciones combinadas, en comparación con el testigo (Valencia Serna *et al*, 2014). Esto demuestra la capacidad de *Bacillus subtilis* para producir metabolitos secundarios que afectan la penetración de los nematodos en las raíces. En este estudio, el testigo mostró el mayor número de *Radopholus similis* en 10 g de raíz, en comparación con los tratamientos inoculados con *Bacillus subtilis*.

5.2. Control biológico de bacterias endofíticas sobre *Radopholus similis*

Se presentaron diferencias estadísticas en el control biológico de *Radopholus similis*. Las inoculaciones de *Pseudomonas sp.* + *Bacillus subtilis* (1) y *Bacillus subtilis* (2) redujeron las poblaciones de *Radopholus similis*, con porcentajes de control que oscilaron entre 4 % y 43 %. Estos resultados indican que las inoculaciones, tanto combinadas como individuales, pueden reducir las poblaciones de *Radopholus similis* (Figura 3). Su acción puede estar relacionada con mecanismos enzimáticos que afectan la reproducción de los nematodos.

Las inoculaciones combinadas redujeron parcialmente las poblaciones de *Radopholus similis*, aunque su efecto fue inferior al observado con *Bacillus subtilis* (1) (Figura 3).

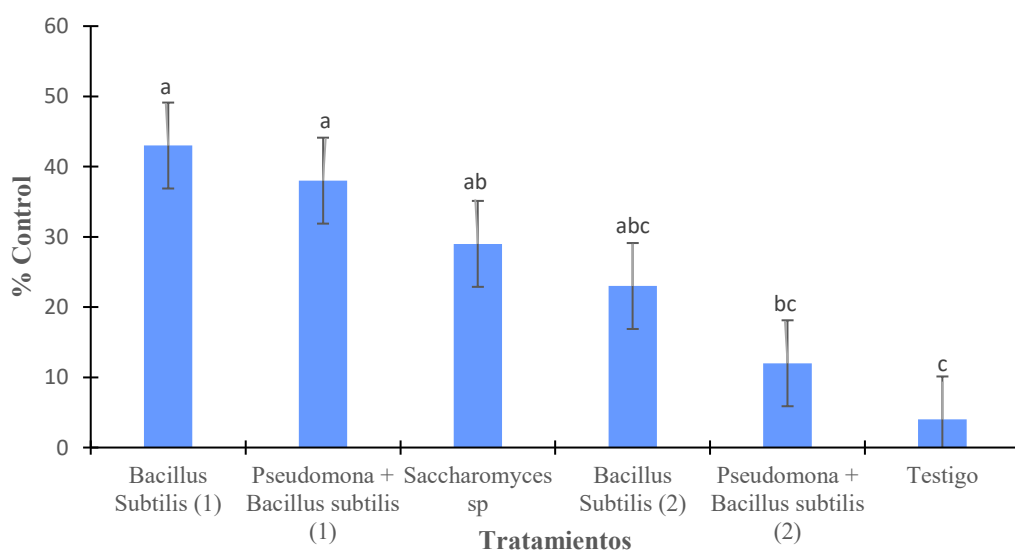


Figura 3. Porcentaje de control de *Radopholus similis* en vitroplantas de plátano (*Musa paradisiaca*).

Resultados similares fueron descritos por Athman *et al.* (2006), quienes evidenciaron reducción en atracción del nematodo por colonización endofítica. Reimann *et al.* (2008) destacaron la inducción de resistencia sistémica, y Chaves (2007) señala diferencias asociadas a compatibilidad planta-endófito. Kinalwa (2023) indicó que la eficacia aumenta bajo condiciones reales de estrés, lo que explica los efectos moderados en condiciones controladas. Estos criterios sustentan la tendencia registrada.

El comportamiento observado puede atribuirse a las condiciones controladas del cultivo, donde la ausencia de estrés y presión de enzimas limita la activación de defensas inducidas, generando controles moderados. Esto coincide con lo reportado por Chaves (2007) y Kinalwa (2023), quienes indican que los endófitos muestran mayor eficacia bajo competencia y condiciones reales de estrés.

5.3. Bacterias endófitas en la promoción de crecimiento de la altura

El análisis de varianza realizado con un $\alpha = 0.05$ y un 95 % de probabilidad mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados para la variable altura. El modelo explicó un 89 % de la variabilidad observada en los datos, con una variación del 12,91 % con relación a su media.

