



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**“(HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizantes en el cultivo de plátano
Musa AAB”**

AUTOR: Richard Humberto Murillo Mero.

TUTOR: Ing. Jorge Vivas, Mg.

El Carmen, 08 de agosto del 2026

 Uleam ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión de El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Murillo Mero Richard Humberto, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2026(1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "(HMA) y Bacillus subtilis como biofertilizantes en el cultivo de plátano Musa AAB."

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 03 de Agosto de 2026.

Lo certifico,


 Ing. Jorge Sifredo Vivas Cedeño Mg.

Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, pesca y Veterinaria

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

"(HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizantes en el cultivo de plátano *Musa AAB*".

AUTOR: Richard Humberto Murillo Mero

TUTOR: Ing. Jorge Vivas, Mg.

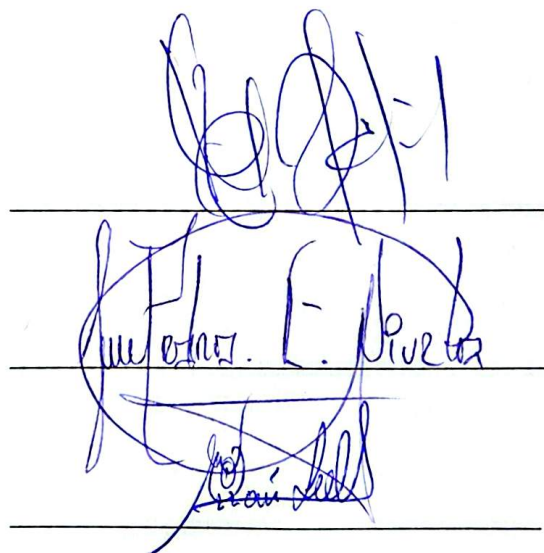
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Mg. Kleber Fernando Mejia Chanaluisa

Mg. Nivela Morante Pedro Eduardo

Mg. Avellán Vásquez Leonardo Enrique.



DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Richard Humberto Murillo Mero, con cédula de identidad 130462086-5, estudiante de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión El Carmen, de la carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autor de la tesis titulada "(HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizantes en el cultivo de plátano *Musa AAB*", esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total de su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados.

Atentamente:



Richard Humberto Murillo Mero

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a mi esposa, pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante durante cada etapa de este camino académico. Su compañía y confianza han sido una fuente permanente de fortaleza para seguir adelante y alcanzar esta meta.

A mi madre, por su presencia incondicional, por sus consejos, su fortaleza y el ejemplo de perseverancia que ha guiado mi vida. A mis hijos, **Alicia, Ignacio, Kahell y Emanuel**, a quienes deseo dejarles, más que un logro académico, un mensaje de vida: nunca es tarde para comenzar, aprender y luchar por los sueños. Que comprendan que la constancia, la disciplina y el esfuerzo permiten alcanzar las metas, sin importar las circunstancias ni la edad. Hoy, a mis **54 años**, este logro representa una prueba de que siempre es posible superar los desafíos y convertir los sueños en realidad.

A mis docentes universitarios, quienes confiaron en mí y me brindaron su apoyo y orientación, especialmente en aquellos momentos en los que sentí que ya no podía continuar. Gracias por compartir sus conocimientos con sabiduría, compromiso y vocación, y por demostrarme que la educación transforma y abre caminos.

Finalmente, a mis compañeros de estudio, quienes, a pesar de su corta edad, me acogieron con generosidad, respeto y compañerismo. Su apoyo y solidaridad hicieron de este recorrido una experiencia enriquecedora, recordándome que el aprendizaje también se construye desde la colaboración, la empatía y el apoyo mutuo.

A todos ustedes, mi gratitud, admiración y cariño. Este logro también les pertenece.

**Con cariño,
Richard**

AGRADECIMIENTO.

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por concederme la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar este importante proceso académico. A mi esposa y a mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión durante cada etapa de este camino, especialmente en los momentos de mayor exigencia. A mi madre, por su amor constante, sus consejos y su ejemplo de lucha y resiliencia, que han sido una guía permanente en mi vida.

Agradezco de manera especial a mis docentes universitarios, quienes, con vocación, profesionalismo y compromiso, compartieron sus conocimientos y me acompañaron cuando las dudas y el cansancio parecían superar mis fuerzas. Su orientación fue fundamental para no desistir.

Finalmente, expreso mi gratitud a mis compañeros de estudio, quienes, a pesar de la diferencia generacional, demostraron solidaridad, respeto y compañerismo, convirtiéndose en un apoyo valioso para alcanzar este logro académico.

Con cariño Richard.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	II
TÍTULO:.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I.....	15
1 MARCO TEÓRICO.....	15
1.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	15
1.1.1 Variedad de HMA.....	16
1.1.2 Beneficios de las micorrizas en los agroecosistemas.....	17
1.2 Bacillus subtilis.....	19
1.3 Biofertilizantes.....	20
1.3.1 Tipos de biofertilizantes.....	21
1.3.2 Importancia de los biofertilizantes en la agricultura sostenible.....	21
1.4 Cultivo de plátano.....	21
1.4.1 Importancia económica y social del plátano.....	21
1.4.2 Requerimientos nutricionales del cultivo.....	22
1.4.3 Problemas asociados al manejo convencional.....	22
CAPITULO II.....	23
INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	23
CAPÍTULO III.....	29
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Localización de la unidad experimental.....	29
3.2 Caracterización agroecológica de la zona.....	29
3.3 Variables.....	30
3.4 Variables independientes.....	30
3.4.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA).....	30
3.4.2 Bacillus subtilis.....	30
3.4.3 Métodos.....	30
3.4.4 Frecuencia.....	30
3.5 Variables dependientes.....	31
3.6. Unidad Experimental.....	31
3.7. Tratamientos.....	31
3.8. Características de las Unidades Experimentales.....	32

3.9.	Análisis Estadístico	32
3.10.	Instrumentos de medición	34
3.10.1.	Materiales y equipos de campo	34
3.10.2.	Materiales de oficina y muestreo	34
3.10.3.	Manejo del ensayo	34
3.10.4.	Evaluación de variables	34
3.10.5.	Registro de datos	34
3.10.6.	Consideraciones éticas y ambientales	35
3.10.7.	Procesamiento de la información	35
3.10.8.	Presentación de resultados	35
3.10.9.	Cronograma de actividades	35
3.10.10.	Delimitación del estudio	35
CAPÍTULO IV		36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1.	Variables fenológicas	36
4.2.	Variables de producción	38
CAPITULO V. CONCLUSIONES		40
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES		41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS		XXXVII
Anexo 1: Referencia de análisis físico-químico del suelo en el cantón El Carmen		XXXVII
Anexo 1: Imágenes sobre el trabajo de campo – experimento		XXXVII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características agroecológicas de la localidad.....	29
Tabla 2: Disposiciones de los tratamientos en estudio	32
Tabla 3: Características de la unidad experimental.....	32
Tabla 4: Esquema de ADEVA.....	33
Tabla 5: Altura promedio de planta	36
Tabla 6: Número promedio de hojas por planta	37
Tabla 7: Peso promedio del racimo (kg).....	38
Tabla 8: Diámetro del pseudotallo	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1: Altura de planta por tratamiento.....	36
Gráfico 2: Número promedio de hojas por planta	37
Gráfico 3: Peso del racimo y diámetro del pseudotallo	39

RESUMEN

La producción de plátano requiere que sea sostenible y para ello se necesitan alternativas que reduzcan el uso de fertilizantes químicos, para que mejore la salud del suelo. Desde esta perspectiva, la investigación realizada tuvo como objetivo general evaluar el (HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizantes en el cultivo de plátano *Musa* AAB, realizando un análisis de su efecto en el crecimiento vegetal, así como el rendimiento y otros indicadores de sostenibilidad agrícola. El estudio se ejecutó bajo un enfoque experimental, que utilizó un diseño con tratamientos que incluyeron la aplicación combinada e individual de HMA y *Bacillus subtilis*, que se comparaban con un tratamiento control. Las variables agronómicas que se evaluaron en la planta son, el número de hojas, producción, desarrollo radicular y de igual forma se consideraron parámetros relacionados con la fertilidad del suelo. De acuerdo a los resultados, se evidencia que la aplicación de biofertilizantes, sobre todo la combinación de HMA y *Bacillus subtilis*, benefició de forma significativa el desarrollo del cultivo, que permitió mejorar la absorción de nutrientes y con ello el vigor de las plantas en comparación con un manejo convencional. De la misma forma, se pudo detectar un impacto positivo en la sostenibilidad del sistema productivo; ya que, se disminuyó el uso de insumos químicos. Con ello, se concluye que el uso de HMA y *Bacillus subtilis* constituye una alternativa eficaz, viable y eficiente para el manejo sostenible de esta musácea y que contribuye a una agricultura más productiva y ecológica.

Palabras claves: Plátano, hongo, bacilus, micorrízicos, biofertilizantes.

