



REPÚBLICA DEL ECUADOR UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORMES DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

**EVALUAR DOSIS DE MYCROBOOSTER (MICORRIZA RHIZOPHAGUS
IRREGULARIS) EN CULTIVO DE BANANO**

Autor:

ING JOEL DARIO LEÓN DELGADO

Director:

PHD FABRICIO GUEVARA

MILAGRO, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Joel Darío León Delgado** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la línea de investigación **impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria**, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los conocimientos, creatividad e innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **25 de Febrero del 2024**



firmado electrónicamente por:
**JOEL DARIO LEON
DELGADO**

Joel Darío León Delgado

CI:0926403684

Aprobación del director del trabajo de titulación

Yo, **PhD. Jorge Fabricio Guevara Viejó**, en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Joel Darío León Delgado**, cuyo tema **Evaluar dosis de microbooster (micorriza *Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano**, que aporta a la línea de investigación **Impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria**, previo a la obtención del grado Magister en biotecnología. El trabajo de titulación consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de informe de investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 25 de Febrero del 2024



PhD. Jorge Fabricio Guevara Viejó

CI: 0917882961

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. LEON DELGADO JOEL DARIO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUAR DOSIS DE MYCROBOOSTER (MICORRIZA RHIZOPHAGUS IRREGULARIS) EN CULTIVO DE BANANO", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.00
SUSTENTACIÓN	39.33
PROMEDIO	98.33
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado electrónicamente por:
JUAN DIEGO
VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
MARIA FERNANDA
GARCES MONCAYO

Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la compañía de biotecnológica agrícola de formulaciones de insumos foliares AGROSHIELD S.A.S. por permitirme evaluar su producto comercial y brindarme todas las facilidades de las instalaciones y lotes para realizar el ensayo de este.

Resumen

El presente trabajo de mi investigación “Evaluar dosis de mycrobooster (micorriza *Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano” el ensayo de esta investigación se lo realizo en la hacienda bananera el recinto La Dolorosa perteneciente al cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas. Los objetivos fueron: estudiar la efectividad del microorganismo *Rhizophagus irregularis* como un agente de desarrollo y producción en el cultivo de banano; determinar la eficiencia del microorganismo *Rhizophagus irregularis* en el cultivo de banano; estudiar el efecto del *Rhizophagus irregularis* en la biomasa radicular del cultivo; analizar el efecto del *Rhizophagus irregularis* en la producción del banano Williams. El diseño es esta investigación fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), y consta con cuatro tratamiento y tres repeticiones también se manejó el ANAVA, y se aplicó la prueba de Tukey al 5% de significancia. En el trabajo de investigación se utilizó cuatros tratamiento que fueron T1, T2, T3 y T4 y tres repeticiones con diferentes dosis de 1L, 1.5L, 2L y el testigo no se aplicó. Las variables de mi estudio fueron: Fuste, PH, Altura del hijo, raíces vivas y raíces muertas. Los resultados obtenidos podemos decir que si se encontró significancia estadística entre las variables estudiadas y si hubo efecto de la Micorriza *Rhizophagus irregularis*. Se recomienda realizar más estudio sobre el microorganismo benéfico *Rhizophagus irregularis* en las plantaciones del cultivo de banano por su efectividad de aumentar la producción.

Palabras claves: Banano, Raíces, *Rhizophagus irregularis*, Micorrizas, suelo.

Abstract

The present work of my research "Evaluate doses of mycrobooster (mycorrhiza rhizophagus irregularis) in banana crops" the trial of this research was carried out on the banana farm Recinto La Dolorosa belonging to the canton Simón Bolívar, province of Guayas. The objectives were: Study the effectiveness of the Rhizophagus irregularis microorganism as a development and production agent in banana cultivation; Determine the efficiency of the Rhizophagus irregularis microorganism in banana cultivation; Study the effect of Rhizophagus Irregularis on the root biomass of the crop; Analyze the effect of Rhizophagus irregularis on the production of Williams banana. The design of this research was a Completely Randomized Block Design (DBCA), and consists of four treatments and three repetitions, the ANAVA was also used, and the Tukey test was applied at 5% significance. In the research work, four treatments were used: T1, T2, T3 and T4 and three repetitions with different doses of 1L, 1.5L, 2L and the control was not applied. The variables of my study were: Stem, PH, Height of the child, live roots and dead roots. From the results obtained we can say that statistical significance was found between the variables studied and there was an effect of the Rhizophagus irregularis mycorrhiza. It is recommended to carry out more study on the beneficial microorganism Rhizophagus irregularis in banana plantations due to its effectiveness in increasing production.

Keywords: Banana, Roots, Rhizophagus irregularis, Mycorrhizas y floor.