Se muestran diferencias estadísticas en la altura de las vitroplantas. El testigo presentó la mayor altura con 7.2 cm con respecto al demás tratamiento en estudio. Lo que indica que las bacterias endofíticas en estudio no promueven el crecimiento vegetal con respecto a la altura de planta (Figura 4).

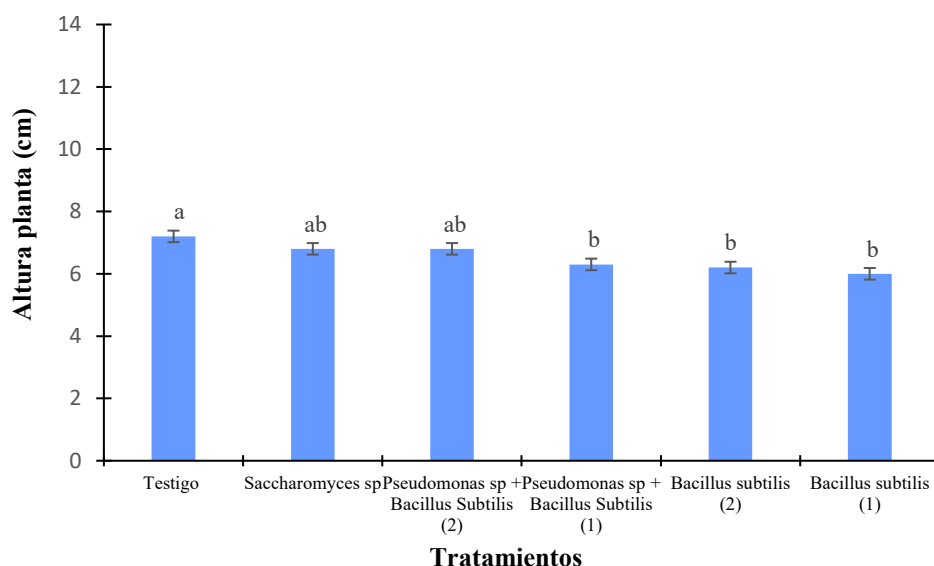


Figura 4. Efecto de las bacterias endófitas sobre la altura de vitroplantas de plátano.

Aunque estudios demuestran la capacidad de los endófitos como promotores de crecimiento Martínez (2006), quien demostró efectos positivos de los endófitos sobre la altura de plantas en plántulas de *Musa sp* y Núñez Pérez (2006) refiere que los microorganismos modulan procesos fisiológicos asociados a la división celular y a la síntesis de reguladores del crecimiento, mientras que Andrade *et al.* (2014) destacan su capacidad para producir sustancias bioestimulantes. En este estudio las bacterias no mostraron efectos significativos en la altura de planta.

5.4. Diámetro del tallo

El análisis de varianza realizado con un $\alpha = 0.05$ y un 95 % de probabilidad mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados para la variable Pseudotallo. El modelo explicó un 86 % de la variabilidad observada en los datos, con una variación del 6,50 % con relación a su media.

Se muestran diferencias estadísticas en el diámetro del pseudotallo de las vitroplantas. El testigo presentó el mayor diámetro con 6.32 con respecto al demás tratamiento en estudio. Lo que indica que las bacterias endofíticas en estudio no promueven el crecimiento vegetal con respecto al diámetro del pseudotallo de las vitroplantas (Figura 5).

Los tratamientos *Bacillus subtilis* y *Saccharomyces* sp mostraron el mayor número del diámetro pseudotallo entre 5 y 5.12 en comparación a los tratamientos con inoculaciones combinada de *Pseudomonas* + *Bacillus subtilis*.