ABSTRACT

Sustainable plantain production requires alternatives that reduce the use of chemical fertilizers in order to improve soil health. With this in mind, the research aimed to evaluate arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Bacillus subtilis* as biofertilizers for the Musa AAB plantain crop, analyzing their effects on plant growth, yield, and other indicators of agricultural sustainability. The study employed an experimental approach using a design that compared a control treatment against treatments involving the individual and combined application of AMF and *Bacillus subtilis*. Agronomic variables evaluated included leaf count, yield, and root development; parameters related to soil fertility were also considered. The results demonstrate that the application of biofertilizers—particularly the combination of AMF and *Bacillus subtilis*—significantly benefited crop development, enhancing nutrient uptake and plant vigor compared to conventional management. A positive impact on the sustainability of the production system was also observed, as the use of chemical inputs was reduced. Consequently, the study concludes that the use of AMF and *Bacillus subtilis* represents an effective, viable, and efficient alternative for the sustainable management of this Musa crop, contributing to more productive and ecologically friendly agriculture.

Keywords: Banana, fungus, Bacillus, mycorrhizal fungi, biofertilizers

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el crecimiento económico relacionado con la producción de plátano, tuvo un incremento considerable, ya que, existió un aumento en las hectáreas de cultivo del mismo, permitiendo que se dé un auge mayor en la producción de esta musácea; esto se debe a que el país cuenta con excelentes condiciones climáticas, que facilitan al cultivo, manteniendo un desarrollo y producción constante durante todo el año. Otro de los factores que facilitan la producción de plátano son las lluvias que mantienen la humedad necesaria para la actividad (PROECUADOR, 2015); en el país el plátano ocupa el cuarto puesto entre los cultivos de mayor superficie plantada con 110.110 hectáreas, y una producción de 610.413 toneladas al año, alcanzando una productividad 5,54 t. ha⁻¹ (INEC, 2016).

Una de las principales actividades en el campo agrario es el cultivo de plátano, que se desarrolla en la zona tropical del Ecuador, y más específicamente en el cantón El Carmen, la cual es una de las fuentes más importantes de ingresos para sus habitantes. Pero a pesar de esta condición, su producción se ve afectada por el uso descontrolado de fertilizantes químicos, aumentando los costos de producción, generando impactos negativos en el ambiente y el suelo.

Es así, que los productos químicos se han vuelto indispensable en este sistema de obtención de plantas, los mismos que se usan para evitar las plagas y enfermedades en el cultivo de plátano (Barea et al, 2018), sin embargo, este método de utilizar productos químicos en excesivo, ocasiona efectos negativos al medio ambiente; por lo que, se deben aplicar nuevas alternativas que disminuyan la utilización de químicos al cultivar esta Musa.

Frente a esta problemática, las alternativas biológicas, como los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA) y las bacterias benéficas como *Bacillus subtilis*, han cobrado interés por su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes, fortalecer la sanidad vegetal y promover un manejo sostenible del cultivo.

Es importante destacar que, las micorrizas son hongos que habitan en el suelo y colonizan las raíces de las plantas donde no ocasionan daños, por el contrario, brindan un beneficio a las plantas que permiten mejorar su nutrición y generando resistencia a las plagas y enfermedades, también la vuelve más tolerable a la sequía y salinidad (Barea et al, 2018), creando mayores beneficios económicos y ambientales, lo que garantiza una producción eficiente en el cultivo. En este contexto, el presente trabajo investigativo planteó evaluar la aplicación de

estos biofertilizantes en el cultivo de plátano, con el fin de contribuir a prácticas agrícolas más eficientes, rentables y ambientalmente responsables.

En El Carmen, muchos de los productores de plátano dependen del uso continuo de fertilizantes químicos para poder mantener los rendimientos idóneos en el cultivo de plátano, práctica que, eleva los gastos de producción, provocando deterioro del suelo, menor eficiencia en la absorción de nutrientes por la planta y disminución de la biodiversidad microbiana. Sin embargo, existen alternativas biológicas como los HMA y *Bacillus subtilis*, pero su uso aún es limitado, por la no existencia de información técnica local, capacitaciones y ensayos demostrativos.

Así, se plantea la pregunta de investigación que es ¿Cuál es el beneficio de la aplicación de HMA y *Bacillus subtilis* como fertilizante, en el rendimiento y sanidad del cultivo de plátano?

Es por ello, que la necesidad de búsquedas de alternativas de prácticas agrícolas sostenibles es urgente debido al incremento del costo de los insumos químicos y al deterioro gradual del suelo. Ante esto, la utilización de los HMA y *Bacillus subtilis* representan una alternativa importante para mejorar la disponibilidad de nutrientes, promover el desarrollo radicular, reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos e incrementar la resistencia a estrés.

Los hongos micorrícicos *arbusculares* (HMA) forman una relación mutuamente beneficiosa con la mayoría de las plantas terrestres. Los hongos micorrícicos *arbusculares* (HMA) se clasifican como simbiontes obligatorios porque no pueden desarrollarse sin una planta huésped. Esta característica dificulta su propagación biológica a gran escala (Busso, 2022).

Un sustituto viable de los fertilizantes sintéticos es la utilización de fertilizantes orgánicos y microorganismos altamente eficaces. Una investigación sobre el desarrollo de las plantas de banano mediante la utilización de los fertilizantes orgánicos revela que la implementación y utilización de dichos fertilizantes en las plantaciones de banano mejora la fertilidad del suelo, aumenta la producción y preserva el ecosistema (Galecio- Julca et al., 2020).

Este estudio fue pertinente porque permitirá generar información local aplicable a las condiciones del cantón El Carmen, favoreciendo a los productores que buscan sistemas de producción más económicos y sostenibles. Además, contribuye a los objetivos de formación profesional al vincular la investigación científica con las necesidades reales del sector agropecuario.

Es así que el trabajo realizado tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la aplicación de Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizantes en el cultivo de plátano; el mismo que fue complementado con los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Determinar la influencia de los HMA y *Bacillus subtilis* en el crecimiento vegetativo del cultivo de plátano.
- ✓ Comparar el rendimiento del cultivo bajo tratamientos biológicos y manejo convencional.
- ✓ Realizar un análisis del suelo antes y después de la aplicación de los biofertilizantes.
- ✓ Estimar la reducción del uso de fertilizantes químicos al incorporar biofertilizantes en el manejo del cultivo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares

El tipo de sociedad hongo-raíz más propagado en la naturaleza se considera al endomicorriza o micorriza *arbuscular*, que está formada por ciertos zigomicetos, desarrollados en red de Hartig y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por estructuras especializadas denominadas *arbúsculos*, las mismas que actúan como órganos de intercambio de nutrientes entre la célula vegetal y el huésped. También hay que destacar que algunos géneros de estos hongos forman otro tipo de estructuras llamadas vesículas, que se componen principalmente por lípidos; las mismas que están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrimentos para el hongo.

La existencia *arbúsculos* y vesículas, dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesículo-*arbuscular* (V-A), aunque, no todas las especies de hongos forman vesículas, es por eso que actualmente esa asociación se conoce como micorriza *arbuscular* (MA). Los estudios demuestran que cerca de un 95% de las especies de plantas superiores pertenece a familias característicamente micotróficas, lo que quiere decir, que están asociadas con hongos (Trappe, 1987), de igual forma, existen muchos reportes de micorrizas *arbusculares* que también ocurren en pteridofitas como los helechos y en plantas no vasculares como las briofitas sensu lato (briofitas en sentido laxo) (Scagel et al., 1982; Brown, 1982; Bonfante-Fasolo, 1984), tres hipótesis apoyan esta aseveración:

- a) “Las micorrizas causadas por asco y basidiomicetos son un tipo de simbiosis más avanzada que la formada por los zigomicetos, ya que se encuentra más tardíamente en el registro fósil y se relaciona con taxa de hospederos más avanzados” (Scagel et al., 1982).
- b) “La capacidad de las plantas para establecer o no la asociación con el hongo, es decir de ser micotróficas facultativas, se presenta principalmente en vegetales con un tipo de raíz “graminoide” que exhibe un buen desarrollo de pelos radicales y ausencia frecuente de colonización fúngica” (Trappe, 1987).
- c) c) Las plantas vasculares terrestres evolucionaron a través de asociaciones tróficas con hongos primitivos y actualmente están progresando evolutivamente mediante otros tipos de asociaciones fúngicas más avanzadas hacia una independencia final del hongo” (Trappe, 1987).

Es necesario destacar que la simbiosis micorrízica *arbuscular* es la más antigua de estas sociedades, no está definida en que tiempo apareció; lo que se conoce son unas esporádicas menciones en la literatura que la sitúan en el fanerozoico, pero, no se conoce dónde, cuándo ni cómo estos hongos se asociaron con plantas. Simon et al., (1993) menciona a partir de datos fósiles y moleculares que las raíces y los hongos micorrízico-*arbusculares* han presentado una vida cooperativa desde el devónico.

Existen también otros autores como, Pirozinski y Dalpé (1989) que efectuaron una revisión de especímenes fósiles de *Glomus*, uno de los géneros de hongos endomicorrízicos con mayor número de especies conocidas, desde el Cámbrico-Ordovícico (Paleozoico) hasta el Pleistoceno (Cuaternario), los mismos concluyen que a semejanza de las especies actuales de *Glomus*, parecen haber estado asociados con plantas como simbiontes biotróficos, endófitos y la colonización de la tierra por las plantas pudo haberse facilitado por una asociación mutualista con estos hongos.

Es así, que la importancia de la simbiosis planta-hongos que forman micorrizas *arbusculares* (HFMA) se reconoce a nivel mundial, pero existen algunos aspectos sobre la función y estructura de las comunidades en agroecosistemas tropicales que no han sido estudiados. La mayor parte de las investigaciones han estado relacionadas con los beneficios de la simbiosis en diferentes hospederos, sobre todo en aspectos de nutrición vegetal, productividad y sustitución de fertilizantes, lo que ha permitido determinar el potencial de uso de estos microorganismos en sistemas de producción convencional o en sistemas de producción limpia (REY et al., 2005).

Es importante considerar que las comunidades de HFMA son dinámicas en el tiempo, y pueden ser moduladas por características del suelo (físicas, químicas y biológicas) y por aspectos climáticos, que en el caso del trópico colombiano están asociados a la altitud. La diversidad de HFMA ha sido estudiada a diferentes niveles jerárquicos, sin embargo, se desconoce el papel de esta diversidad en el establecimiento de simbiosis efectivas con diversas especies de pasturas.

1.1.1 Variedad de HMA

Los estudios taxonómicos tradicionalmente sobre los hongos micorrízicos *arbusculares* (HMA) se han basado en la apariencia de las esporas y la morfología. Numerosas familias y géneros han sido distinguidos por la unión de la hifa y el modo de formación de la espora, sin

embargo, la subestructura de las paredes de las esporas juega un papel importante en la identificación de las especies. En los principios de la década anterior, los HMA se convirtieron en el cetro de investigaciones basadas en el ADN a través de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), donde uno de los aspectos a tratar es el concerniente a la filogenia y taxonomía de estos organismos, así como su identificación y monitoreo en el suelo (RODRIGUEZ et al., 2009). SCHÜBLER et al., (2001), propone la siguiente clasificación taxonómica actual de los HMA. (Rev. Colombiana cienc. Anim. 3(2).2011).

Dominio: Eukarya

Reino: Fungi

División: Glomeromycota

Clase: Glomeromycetes

Orden: Archeosporales

Los estudios que se han hecho sobre identificación, aislamiento y determinación del porcentaje de colonización de hongos que forman las micorrizas *arbusculares* (HMA), asociados a la rizósfera del pasto *Dichanthium aristatum* Benth, de fincas ganaderas del municipio de Tolú-Colombia, reportaron la presencia de 25 morfotipos con características similares a HMA. Obteniendo como resultados que el 92% de las especies encontradas correspondieron a características de HMA similares al género *Glomus*, el 4% al género *Gigaspora* y el 4% restante a *Paraglomus* (PÉREZ y PEROZA, 2011).

Existe otra investigación con HMA asociada a la especie de pasto colosoana de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Colombia, donde se identifican 31 morfotipos de HMA, del total aislado, un 96.9% correspondieron a morfotipos con características similares a especie dentro del género *Gigaspora*, con un *Glomus* y 3.1% (PÉREZ et al., 2010).

1.1.2 Beneficios de las micorrizas en los agroecosistemas

En los ecosistemas y agroecosistemas, los HMA, son de gran importancia debido a que mediante la simbiosis las plantas pueden obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estreses bióticos y abióticos, reducir competencia entre plantas mediante la transferencia de carbono a través de la red de hifas extraradical y modular la diversidad y productividad de plantas (SIMARD et al., 1997; SIMARD y DURALI, 2004). Dado que la

simbiosis es un proceso recíproco hongo-planta, es importante conocer también el papel de la comunidad de plantas en la estructura y diversidad de la comunidad. de HFMA (BURROWS y PFLEGER, 2002).

La inoculación con hongos formadores de micorrizas es conocida por incrementar el crecimiento de muchas especies de plantas. Es atribuido un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; producción de sustancias promotoras de crecimientos, tolerancia a estrés hídricos; salinidad, estrés por trasplante; resistencia a plantas por fitopatógenos e interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos del suelo (AZCÓN y BAREA, 1996; BOBY, et al; 2008). La fisiología de la planta micorrizada cambia completamente cuando se asocia al hongo. Mediante el micelio externo, el contacto entre las raíces y el medio se incrementa considerablemente.

Los resultados obtenidos a través de modelos matemáticos construidos para densidad poblacional de esporas de HMA en función de parámetros físicos-químicos, indican que la abundancia de esporas de HMA en los suelos está directamente relacionada a la concentración de los elementos intercambiables de magnesio (Mg), sodio (Na) y de los valores de densidad aparente (Da) e inversamente relacionada a los valores de Cobre (Cu) y Manganeseo (Mn). La colonización de HMA está directamente relacionada a los valores de los elementos intercambiables de potasio (K) y sodio (Na), de zinc (Zn) y del porcentaje de hidrogeno en los suelos e inversa a los valores de los elementos de Ca y Mg intercambiable. Estudios realizados por Pérez y Peroza, (2010), para establecer relación entre el proceso de esporulación y colonización de HMA asociados al pasto angletón en función a factores físico-químico y de salinidad de los suelos de fincas ganaderas del municipio de Tolú-Colombia, determinaron varios modelos matemáticos para predecir dichos procesos.

Los hongos formadores de micorrizas *arbusculares* deben ser considerados, entonces, como parte de la diversidad biológica de los suelos y deben ser incluidos tanto en los inventarios como en los análisis de la biodiversidad a nivel de ecosistemas y agroecosistemas. Las micorrizas *arbusculares* son un importante factor biológico dentro de la estructura y funcionamiento de los suelos e inciden sobre el comportamiento ecológico, productividad y composición de comunidades vegetales naturales, así como de cultivos agrícolas y plantaciones forestales.

Los hongos micorrízicos constituyen un recurso biológico importante en este sentido. Su contribución a la química biológica, y la calidad física del suelo ha sido reconocida, aunque aún quedan muchas preguntas de cómo gestionar de forma óptima estos hongos benéficos. Más información fundamental y estudios estratégicos dirigidos a la influencia de las micorrizas sobre las praderas, son necesarios. La producción sostenible de pasturas en los trópicos es severamente limitada por la fragilidad de los suelos, siendo propensos a diversas formas de degradación. Hacer un mejor uso de los recursos biológicos en estos suelos puede contribuir a aumentar la sostenibilidad.

1.2 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una procariota ampliamente distribuida en la naturaleza, que se aísla de una gran variedad de ambientes. Su forma es bacilar con un diámetro de 850 nm, es Gram positiva; generalmente, móvil con flagelos peritricos, aerobia y anaerobia facultativa, además de catalasa positiva que degrada el almidón. (Earl et. al., 2010).

Es conocida por la producción de una gran variedad de compuestos con acción antimicrobiana, además de ser considerada una fábrica celular con aplicación en la industria. Crece en un amplio intervalo de pH de entre 4.9 a 9.3, a temperaturas de 10 a 48 °C y un óptimo de 28 a 35 °C, con la capacidad de formar endosporas (Su et al., 2020).

La primera, ocurre en condiciones bióticas y abióticas favorables, en donde la población bacteriana se desarrolla de forma exponencial dividiéndose de manera simétrica por fisión binaria. Su clasificación taxonómica es la siguiente; *phylum: Firmicutes*, clase: *Bacilli*, orden: *Bacillales*, familia: *Bacillaceae*, género: *Bacillus*, especie: *B. subtilis* Su ciclo de vida se divide en dos fases: crecimiento vegetativo o somático y esporulación. (Skerman et. al., 2020).

En un escenario de inanición o estrés nutricional, ocurre la segunda fase o formación de las endosporas, estructuras de resistencia que pueden permanecer viables por periodos largos de tiempo sobreviviendo en condiciones extremas de temperatura, desecación, pH y radiación solar, las cuales pueden germinar en respuesta a señales químicas ambientales que indican que el medio es propicio para el desarrollo vegetativo (Wu, 2017).

En *B. subtilis* es un proceso que se comprende a gran detalle y que implica una división celular asimétrica, en donde se puede observar la preespora la cual está inmersa en la célula madre con la función de proteger al genoma. El propósito de la esporulación es producir células

latentes metabólicamente inactivas. Esta estructura, después de un complejo proceso que involucra ocho fases (0-VII), se lisa para dejar libre a la endospora madura. (Errington & Wu, 2017)

este proceso depende de dos factores secretados denominados de muerte *Skf* y *Sdp*, lo cual incrementa los nutrientes circundantes que son aprovechados por las células “caníbales” para el desarrollo, replicación del material genético y producción de toxinas. En la Fase 0 una subpoblación bacteriana detecta las condiciones de inanición y mata a las células vecinas que siguen en estado somático. (Liu et al, 2013).