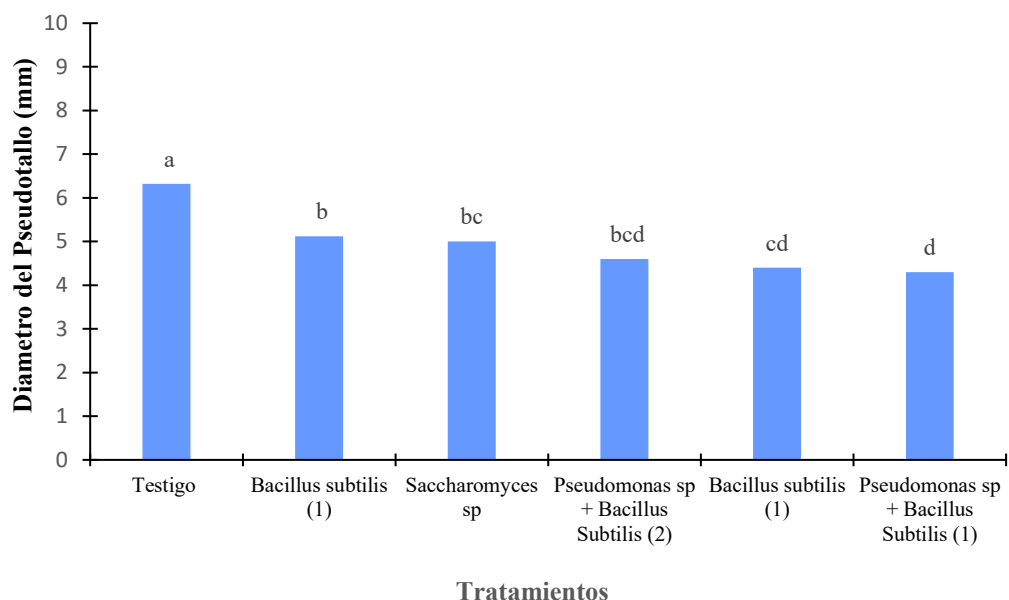


Figura 5. Efectos de bacterias endofíticas sobre el diámetro promedio del tallo

Los resultados obtenidos respaldan la interpretación hecha por Chaves (2007), quien atribuyó mejoras en crecimiento a la actividad metabólica de microorganismos endofíticos. Menjívar Barahona (2005) y Andrade *et al.* (2014) reportaron incrementos en desarrollo vegetal asociados a la acción de *Bacillus* sp., mientras que Gomes *et al.* (2017) y Sun *et al.* (2022) documentaron la capacidad de estas bacterias para favorecer el crecimiento mediante la producción de compuestos bioactivos. Lo cual en este estudio se demostró que las bacterias usadas no promueven el crecimiento vegetal en las vitroplantas de *Musa* sp usadas en el estudio.

5.5. Peso de raíz

El análisis de varianza realizado con un $\alpha = 0.05$ y un 95% de probabilidad, cuyo modelo explicó un 84% de la variabilidad observada en los datos, los cuales variaron un 16.52 % con relación a su media mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.0001$) (Anexo 5).

Se presentan diferencias estadísticas en el peso fresco de la raíz. Los tratamientos a base de *Bacillus subtilis* y *Saccharomyces* sp obtuvieron mayor peso fresco de raíz entre 11 y 11.3 esto refiere que estos géneros promueven mayor crecimiento del sistema radicular actuando como bioestimulante de la raíz (Figura 6).