La entrada a la esporulación es regulada por el factor de transcripción Spo0A, que es activado por un sistema de autofosforilación que involucra a las *histidin kinasas* *KinA*, *KinB*, *KinC*, *KinD* y *KinE*, a partir de las cuales el grupo fosforil es transferido a Spo0A por las fosfotransferasas *Spo0F* y *Spo0B*, el resultado es Spo0A-fosforilado que regula a los genes relacionados con la formación de la endospora. (Wu, 2017)

1.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes se convierten en una alternativa sostenible de los sistemas agrícolas modernos, permitiendo mejorar la nutrición vegetal y la fertilidad del suelo con el uso de microorganismos benéficos, buscando reducir la dependencia de fertilizantes químicos, y promover los procesos biológicos naturales que favorecen la conservación del suelo y el crecimiento de las plantas.

Los fertilizantes químicos actúan con componentes que alteran el suelo y a la larga con el uso continuo lo deterioran, por el contrario los biofertilizantes actúan mediante mecanismos biológicos que mejoran la eficiencia nutricional sin generar impactos negativos en el ambiente; por lo que, se definen como productos que contienen microorganismos vivos capaces de colonizar la rizosfera o el interior de las plantas, facilitando la absorción y disponibilidad de nutrientes esenciales.

Según Vessey (2003), los biofertilizantes pueden describirse como “microorganismos vivos que, al aplicarse favorecen el crecimiento vegetal al incrementar el suministro o disponibilidad de nutrientes primarios a la planta” (p. 294).

1.3.1 Tipos de biofertilizantes

Existen diferentes tipos de biofertilizantes, entre los que se destacan los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA), las bacterias fijadoras de nitrógeno y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Bacillus subtilis*, actuando mediante procesos como la solubilización de nutrientes, la producción de sustancias bioactivas y la fijación biológica de nitrógeno.

Según Bhardwaj et al. (2014), “los biofertilizantes microbianos desempeñan un papel clave en la mejora de la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos al estimular procesos naturales del suelo” (p. 41).

1.3.2 Importancia de los biofertilizantes en la agricultura sostenible

La aplicación de biofertilizantes se convierte en la sostenibilidad agrícola al mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Sobre todo, permiten minimizar la contaminación ambiental asociada al uso excesivo de insumos químicos y reducen costos de producción.

Luna y Martínez (2018) señalan que “la incorporación de biofertilizantes en los sistemas de producción agrícola favorece la sostenibilidad de la actividad biológica del suelo, mejorando la eficiencia del uso de nutrientes” (p. 67).

1.4 Cultivo de plátano

El cultivo de plátano (*Musa spp.*) es uno de los más importantes a nivel mundial por su aporte económico y alimenticio. Representa una fuente fundamental de ingresos y empleo en el Ecuador, sobre todo en las zonas tropicales, donde las condiciones climáticas favorecen su desarrollo.

1.4.1 Importancia económica y social del plátano

Un alimento básico en la dieta de la población, es el plátano y también es un producto estratégico para la economía agrícola. La producción del plátano se asocia principalmente a pequeños y medianos agricultores, fortaleciendo el desarrollo rural y la seguridad alimentaria.

Según FAO (2020), “uno de los cultivos alimentarios más importantes en las regiones tropicales es el plátano, debido a su valor socioeconómico y alto consumo” (p. 12).

1.4.2 Requerimientos nutricionales del cultivo

En relación a su valor nutricional, el plátano, presenta altos requerimientos nutricionales, especialmente de fósforo, nitrógeno y potasio, debido a su elevada producción de biomasa y rápido crecimiento. Un manejo inadecuado de la fertilización puede afectar drásticamente la calidad del cultivo y rendimiento.

De acuerdo con Robinson y Galán Saúco (2012), “las musáceas requieren un suministro constante de nutrientes para mantener un crecimiento idóneo y una producción eficiente” (p. 95).

1.4.3 Problemas asociados al manejo convencional

El manejo convencional del cultivo de plátano se ha caracterizado por el uso intensivo de fertilizantes químicos, lo cual ha generado problemas como degradación del suelo, disminución de microorganismos benéficos y aumento de los costos de producción.

Castillo et al. (2016) indican que “el uso prolongado de fertilización química en musáceas reduce su actividad biológica y provoca deterioro del suelo” (p. 143).

CAPITULO II

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La producción de plátano constituye una actividad agrícola de gran importancia económica y social en las regiones tropicales, especialmente en el Ecuador, donde este cultivo representa un sustento fundamental para pequeños y medianos productores. Es así, que el manejo convencional del cultivo ha dependido según se demuestra en el tiempo, del uso intensivo de fertilizantes químicos, generando problemas asociados a la degradación del suelo, altos costos de producción y disminución del microbiota benéfica.

La problemática expuesta anteriormente, ha tenido como efecto que en las últimas décadas se incrementa el interés por el uso de biofertilizantes como una alternativa sostenible para mejorar la productividad agrícola sin comprometer los recursos naturales. Dentro de estas alternativas destacan los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA) y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, cuyo uso se ha incorporado progresivamente en sistemas agrícolas tropicales debido a sus beneficios comprobados sobre la nutrición vegetal y la sanidad del cultivo.

El desarrollo de investigaciones relacionadas con microorganismos benéficos ha permitido establecer bases teóricas y técnicas para su aplicación en diversos cultivos, incluyendo las musáceas. Lo expuesto evidencia la necesidad de continuar fortaleciendo prácticas agrícolas sostenibles que mantengan una productividad del plátano y a la vez reduzcan la dependencia de insumos químicos y promuevan un manejo más equilibrado del agroecosistema.

Estudios que se han presentado internacionalmente demuestran que la aplicación de Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA) en cultivos agrícolas mejora de forma significativa la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y favorece el desarrollo del sistema radicular. En investigaciones realizadas en cultivos de plátano y banano, se ha observado que las plantas inoculadas con HMA presentan mayor vigor, incremento en la biomasa y mayor resistencia frente a condiciones de estrés ambiental.

Por otro lado, investigaciones enfocadas en el uso de *Bacillus subtilis* han señalado su efectividad como biofertilizante y agente de control biológico. Esta bacteria actúa promoviendo el crecimiento vegetal mediante la producción de sustancias bioestimulantes,

además de inhibir el desarrollo de microorganismos patógenos presentes en el suelo. Los estudios realizados sobre musáceas, *Bacillus subtilis* demuestran resultados favorables en la mejora del estado fitosanitario del cultivo y en el fortalecimiento del sistema radícula.

La sinergia entre ambos microorganismos ha demostrado potenciar los beneficios individuales, lo cual resulta particularmente relevante en el cultivo de plátano debido a sus altas exigencias nutricionales. Asimismo, trabajos modernos han evaluado la aplicación combinada de HMA y bacterias benéficas, reportando efectos positivos sobre el rendimiento y la eficiencia nutricional de las plantas.

A nivel nacional, se han desarrollado investigaciones orientadas al uso de microorganismos benéficos en sistemas agrícolas sostenibles; sin embargo, son limitados los estudios que evalúan de manera específica la aplicación conjunta de HMA y *Bacillus subtilis* en el cultivo de plátano bajo condiciones edafoclimáticas locales, lo que justifica la realización del presente estudio.

La agricultura moderna enfrenta actualmente importantes desafíos relacionados con el incremento de la demanda alimentaria, el deterioro de los recursos naturales y la necesidad de adoptar prácticas productivas sostenibles. Estas problemáticas han impulsado la búsqueda de alternativas que permitan mantener rendimientos adecuados sin comprometer el equilibrio ambiental. De igual forma, durante décadas, los sistemas agrícolas convencionales se han basado en el uso intensivo de fertilizantes químicos y agroquímicos, los cuales, si bien han permitido aumentar la productividad, también han generado efectos negativos como la degradación del suelo, contaminación de fuentes hídricas, aumento de los costos de producción y, pérdida de biodiversidad microbiana.

Dentro de estas alternativas, el empleo de microorganismos benéficos del suelo, conocidos como biofertilizantes, se ha consolidado como una estrategia viable para mejorar la eficiencia nutricional de las plantas y reducir la dependencia de productos sintéticos. En este contexto, el concepto de agricultura sostenible ha cobrado especial importancia, promoviendo el uso racional de insumos y el aprovechamiento de procesos biológicos naturales para mejorar la fertilidad del suelo y el desarrollo de los cultivos.

En el Ecuador, el plátano constituye un rubro estratégico, especialmente en zonas de la Costa, donde su producción es una fuente principal de ingresos para miles de familias. Sin embargo, este cultivo se caracteriza por una alta demanda nutricional, lo que ha llevado a un uso

intensivo de fertilizantes químicos para mantener niveles óptimos de productividad. El cultivo de plátano (*Musa spp.*) representa uno de los sistemas agrícolas más relevantes en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, tanto por su valor económico como por su importancia en la seguridad alimentaria.