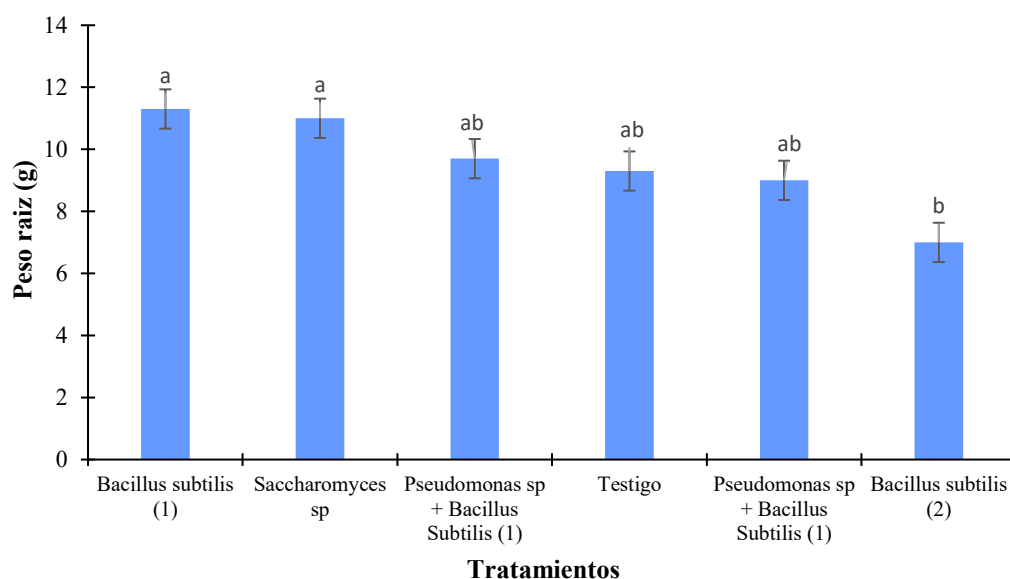


Figura 6. Peso promedio de raíz (g) en vitroplantas de plátano (*Musa paradisiaca* cv. Cuerno Enano) tratadas con bacterias endofíticas.

Los resultados refieren que las inoculaciones combinadas son pocas efectiva a aumenta peso raíz.

Suárez Álvarez (2016) explica el efecto de crecimiento de las raíces por los géneros *Pseudomonas* spp se debe a la capacidad de esta bacteria en solubilizar el fósforo en el suelo, así mismo Arévalo Rimarachín (2022) describió aumentos en la biomasa radical de plantas de cacao bajo condiciones de vivero al inocular cepas nativas de *Bacillus* spp. Esto evidencia la capacidad de *Bacillus* y *Pseudomonas* en la producción de sideróforos para aumentar peso radicular.

5.6. Peso total

El análisis de varianza realizado con un $\alpha = 0.05$ y un 95% de probabilidad, cuyo modelo explicó un 86% de la variabilidad observada en los datos los cuales variaron un 15.75 % con relación a su media (Cuadro 4); mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.0001$) (Anexo 5).

Se obtuvieron diferencias estadísticas en la variable peso fresco total, la inoculación de manera individual de *Bacillus subtilis* obtuvo el mayor peso con 38.2 g seguido del testigo con 37.5 g, los resultados demuestran que las inoculaciones combinadas no ejercen efecto en el peso fresco total con un peso similar de 30 a 25 g.

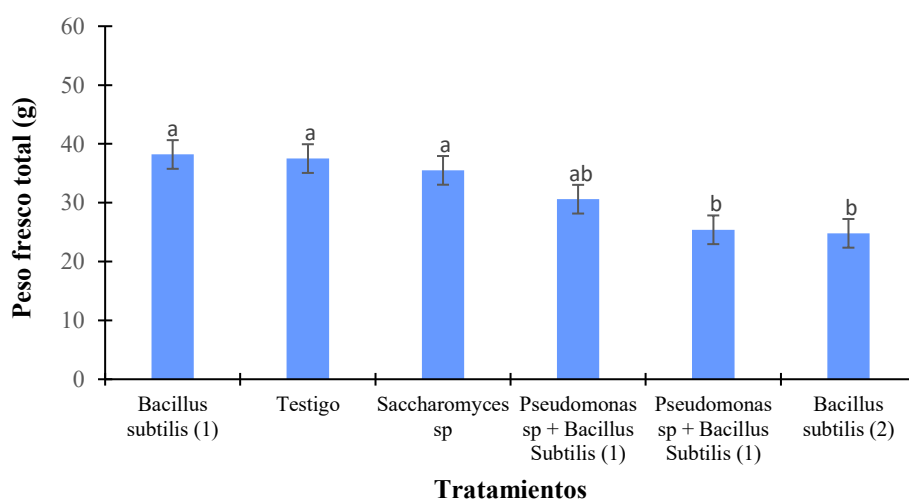


Figura 7. Peso total de plántulas de plátano tratadas con bacterias endófitas.

Chaves (2007) refiere que los organismos endófitos promueven el crecimiento vegetal mediante producción enzimática de compuestos bioactivos como el ácido indolacético estimulando crecimiento radicular. Así mismo Kinalwa (2023) refiere que inoculaciones combinadas de *Pseudomonas* y *Bacillus* mejoran la disponibilidad de nutrientes y favorecen una mayor acumulación de biomasa. Lo cual en este estudio las inoculaciones combinadas no ejercieron efecto en la variable peso fresco.

VI. CONCLUSIONES

Los tratamientos con *Bacillus subtilis* evidenciaron efecto en la reducción de la densidad de *Radopholus similis* en 10 g de raíz.

Los tratamientos con bacterias endófitas no promovieron incrementos significativos en la altura de la planta ni en el diámetro del pseudotallo; sin embargo, algunos tratamientos favorecieron el incremento del peso fresco de raíz.

VII. RECOMENDACIONES

Replicar el ensayo en condiciones semicontroladas y campo con el fin de evaluar la su efectividad como alternativa de manejo biológico frente a *Radopholus similis* fuera de ambiente controlado.

VIII. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5.^a ed.). Elsevier Academic Press.
<https://shop.elsevier.com/books/plant-pathology/agrios/978-0-08-047378-9>
- Andrade, A., García, J., & Martínez, L. (2014). *Evaluación de microorganismos endófitos en el crecimiento de plátano (Musa spp.)*. Universidad Nacional Agraria.
- Arévalo Rimarachín, N. J. (2022). *Bacillus spp. nativas como promotores del desarrollo vegetativo de clones de cacao en vivero* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/server/api/core/bitstreams/98f1dea4-45f8-42e4-b7af-4fbe348993b2/content>
- Athman, S. Y., *et al.* (2006). Effect of endophytic colonization on attraction and penetration of *Radopholus similis* in banana. *Nematology*. 8(2),. 257–266.
<https://doi.org/10.1163/156854106777998764>
- Banco Central de Nicaragua. (2024). *Plan nacional de producción, consumo y comercio 2024–2025*. p13.
https://www.bcn.gob.ni/sites/default/files/noticias/notas_prensa/2024/PNPCC%202024-2025.pdf
- Bautista, L., *et al.* (2015). Respuesta de fitonematodos de plátano *Musa* AAB Simmonds a estrategias de manejo integrado del suelo y nutrición. *Revista Luna Azul*, 40, 69–84.
<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321733015006.pdf>
- Berg, G., & Hallmann, J. (2006). Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. En B. Schulz, C. Boyle, & T. N. Sieber (Eds.), *Microbial root endophytes* (pp. 53–69). Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-33526-9>

- Chaves, N. P. (2007). *Utilización de bacterias y hongos endofíticos para el control biológico del nematodo barrenador Radopholus similis (Cobb) Thorne* [Tesis de maestría, CATIE]. Repositorio CATIE. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5635/Utilization_of_endophytic_bacteria_and_fungi.pdf
- Depaz Molina, K. E. (2010). *Resistencia de cuatro híbridos FHIA de banano (Musa acuminata × Musa colla) a sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4106>
- Durand, A., Piutti, S., Rue, M., Morel, J. L., Echevarria, G., & Benizri, E. (2015). Improving nickel phytoextraction by co-cropping hyperaccumulator plants inoculated by plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant and Soil*, 399, 179–192. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2691-2>
- Fegan, M., & Prior, P. (2005). How complex is the *Ralstonia solanacearum* species complex? En C. Allen, P. Prior, & A. C. Hayward (Eds.), *Bacterial wilt disease and the Ralstonia solanacearum species complex* (pp. 449–461). APS Press. https://www.researchgate.net/publication/37628297_How_Complex_is_the_Ralstonia_Solanacearum_Species_Complex
- Fogain, R. (2000). Effect of *Radopholus similis* on plant growth and yield of plantains (*Musa*, AAB). *Nematology*, 2(2), 129–133. https://brill.com/view/journals/nemy/2/2/article-p129_2.xml
- García, J. E. (2000). Consecuencias colaterales indeseables del uso de los plaguicidas. En *Introducción a los plaguicidas* (pp. 181–231). EUNED.
- Gomes, I., et al. (2017). Auxin production by endophytic bacteria isolated from banana trees. *Researchgate*. https://www.researchgate.net/publication/313479129_BRAZILIAN_ARCHIVES_OF_BIOLOGY_AND_TECHNOLOGY_A_N_I_N_T_E_R_N_A_T_I_O_N_A_L_J_O_U_R_N_A_L_Auxin_Production_by_Endophytic_Bacteria_Isolated_from_Banana_Trees