Estas condiciones han generado la necesidad de implementar prácticas de manejo del suelo que contribuyan a su recuperación y conservación, asegurando la sostenibilidad del sistema productivo a largo plazo. La aplicación continua de fertilización química en el cultivo de plátano ha provocado, en muchos casos, el empobrecimiento del suelo, la disminución de su actividad biológica y una menor eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Entre estos microorganismos destacan los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA), los cuales establecen relaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas cultivadas. Esta asociación permite un intercambio beneficioso, donde el hongo facilita la absorción de nutrientes minerales y agua, mientras que la planta proporciona carbohidratos necesarios para el desarrollo del microorganismo. Ante esta problemática, diversos estudios han resaltado la importancia de los microorganismos del suelo como componentes clave en los procesos de nutrición vegetal.

Los HMA contribuyen a mejorar la estructura del suelo, aumentar la estabilidad de los agregados y fomentar una mayor actividad microbiana, lo que se traduce en suelos más productivos y resilientes. Además, desempeñan un papel fundamental en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, ya que incrementan la superficie de absorción del sistema radicular, favoreciendo principalmente la asimilación de fósforo, un nutriente esencial que suele encontrarse en formas poco disponibles para las plantas.

Esta bacteria benéfica ha sido ampliamente estudiada debido a su capacidad para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de diversos mecanismos, como la producción de fitohormonas, la solubilización de nutrientes y la inducción de resistencia frente a patógenos del suelo. Otro grupo de microorganismos de gran interés en la agricultura sostenible corresponde a las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, entre las cuales destaca *Bacillus subtilis*.

La capacidad de *Bacillus subtilis* para sobrevivir en condiciones adversas y colonizar eficientemente la rizosfera la convierte en una opción adecuada para su aplicación en sistemas

agrícolas tropicales, como el cultivo de plátano, como biofertilizante ha demostrado ser una alternativa efectiva para mejorar la sanidad y vigor de los cultivos, además de contribuir a un manejo integrado del suelo.

La incorporación de HMA y bacterias benéficas en programas de fertilización biológica ha mostrado resultados favorables en la mejora del crecimiento vegetal, el incremento del rendimiento y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes. En el transcurso de los años la investigación agrícola ha generado antecedentes que evidencian el impacto positivo de la aplicación de microorganismos benéficos en el desarrollo sostenible de los cultivos.

Los antecedentes indican en el caso específico del cultivo de plátano, que la utilización de biofertilizantes contribuye a fortalecer el sistema radicular, mejorar el estado nutricional de la planta y aumentar su tolerancia a condiciones de estrés, tales como la sequía o la presencia de organismos patógenos, resultando especialmente relevantes en zonas donde los suelos presentan limitaciones de fertilidad o han sido sometidos a un manejo agrícola intensivo.

No obstante, aunque existen antecedentes sobre el uso individual de biofertilizantes, aún es limitado el conocimiento relacionado con la evaluación integral de diferentes microorganismos benéficos aplicados de forma conjunta en el cultivo de plátano bajo condiciones locales. En el ámbito nacional, el interés por la implementación de prácticas agrícolas sostenibles ha ido en aumento, promoviendo la adopción de tecnologías limpias y el uso de insumos biológicos en la producción agrícola.

Lo descrito anteriormente evidencia la necesidad de continuar investigando alternativas que optimicen la producción de plátano de manera sostenible. La aplicación como biofertilizantes de Hongos Micorrízicos *Arbusculares* y *Bacillus subtilis*, se presenta como una opción prometedora para conservar la calidad del suelo, mejorar la eficiencia nutricional del cultivo y reducir el impacto ambiental que ocasiona la fertilización química.

Diversos estudios científicos han evaluado el uso de microorganismos benéficos como alternativa para mejorar la sostenibilidad y productividad de los cultivos agrícolas, en especial en musáceas como el plátano, desarrollando estudios que evalúen el efecto de estos microorganismos en sistemas productivos de plátano contribuye a fortalecer las bases técnicas y científicas para la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, alineadas con las necesidades ambientales del sector agropecuario ecuatoriano y productividad.

Ferrera-Cerrato y Alarcón (2007) desarrollaron una investigación cuyo tema fue la aplicación de Hongos Micorrízicos *Arbusculares* en cultivos de interés agrícola, donde evaluaron el impacto de la inoculación micorrízica sobre el crecimiento y absorción de nutrientes. Los resultados demostraron que las plantas asociadas con HMA presentaron mayor desarrollo radicular y mejor aprovechamiento del fósforo del suelo. Los autores concluyeron que los HMA representan una herramienta eficaz para mejorar la fertilidad del suelo y promover una agricultura más sostenible.

Por su parte, Smith y Read (2008) realizaron un estudio enfocado en la función de los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* en la nutrición y desarrollo vegetal. A través del análisis de diferentes cultivos, evidenciaron que la simbiosis micorrízica mejora la absorción de nutrientes minerales y aumenta la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés. Quienes concluyen que la incorporación de HMA es fundamental para optimizar la eficiencia nutricional en sistemas agrícolas con bajo contenido de nutrientes disponibles para el beneficio del cultivo.

Kloepper et al. (2004) realizaron un estudio cuyo tema fue la evaluación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, incluyendo *Bacillus subtilis*, en cultivos agrícolas. Cuyos resultados indicaron que la aplicación de estas bacterias estimuló el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas y la supresión de patógenos del suelo. Lo que hace ver que *Bacillus subtilis* contribuye significativamente a la sanidad del cultivo y el fortalecimiento del sistema radicular.

Asimismo, Glick (2012) realizó una investigación centrada en la interacción entre bacterias promotoras del crecimiento vegetal y el desarrollo de las plantas. El estudio evidenció que *Bacillus subtilis* favorece el crecimiento de las plantas al mejorar la disponibilidad de nutrientes y reducir el estrés fisiológico, determinando que estas bacterias son una alternativa viable a la fertilización química tradicional.

Moreira et al. (2010) en Brasil realizaron un trabajo relacionado con la aplicación conjunta de microorganismos benéficos en cultivos tropicales, donde evaluaron la combinación de HMA y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, quienes demostraron un efecto sinérgico que se reflejó en la mejor absorción de nutrientes en comparación con aplicaciones individuales y un mayor desarrollo vegetativo. Lo que reflejó que la combinación de biofertilizantes contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo y potencia los beneficios agronómicos.

En lo relacionado a Ecuador, INIAP (2016) realizó una investigación para evaluar alternativas

biológicas de producción sostenible de plátano, analizando el efecto del uso de biofertilizantes en condiciones locales. Las evidencias demuestran que existió una mejora en el vigor de las plantas y reducción del uso de fertilizantes químicos; que, en conclusión, se determina que los insumos biológicos constituyen la opción más idónea para fortalecer la sostenibilidad del cultivo de plátano en el país.

En general, los trabajos revisados coinciden en que la aplicación de Hongos Micorrízicos Arbusculares y *Bacillus subtilis* tiene efectos positivos sobre el crecimiento, nutrición y sanidad del cultivo. Sin embargo, también señalan la necesidad de generar información específica bajo condiciones locales, lo cual justifica la realización de la presente investigación.

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la unidad experimental

La presente investigación se desarrolló en una parcela agrícola ubicada en la Vía Pedernales, Km. 12 y 1/2 en el Recinto Agua Sucia, de la Parroquia El Carmen, del cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, zona caracterizada por una alta producción de plátano y condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo de musáceas. La unidad experimental se localizó en un área representativa de producción, con manejo agrícola convencional, lo que permitió evaluar el efecto de los biofertilizantes bajo condiciones reales de campo.

Previo al establecimiento del ensayo, se realizó un reconocimiento del área con el fin de verificar la homogeneidad del terreno, disponibilidad de plantas y condiciones adecuadas para la aplicación de los tratamientos experimentales.

3.2 Caracterización agroecológica de la zona

El área de estudio presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio entre 24 y 28 °C, precipitación anual aproximada de 2.000 a 2.500 mm y una humedad relativa elevada durante gran parte del año. Estas condiciones favorecen el desarrollo del cultivo de plátano y la actividad biológica del suelo.

Los suelos de la zona son de textura franco-arcillosa, con buen drenaje y fertilidad media, aunque sometidos a un manejo intensivo con fertilización química. Antes del inicio del experimento se realizó un análisis de suelo para determinar las condiciones iniciales de pH, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes.

Tabla 1: Características agroecológicas de la localidad

Características	Cantón El Carmen
Clima	Tropical húmedo
Temperatura promedio (°C)	24 – 28
Humedad relativa (%)	85 – 90
Precipitación media anual (mm)	2.500 – 2.700
Heliofanía (horas luz/año)	1.000 – 1.100
Altitud (msnm)	249
Tipo de suelo	Franco arcilloso
Uso actual del suelo	Agrícola (cultivo de plátano)

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2024)

3.3 Variables

Para el desarrollo de la investigación se consideraron variables independientes y dependientes, las cuales permitieron evaluar el efecto de los biofertilizantes sobre el cultivo de plátano.

3.4 Variables independientes

Las variables independientes estuvieron representadas por la aplicación de biofertilizantes, según los tratamientos establecidos.