- Gowen, S. R., Quénéhervé, P., & Fogain, R. (2005). Nematode parasites of bananas and plantains. En M. Luc, R. A. Sikora, & J. Bridge (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (2.^a ed., pp. 611–643). CABI Publishing. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781786391247.0000>
- Guzmán-Piedrahita, O. (2011). El nematodo barrenador (*Radopholus similis* [Cobb]) del banano y plátano. *Revista Luna Azul*, 33, 137–153. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742011000200012
- Haegeman, A., *et al.* (2010). Emerging molecular knowledge on *Radopholus similis*, an important nematode pest of banana. *Molecular Plant Pathology*, 11(3), 315–323. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6640332/>
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: Ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79(3), 293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
- Hernández-Fernández, M., *et al.* (2021). Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for sustainable agriculture: A comprehensive review. *Plants*, 10(5), 822. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/5/822>
- Jones, D. R. (2000). Disease of banana, abaca and ensete. CABI Publishing. <https://www.musalit.org/seeMore.php?id=5477>
- Kinalwa, N. (2023). *Identification and evaluation of fungal and bacterial endophytes for management of Radopholus similis in East African Highland Bananas* [Tesis de maestría, Makerere University]. Makerere University Repository. <https://makir.mak.ac.ug/server/api/core/bitstreams/fa346cef-41e9-45a6-8357-40d0f5b1a603/content>
- Kumar, A., Kumar, R., Kumari, M., & Goldar, S. (2020). Enhancement of plant growth by using PGPR for sustainable agriculture: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(2), 152–165. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.902.019>

- Li, B., Li, Q., Xu, Z., Zhang, N., Shen, Q., & Zhang, R. (2014). Responses of beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to different soilborne fungal pathogens through the alteration of antifungal compounds production. *Frontiers in Microbiology*, 5, 636. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00636>
- Martínez, L. A. (2006). *Efecto de hongos endofíticos en el crecimiento de musáceas bajo condiciones controladas* [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. Repositorio Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/1558cad1-e99d-4bb3-ae6b-000e0fe3039e/content>
- Mendoza, A. R., & Sikora, R. A. (2008). Biological control of *Radopholus similis* in banana by combined application of the mutualistic endophyte *Fusarium oxysporum* strain 162, the egg pathogen *Paecilomyces lilacinus* strain 251 and the antagonistic bacteria *Bacillus firmus*. *BioControl*, 54(2), 263–272. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9181-x>
- Menjívar Barahona, R. D. (2005). *Estudio del potencial antagonista de endófitos para el biocontrol del nematodo barrenador Radopholus similis en plantaciones de banano en Costa Rica*. [Tesis de maestría, CATIE]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4997?locale-attribute=es>
- Ministerio Agropecuario. (2025, febrero 15). Nicaragua registra una excepcional producción de plátano en 2024. <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=278:nicaragua-registra-una-excepcional-produccion-de-platano-en-2024&catid=11>
- Ministerio Agropecuario. (2025, febrero 15). Producción de plátano 2022 aportó 18.2 millones de dólares a la economía nacional. <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=59:produccion-platano-aporta&catid=11>
- Mishra, S., Bhattacharjee, A., & Sharma, S. (2021). An ecological insight into the multifaceted world of plant-endophyte association. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 40(2), 127–146. <https://doi.org/10.1080/07352689.2021.1901044>

- Núñez Pérez, C. (2006). *Estudio de poblaciones de bacterias endofíticas de la rizosfera del banano para el biocontrol de nematodo barrenador Radopholus similis*. [Tesis de maestría, CATIE]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4122>
- Olivares, B. O., *et al.* (2021). Fusarium wilt of bananas: A review of agro-environmental factors in the Venezuelan production system affecting its development. *Agronomy*, 11(5), 986. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>
- Orion, D., Levy, Y., Israeli, Y., & Fischer, E. (1999). Scanning electron microscope observations on spiral nematode (*Helicotylenchus multicinctus*) infested banana roots. *Nematropica*, 29, 179–183. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/64247>
- Quénéhervé, P., *et al.* (2009). Nematode resistance in bananas: Screening results on some wild and cultivated accessions of *Musa* spp. *Euphytica*, 165(1), 123–136. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9773-7>
- Reimann, C., Gollotte, A., & Van Tuinen, D. (2008). The *Rhizobium etli* G12 strain promotes mycorrhization and induces systemic resistance in plants. *Mycorrhiza*, 18(5), 259–266. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0177-3>
- Rendón-Restrepo, L. (2020). *Capacitación a productores sobre el nematodo fitoparásito Radopholus similis, en cultivos de musáceas y su respectivo biocontrolador, Paecilomyces lilacinus, en el municipio de Andes-Antioquia, Colombia* [Tesis de grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio UdeA. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/2632fe05-4978-4638-b0b8-74b9050e27a7/content>
- Siddiqui, I. A., & Shaukat, S. S. (2003). Endophytic bacteria: Prospects and opportunities for the biological control of plant-parasitic nematodes. *Nematologia Mediterranea*, 31(1), 111–120. <https://journals.flvc.org/nemamedia/article/view/86735>
- Siddiqui, S., Siddiqui, Z. A., & Ahmad, I. (2005). Evaluation of fluorescent *Pseudomonas* and *Bacillus* isolates for the biocontrol of a wilt disease complex of pigeon pea. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21, 729–732. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-4799-z>