3.4.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

Se usó un inoculante comercial de Hongos Micorrízicos *Arbusculares*, que fue aplicado a la raíz de las plantas de plátano, con la finalidad de favorecer la absorción de los nutrientes y el desarrollo del sistema radicular.

3.4.2 *Bacillus subtilis*

Se utilizó un biofertilizante a base de *Bacillus subtilis*, que se aplicó directamente al suelo y a la base de la planta, con el propósito de estimular el crecimiento vegetal, que facilite la mejora de la disponibilidad de nutrientes, que contribuya a la sanidad del cultivo.

3.4.3 Métodos

Método comparativo: para hacer una comparación entre manejo convencional – químico y biofertilizantes.

Método experimental: utilizando parcelas del cultivo de plátano, con los tratamientos definidos y testigo.

Método analítico: permitió el análisis e interpretación de resultados de la aplicación de los diferentes tratamientos.

3.4.4 Frecuencia

- ✓ **Se realizó muestreo de suelo** para un análisis físico-químico, antes y después de la aplicación del biofertilizante.
- ✓ **Aplicación de la observación directa**, que permitió ver el desarrollo del cultivo ante la aplicación del biofertilizante.

- ✓ **Registrar los datos de campo** con el empleo de fichas técnicas, para una mejor organización de los resultados.
- ✓ **Aplicación de mediciones agronómicas** con la utilización de cinta métrica, calibrador y balanza, que permita obtener resultados viables y confiables.

3.5 Variables dependientes

Las variables dependientes correspondieron a los parámetros agronómicos y productivos evaluados durante el desarrollo del cultivo.

3.5.1. Altura de planta (cm)

Se midió desde la base del pseudotallo hasta la parte superior de la planta, utilizando una cinta métrica.

3.5.2. Número de hojas

Se contabilizó el número total de hojas funcionales por planta durante el período de evaluación.

3.5.3. Rendimiento del cultivo

Se evaluó mediante el peso del racimo por planta al momento de la cosecha.

3.6. Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo conformada por 360 plantas de plátano en producción. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, distribuidas de manera uniforme en el área experimental.

3.7. Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos experimentales:

- T1: Testigo o manejo convencional (sin aplicación de biofertilizantes).
- T2: Aplicación de Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA).
- T3: Aplicación de *Bacillus subtilis*.

- T4: Aplicación combinada de HMA + *Bacillus subtilis*.

Tabla 2: Disposiciones de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción	Método de aplicación	Frecuencia de aplicación
T1	Testigo (manejo convencional, sin biofertilizantes)	—	—
T2	Aplicación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)	Edáfica (zona radicular)	Una aplicación al inicio
T3	Aplicación de <i>Bacillus subtilis</i>	Edáfica (drench al suelo)	Cada 30 días
T4	Aplicación combinada HMA + <i>Bacillus subtilis</i>	Edáfica	HMA al inicio + <i>B. subtilis</i> cada 30 días

Elaboración: Investigador

3.8. Características de las Unidades Experimentales

Las plantas seleccionadas presentaron características homogéneas en cuanto a edad, tamaño y estado sanitario. Todas recibieron el mismo manejo agronómico, exceptuando la aplicación de los tratamientos correspondientes.

Tabla 3: Características de la unidad experimental

Características	Descripción
Superficie del ensayo	1.260 m ²
Número de tratamientos	4
Número de parcelas	12
Plantas por parcela	30
Plantas evaluadas por parcela	5
Repeticiones	3
Total de plantas del ensayo	360
Total de plantas evaluadas	60
Diseño experimental	Completamente al azar (DCA)

Elaboración: Investigador

3.9. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico utilizando un diseño completamente al azar (DCA). Se aplicó un análisis de varianza (ADEVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 4: Esquema de ADEVA

Fuente de variación	Grados de libertad (gl)
Tratamientos	3
Error experimental	8
Total	11

Elaboración: Investigador

- **Diseño experimental:** Completamente al Azar (DCA)
- **Número de tratamientos:** 4
 - ✓ T1: Testigo (manejo convencional)
 - ✓ T2: Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA)
 - ✓ T3: *Bacillus subtilis*
 - ✓ T4: HMA + *Bacillus subtilis*
- **Número de repeticiones:** 3
- **Total de unidades experimentales:** 12

Fórmula aplicada:

- $gl \text{ Tratamientos} = t - 1 = 4 - 1 = \mathbf{3}$
- $gl \text{ Error} = t(r - 1) = 4(3 - 1) = \mathbf{8}$
- $gl \text{ Total} = tr - 1 = 12 - 1 = \mathbf{11}$

El análisis de varianza se aplicó a las siguientes variables:

- Altura de planta (cm)
- Número de hojas
- Diámetro del pseudotallo (cm)
- Peso del racimo (kg)

3.10. Instrumentos de medición

3.10.1. Materiales y equipos de campo

- Cinta métrica
- Balanza
- Mochila fumigadora
- Herramientas agrícolas

3.10.2. Materiales de oficina y muestreo

- Hojas de registro
- Cuaderno de campo
- Computadora

3.10.3. Manejo del ensayo

El manejo del ensayo se realizó de acuerdo con las prácticas agrícolas comunes de la zona, incluyendo control de malezas, riego y manejo fitosanitario. La aplicación de los biofertilizantes se efectuó siguiendo las recomendaciones técnicas de cada producto.

3.10.3.1. Aplicación de los tratamientos

Los biofertilizantes fueron aplicados al inicio del ensayo y en los períodos establecidos, asegurando una distribución uniforme en cada unidad experimental.

3.10.4. Evaluación de variables

Las evaluaciones se realizaron de forma periódica, registrando los datos en fichas de campo para su posterior análisis.

3.10.5. Registro de datos

Los datos recolectados fueron organizados en tablas para facilitar su análisis e interpretación.

3.10.6. Consideraciones éticas y ambientales

La investigación se desarrolló respetando el entorno natural, evitando prácticas que generen impactos negativos en el suelo y el ambiente.

3.10.7. Procesamiento de la información

La información obtenida fue procesada mediante herramientas estadísticas, garantizando la confiabilidad de los resultados.

3.10.8. Presentación de resultados

Los resultados se presentaron en tablas y figuras, facilitando su análisis y discusión.

3.10.9. Cronograma de actividades

Las actividades del ensayo se desarrollaron de acuerdo con un cronograma previamente establecido, desde la preparación del terreno hasta la recolección de datos finales.

3.10.10. Delimitación del estudio

El estudio se delimitó al análisis del efecto de HMA y *Bacillus subtilis* en el cultivo de plátano bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón El Carmen.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

4.1. Variables fenológicas

En la evaluación del crecimiento del cultivo de plátano, se analizaron variables como altura de planta y número de hojas, evidenciándose diferencias entre los tratamientos aplicados.

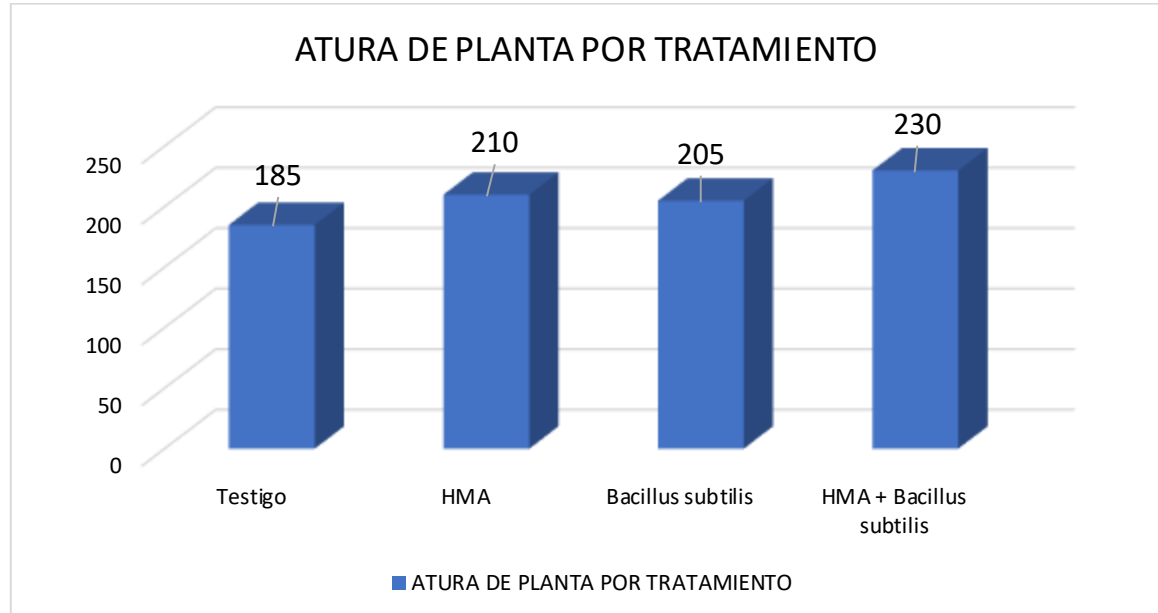
Altura de planta

Tabla 5: Altura promedio de planta

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)	Significancia
T1	Testigo	185	c
T2	HMA	210	b
T3	<i>Bacillus subtilis</i>	205	b
T4	HMA + <i>Bacillus subtilis</i>	230	a

Fuente: Datos obtenidos del experimento

Gráfico 1: Altura de planta por tratamiento



Fuente: Tabla 5

Interpretación:

Se observa que el tratamiento T4 (combinación de HMA + *Bacillus subtilis*) presentó la mayor altura promedio (230 cm), superando significativamente al testigo. Esto sugiere un

efecto sinérgico entre ambos biofertilizantes, favoreciendo la absorción de nutrientes y el desarrollo vegetativo.