- Suárez Álvarez, J. L. (2016). *Inoculación de promotores de crecimiento y diferentes dosis de fertilización fosforada en cebada (Hordeum vulgare)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. TesiUNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/3be7df70-2c1a-4bc5-8186-e374ff983738/content>
- Sun., H., et al. (2022). Identification and combinatorial engineering of indole-3-acetic acid synthetic pathways in *Paenibacillus polymyxa*. *National library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35953838/>
- Valencia-Serna, R. A. *et al.* (2014). Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano Dominico Hartón (*Musa* AAB Simmonds). *Luna Azul*, 39, 165–185. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742014000200011
- Wu, W., *et al.* (2021). Beneficial relationships between endophytic bacteria and medicinal plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646146. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646146> PMC

IX. ANEXOS



Anexo 1. Cronograma de actividades realizadas durante el período de ejecución del trabajo de tesis (noviembre, 2024 – Noviembre, 2025).

No.	Rubros	Expectación científica	unidades	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo total C\$	Costo en US
	Gastos de movilización						
1	Pasaje	Se requiere venir 1 vez por semana durante 6 semanas pasaje de Roberto Contreras Sacacá, Managua	6	Servicio	C\$320.00	C\$1,920.00	\$ 52.45
2	Pasaje	Se requiere venir 1 vez por semana durante 6 semanas pasaje de Bryan Quirós, Managua	6	Servicio	C\$310.00	C\$1,860.00	\$ 50.79
3	Pasaje	Gira para recolección de nemátodos Managua, Rivas	30	Lts	C\$ 48.98	C\$1,469.40	\$ 40.13
4	Alimentación	Desayuno por los dos tesis	6	Servicio	C\$130.00	C\$1,800.00	\$ 49.15
5	Alimentación	Almuerzo por los dos tesis	6	Servicio	C\$130.00	C\$1,800.00	\$ 49.15
Subtotal						C\$8,849.40	\$ 241.67
Materiales y Equipos							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
Subtotal							
Criterios e insumos							
13	Arena pome	Promotor de retención de humedad en sustratos para invernadero	1	qq	C\$370.00	C\$ 370.00	\$ 10.00
14	Compost	mejora la calidad del suelo dando plantas sanas y de mejor producción	4	qq	C\$200.00	C\$ 800.00	\$ 21.84
15	Puertas	Puertas Invernadero Cierro en re	100	Banderas	C\$ 22.00	C\$2,200.00	\$ 60.07
16	Muebles	Se establecerán 100 unidades experimentales en unas macetas de 11 cm de longitud y 9.7 cm de altura	100	Caja	C\$ 30.00	C\$3,000.00	\$ 136.53
17	Alcohol		1	Galón	C\$500.00	C\$ 500.00	\$ 13.65
18							
Subtotal						C\$8,870.00	\$ 242.09
Materiales de oficina							
19	Papel bond		2	Rollo	C\$200.00	C\$ 400.00	\$ 10.92
20	Marcadores de vidrio		3	Paquete	C\$ 70.00	C\$ 210.00	\$ 5.73
21	Marcadores de permanentes		3	Individual	C\$ 20.00	C\$ 60.00	\$ 1.63
22	Empastado de tesis		3	Individual	C\$500.00	C\$1,500.00	\$ 40.96
23							
24							
25							
Subtotal						C\$2,170.00	\$ 59.24
Imprevisto 10%						C\$1,988.00	\$ 54.30
Total						C\$21,777.00	\$ 554.44

Anexo 2. Presupuesto detallado y ejecutado de los costos de la investigación, desagregado por rubro.