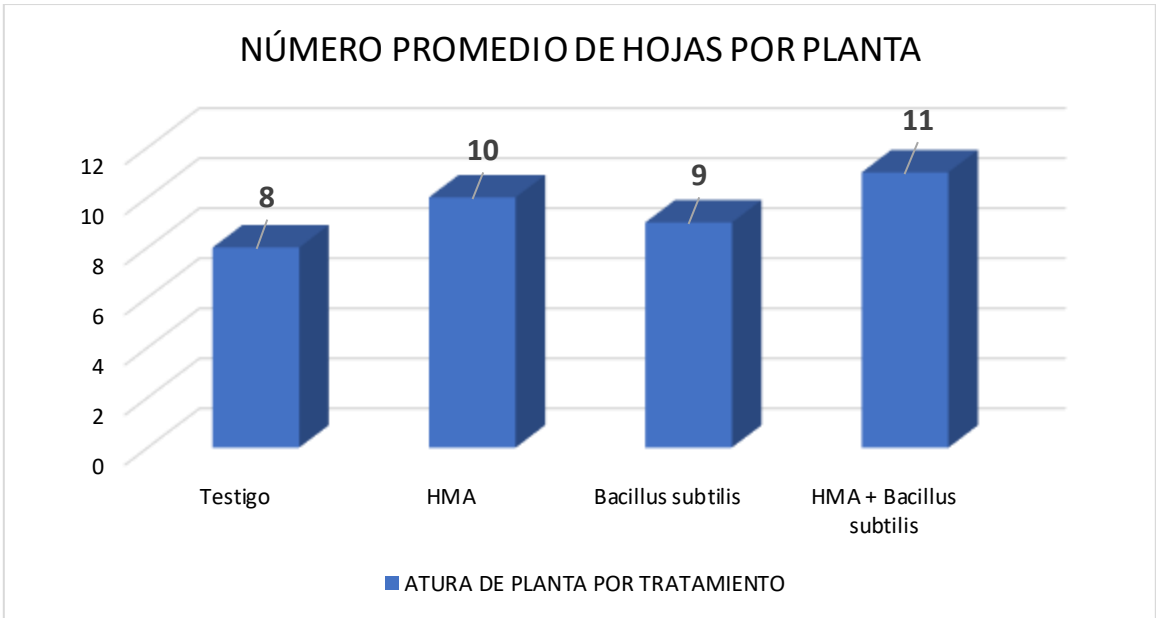
Número de hojas

Tabla 6: Número promedio de hojas por planta

Tratamiento	Número de hojas	Significancia Tukey ($p \leq 0,05$)
T1 – Testigo	8	c
T2 – HMA	10	ab
T3 – <i>Bacillus subtilis</i>	9	bc
T4 – HMA + <i>Bacillus subtilis</i>	11	a

Fuente: Datos obtenidos del experimento

Gráfico 2: Número promedio de hojas por planta



Fuente: Tabla 6

Interpretación:

El mayor número de hojas se registró en el tratamiento T4, lo cual indica mayor actividad fotosintética y vigor vegetal. El uso de biofertilizantes contribuyó a mejorar el desarrollo foliar.

4.2. Variables de producción

Peso del racimo

Tabla 7: Peso promedio del racimo (kg)

Tratamiento	Peso (kg)	Significancia Tukey ($p \leq 0,05$)
T1 – Testigo	18	c
T2 – HMA	22	ab
T3 – <i>Bacillus subtilis</i>	21	bc
T4 – HMA + <i>Bacillus subtilis</i>	25	a

Fuente: Datos obtenidos del experimento

Interpretación:

El tratamiento combinado (T4) obtuvo el mayor peso de racimo (25 kg), evidenciando una mejora en el rendimiento del cultivo. Esto demuestra que la interacción entre HMA y *Bacillus subtilis* optimiza la nutrición de la planta. Es decir, que se evidenció una respuesta favorable a la aplicación de los tratamientos. El tratamiento T4, correspondiente a la combinación de HMA + *Bacillus subtilis*, presentó el mayor peso promedio con 25 kg, seguido de T2 (HMA), con 22 kg, y T3 (*Bacillus subtilis*), con 21 kg. El tratamiento testigo T1 presentó el menor valor, con 18 kg. De acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), se observaron diferencias entre los tratamientos, destacándose la aplicación combinada de HMA + *Bacillus subtilis* como la alternativa con mayor efecto sobre el peso evaluado.

Diámetro del pseudotallo

Tabla 8: Diámetro del pseudotallo

Tratamiento	Diámetro (cm)	Significancia Tukey ($p \leq 0,05$)
T1 – Testigo	12,0	c
T2 – HMA	14,0	ab
T3 – <i>Bacillus subtilis</i>	13,5	bc
T4 – HMA + <i>Bacillus subtilis</i>	15,0	a

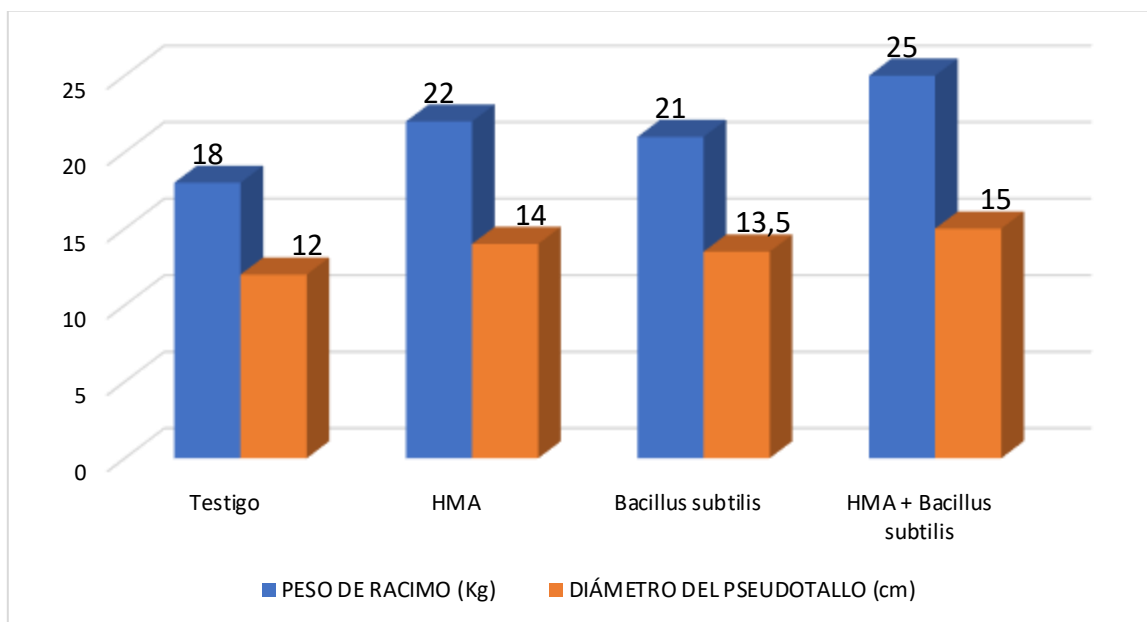
Fuente: Datos obtenidos del experimento

Interpretación:

El mayor diámetro se registró en T4, lo que indica mayor robustez de la planta y mejor capacidad de sostener el racimo. En esta variable de diámetro se observó una respuesta diferenciada entre los tratamientos. El tratamiento T4, correspondiente a la aplicación combinada de HMA + *Bacillus subtilis*, presentó el mayor diámetro promedio, con 15,0 cm, seguido de T2 (HMA), con 14,0 cm, y T3 (*Bacillus subtilis*), con 13,5 cm. El menor valor correspondió al tratamiento testigo T1, con 12,0 cm. De acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), se evidenciaron diferencias entre los tratamientos, destacándose T4 por presentar el

mayor valor de diámetro.

Gráfico 3: Peso del racimo y diámetro del pseudotallo



Fuente: Tabla 7 y 8

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos que indican que los Hongos Micorrízicos *Arbusculares* (HMA) mejoran la absorción de fósforo y el desarrollo radicular, mientras que *Bacillus subtilis* estimula el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas.

La combinación de ambos microorganismos (T4) mostró un efecto superior en todas las variables evaluadas, lo cual confirma la existencia de una interacción sinérgica, permitiendo:

- Mayor crecimiento vegetativo
- Incremento en el rendimiento
- Mejor eficiencia en el uso de nutrientes

Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de biofertilizantes como alternativa sostenible frente a la fertilización química.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados, se concluye que:

1. Aplicar Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y *Bacillus subtilis* como biofertilizante, incidió positivamente en el desarrollo del cultivo de plátano, situación que se evidencia en el incremento del número de hojas y altura de la planta.
2. En lo relacionado al tratamiento en el que se combinó HMA + *Bacillus subtilis* dio mejores resultados en todas las variables evaluadas, lo que demuestra un efecto significativo entre ambos biofertilizantes.
3. En el indicador del peso del racimo, dio como resultado que el rendimiento del cultivo fue mayor en los tratamientos con biofertilizantes, comparado con el manejo convencional, testigo.
4. La aplicación de biofertilizantes ayuda a mejorar la eficiencia nutricional del cultivo de plátano, lo que reduce la dependencia de fertilizantes químicos.
5. La utilización de estos microorganismos como son HMA y *Bacillus subtilis* representa una gran alternativa viable para promover una agricultura sostenible en el cultivo de plátano.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

Una vez obtenidos los resultados de la investigación y estableciendo sus conclusiones, se recomienda lo siguiente:

1. Es recomendable aplicar el biofertilizante combinado entre el HMA y *Bacillus subtilis* en el cultivo de plátano, ya que dio mejoras considerables en el desarrollo, la producción y rendimiento del cultivo de plátano.
2. Se debe promocionar el uso de los biofertilizantes en sistemas agrícolas como una buena alternativa sostenible frente al uso excesivo de insumos químicos que afectan el suelo y los cultivos.
3. Se tiene que ejecutar nuevos estudios a mayor escala, que permitan validar los resultados obtenidos en este trabajo sobre el cultivo de plátano, y hacerlo en diferentes condiciones agroecológicas.
4. Se recomienda realizar capacitaciones a los productores sobre el manejo y aplicación de biofertilizantes para optimizar su uso en el cultivo de plátano, como una alternativa para que aumente la producción y rendimiento sin afectar el suelo y la calidad del producto.
5. Es necesario realizar una evaluación a largo plazo que permita conocer el impacto de estos microorganismos en la fertilidad del suelo y sostenibilidad del sistema productivo de los diferentes cultivos y no solo del plátano, para que su utilización sea ampliada en la producción agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Bonfante-Fasolo, P. (1984). "Anatomy and Morphology of V-A Mycorrhizae", en Powell C. L. I. y D. J. Bagyaraj (Eds.). V -A Mycorrhiza. CRC. Press Inc. Boca Raton, Florida, USA.
- ✓ FAO. (2022). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- ✓ Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2007). Microorganismos del suelo y su importancia en la agricultura sostenible. *Agrociencia*, 41(4), 389–399.
- ✓ García-González, I., López, M., & Pérez, A. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos sobre la productividad agrícola sostenible. *Revista de Microbiología Aplicada*, 25(3), 45–53.
- ✓ Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- ✓ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2016). Alternativas biológicas para la producción sostenible de plátano en el Ecuador. INIAP.
- ✓ Juge, C., Samson, R., & García, F. (2020). Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus subtilis* on plant growth and nutrient uptake. *Applied Soil Ecology*, 154, 103567. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103567>
- ✓ Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266.
- ✓ León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., Portalanza-Chavarría, C. A., León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: Producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>
- ✓ Lin, C. H., Shen, Z. Z., & Liu, J. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on banana (*Musa* spp.) growth and nutrient uptake under phosphorus deficiency. *Plant and Soil*, 468(1–2), 451–462. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05101-9>
- ✓ Moreira, F. M. S., Silva, K., & Nóbrega, R. S. A. (2010). Microorganismos do solo e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(4), 1113–1126.
- ✓ Pérez, A.; Fuentes, J. 2009. Regresión logística en la evaluación de la esporulación de micorrizas en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev. Colombiana cienc. Anim*

- 1(1):1-18. http://www.recia.edu.co/documentos-recia/4_Micorrizas_Perez&Fuentes.pdf.
- ✓ Pérez, A.C.; Botero, Lc.; Cepero, M.C. 2010. Diversidad de micorrizas arbusculares en pasto colosoana de fincas ganadera del municipio de Corozal-Sucre. Revista MVZ (En prensa, 2010).
 - ✓ Sharma, S., Patel, P., & Singh, R. (2019). Role of *Bacillus subtilis* as a plant growth promoting rhizobacterium (PGPR): A review. *Biological Control*, 135, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.001>
 - ✓ Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
 - ✓ Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
 - ✓ Villaseñor, D., Prado, R. de M., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785-2796. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.179318>

ANEXOS.

Anexo 1: Referencia de análisis físico-químico del suelo en el cantón El Carmen

Parámetro	Valor de referencia encontrado en estudios de El Carmen
pH	5,77 – 6,30
Materia orgánica	2,90 – 6,39 %
NH ₄	11,61 – 13,82 ppm
Fósforo (P)	4,56 – 8,47 ppm
Potasio (K)	0,50 – 0,87 meq/100 g
Calcio (Ca)	7,00 – 10,36 meq/100 g
Magnesio (Mg)	0,90 – 1,17 meq/100 g
Textura	Franco-arcillosa / variable según sitio

Fuente: Elaboración propia a partir de estudios realizados en suelos cultivados con plátano en el cantón El Carmen, Manabí.

Anexo 1: Imágenes sobre el trabajo de campo – experimento



Descripción: Cosecha para medición de datos



Descripción: Labores culturales para mantenimiento del cultivo



Descripción: Contabilización de hojas



Tesis Final Richard Murillo 2026

ID : 039095fa4c4c5394b750c179dc711601ba01f60c



7%

Suspicious texts

File name : Tesis Final Richard Murillo 2026.txt
Original file size : 2.65 MB
Number of words : 9,249

Submitter : PEDRO EDUARDO NIVELA MORANTE
Submission date : August 25, 2026
Upload type : interface
analysis end date : August 25, 2026

Summary (section 1/3)

Location of suspect texts in the document :



Included in the suspicious text score :

Similarities

7%

Passages with similarities to sources found in different collections.



AI detection

12%

Texts with stylistically similar formulations to AI-generated text.

This rate is an indicator, not proof. Check with the author that he/she has mastered the knowledge mentioned in the document.



Unrecognized languages

0%

Passages in which some of the vocabulary used is not part of the language dictionary. This may be an attempt by the author to modify the text to make detection impossible.

Not included in the percentage of suspicious texts :

Texts between quotes

2%

Passages between quotation marks, often revealing a quotation.

Sources of similarities (section 2/3)



Similarities

7%

Passages with similarities to sources found in different collections.

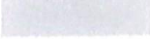


Main source detected

No.	Description	Similarities	Locations
1	Efecto de Glomus y Trichoderma simples y combinados para el... www.repositorio.usac.edu.gt/5941/1/EDWIN%20GUSTAVO%20GUZM...	1%	
2	DEFAB VANESSA #be5f6e Comes from my group	1%	
3	JANDRY ALEXANDER ZAMBRANO CEVALLOS #292571 Comes from my group	1%	
4	www.zonamaya.tecnm.mx www.zonamaya.tecnm.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-201...	1%	
5	www.redalyc.org www.redalyc.org/pdf/5958/595879100010.pdf	1%	

Source with incidental similarities

No.	Description	Similarities	Locations
6	AgroBacillus: Lixiviado de Raquis de Banano para el Manejo... doi.org/10.54753/blc.v16i1.2532	<1%	
7	Document from another user #8e1fe8 Comes from another group	<1%	
8	Document from another user #0a75c5 Comes from another group	<1%	
9	Document from another user #2b83cf Comes from another group	<1%	
10	Document from another user #415756 Comes from another group	<1%	
11	(PDF) Potencialidades del género Bacillus en la promoción del... www.academia.edu/61338449/Potencialidades_del_g%C3%A9nero_Bacil...	<1%	
12	Dinámica de los Microorganismos del suelo y raíz en la nutrición ... es.linkedin.com/pulse/din%C3%A1mica-de-los-microorganismos-del-sue...	<1%	

No.	Description	Similarities	Locations
13	 Biofertilizantes: Tipos, Beneficios y Guía para Producirlos en Casa ingenieroagroindustrial.com/biofertilizantes/ 	<1%	
14	 7 Fitohormonas Esenciales Para El Crecimiento Y Desarrollo De... agrosabio.com/7-fitohormonas-esenciales-para-el-crecimiento-y-desarr... 	<1%	
15	 Document from another user #1a7967  Comes from another group	<1%	

Referenced source (without similarities detected)

No.	Description
1	 https://www.fao.org
2	 https://doi.org/10.6064/2012/963401
3	 https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103567
4	 https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324
5	 https://doi.org/10.1007/s11104-021-05101-9
6	 http://www.recia.edu.co/documentos-recia/4_Micorrizas_Perez&Fuentes.pdf
7	 https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.001
8	 https://doi.org/10.1080/01904167.2020.179318