Nueva tabla : 25/8/2025 - 15:19:20 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nematodos/10 g	30	0.85	0.78	12.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	973.33	9	108.15	12.62	<0.0001
Tratamiento	658.67	5	131.73	15.38	<0.0001
Fecha	314.67	4	78.67	9.18	0.0002
Error	171.33	20	8.57		
Total	1144.67	29			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.81856

Error: 8.5667 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T16	32.00	5	1.31	A
T2	24.40	5	1.31	B
T4	22.60	5	1.31	B C
T3	19.80	5	1.31	B C
T5	19.00	5	1.31	B C
T1	18.20	5	1.31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

- - - - -

Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable nematodos en 10 g de raíz.

Nueva tabla : 25/8/2025 - 15:11:56 - [Versión : 30/4/2020]

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso Total	30	0.00	4.19	0.95	0.4541

Anexo 4. Prueba de normalidad Shapiro-Wilks modificada para la variable Peso Total.

Nueva tabla : 25/8/2025 - 15:10:57 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso Total	30	0.86	0.79	15.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3052.11	9	339.12	13.33	<0.0001
Tratamiento	886.95	5	177.39	6.97	0.0006
Fecha	2165.16	4	541.29	21.28	<0.0001
Error	508.69	20	25.43		
Total	3560.80	29			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=10.02586

Error: 25.4345 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	38.20	5	2.26 A
T16	37.52	5	2.26 A
T5	35.52	5	2.26 A
T3	30.66	5	2.26 A B
T4	25.44	5	2.26 B
T2	24.84	5	2.26 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5. Análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable Peso Total.

Nueva tabla : 25/8/2025 - 15:03:01 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro	30	0.91	0.86	6.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20.00	9	2.22	21.34	<0.0001
Tratamiento	13.67	5	2.73	26.26	<0.0001
Fecha	6.33	4	1.58	15.20	<0.0001
Error	2.08	20	0.10		
Total	22.09	29			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.64151

Error: 0.1041 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T6	6.32	5	0.14 A
T1	5.12	5	0.14 B
T5	5.04	5	0.14 B C
T4	4.60	5	0.14 B C D
T2	4.40	5	0.14 C D
T3	4.32	5	0.14 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable Diámetro del tallo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura	30	0.89	0.85	6.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32.65	9	3.63	18.92	<0.0001
Tratamiento	4.49	5	0.90	4.68	0.0054
Fecha	28.16	4	7.04	36.72	<0.0001
Error	3.84	20	0.19		
Total	36.49	29			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.87056

Error: 0.1918 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T6	7.20	5	0.20 A
T5	6.88	5	0.20 A B
T4	6.80	5	0.20 A B
T3	6.32	5	0.20 B
T2	6.24	5	0.20 B
T1	6.14	5	0.20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Altura de la planta.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso raíz	30	0.84	0.77	16.52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	274.06	9	30.45	12.02	<0.0001
Tratamiento	62.92	5	12.58	4.97	0.0041
Fecha	211.14	4	52.78	20.83	<0.0001
Error	50.67	20	2.53		
Total	324.73	29			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.16429

Error: 2.5336 gl: 20

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	11.30	5	0.71 A
T5	11.28	5	0.71 A
T3	9.78	5	0.71 A B
T16	9.36	5	0.71 A B
T4	9.02	5	0.71 A B
T2	7.06	5	0.71 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable peso de raíz.



Anexo 9. Ensayo experimental en maceteras con tratamientos microbianos bajo condiciones de invernadero



Anexo 10. Plantas de plátano, antes de su corte para su pesaje foliar



Anexo 11. Proceso de pesaje foliar de las vitroplantas de plátano utilizando balanza digital Ohaus en el laboratorio de fitopatología.



Anexo 12. Preparación y división de materiales para la elaboración del sustrato utilizado en la siembra de las vitroplantas de plátano.



Anexo 13. Corte y separación del sistema radical de las vitroplantas de plátano previo al pesaje de raíz.