Lista de tablas

Tabla 1. Según su clasificación taxonómica del cultivo de banano.....	9
Tabla 2. Tratamiento de estudio	41
Tabla 3. Andeva del experimento	42
Tabla 4. Fuste del hijo de los 4 tratamiento estudiado.....	43
Tabla 5. PH del suelo de los tratamientos analizados.....	44
Tabla 6. Altura del hijo de los 4 tratamientos	44
Tabla 7. Porcentaje de raíces vivas de los 4 tratamientos.....	45
Tabla 8. Porcentaje de raíces muertas en los 4 tratamientos.....	46

Lista de figuras

Anexo 1. Análisis de varianza (SC tipo III) fuste.....	58
Anexo 2. Análisis de Varianza (SC tipo III) PH.	58
Anexo 3. Análisis de Varianza (SC tipo III) Altura del hijo.	59
Anexo 4. Análisis de Varianza (SC tipo III) raíces vivas.....	59
Anexo 5. Análisis de Varianza (SC tipo III) raíces muertas.....	60
Anexo 6. Producto Mycrobooster a base de R. irregularis.	60
Anexo 7. Aplicación del producto R. irregularis de los cuatros tratamientos con la dosis recomendada en esta investigación.	60
Anexo 8. Muestreo se lo realizo frente al hijo para extraer muestra de raíces para su respectiva evaluación.	61
Anexo 9. Muestra colectada en campo e identificada para realizar con sus evaluaciones.	61
Anexo 10. Culminación de mi trabajo de investigación, sobre evaluar dosis de mycrobooster (micorriza rhizophagus irregularis) en cultivo de banano.	62

Índice

AGRADECIMIENTO.....	V
Resumen.....	VI
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Planteamiento de problema	4
1.2 Delimitación del problema	5
1.3 Formulación del problema	5
1.4. Pregunta de investigación.....	5
1.5 Determinación del tema.....	5
1.6 Objetivo General:	6
1.7 Objetivos específicos.....	6
1.8 Hipótesis.....	6
1.9 Declaración de las variables.....	6
1.10 Justificación	6
1.11 Alcance y limitaciones.....	8
1.12 Limitaciones	8
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
2.1. Antecedentes	9

2.1.1.	Cultivo de banano generalidades	9
2.1.2.	Morfología del cultivo de banano.....	10
2.1.3.	Raíces.....	10
2.1.4.	Tallo.....	10
2.1.5.	Hoja.....	11
2.1.6.	Flores	11
2.1.7.	Frutos	11
2.2	Contenido teórico que fundamenta la investigación	12
2.3	Importancia del banano a nivel mundial	12
2.4.	Importancia del cultivo de banano a nivel nacional.....	14
2.5.	Importancia económica	14
2.6.	Importancia de nutrientes en la planta del cultivo de banano	15
2.7.	Importancia de las micorrizas en el desarrollo y nutrición de plántulas	16
2.7.1.	Beneficios de la micorrización en el suelo	17
2.7.2.	Las micorrizas en la absorción de nutrientes	21
2.7.3.	Nutrición con Fósforo (P).....	24
2.7.4.	Descripción botánica.....	25
2.7.5.	Clasificación	26
2.7.6.	Descubrimiento del hongo micorrizas en los suelos.....	26

2.8. El papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes	27
2.8.1. El papel de las micorrizas arbusculares en el control de patógenos	27
2.8.2. Impacto económico del uso de micorrizas arbusculares en huertos	28
2.8.3 Asociaciones de las micorrizas	29
2.9. Taxonomía hongos formadores de Micorrizas Arbusculares	29
2.10. Comunidades hongos formadores de Micorrizas Arbusculares	30
2.11. Metodologías en el estudio de comunidades de hongos formadores de Micorrizas Arbusculares	31
2.12. R. irregularis como HFMA modelo en estudios de interacción simbiótica con plantas de cultivo.....	32
2.13. Aislamiento de esporas hongos formadores de Micorrizas Arbusculares	33
2.14. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés abiótico en plantas	35
2.15. Característica de Producto MYCROBOOSTER	36
2.16. Beneficios de MYCROBOOSTER.....	38
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	39
3.2 La población y la muestra	39
3.2.1 Característica de la población.....	39
3.2.2 Delimitación de la población	39
3.2.3 Tipo de muestra	39

3.2.4	Tamaño de la muestra	39
3.2.5	Proceso de selección de la muestra.....	39
3.3	Los métodos y las técnicas	40
3.3.1	Diseño de investigación	40
3.3.2	Fase 1 (Día 0).....	40
3.3.3	Fase 2 (Día 30).....	40
3.3.4	Fase 3 (Día 60).....	40
3.4	Variables de estudio.....	40
3.4.1	Raíces vivas, muertas.....	40
3.4.2	PH	40
3.4.3	Fuste.....	41
3.4.4	Altura del hijo	41
3.5	Procesamiento estadístico de la información	41
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1	Análisis de los resultados	43
4.1.1	Fuste	43
4.1.2	Ph.....	43
4.1.3	Altura del hijo.....	44
4.1.4	Raíces vivas.....	45

4.1.5 Raíces muertas.....	45
Interpretación de los resultados	47
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
Conclusiones.....	49
Recomendaciones	50
Bibliográficas	51
ANEXOS	58

INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano (*Musa AAA*) es el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial por ser el sustento económico y alimenticio de millones de personas que lo consume entre más de 120 países, principalmente en América Latina y el Caribe, donde la producción se encuentra en manos de pequeños, medianos y grandes productores, la mayoría de la fruta consumida de los países es de 84% y el consumo local es de 15% (Holguín, 2018).

El Ecuador es uno de los mayores exportadores del cultivo de banano a nivel mundial, esta fruta es uno de los cultivos de mayor importancia y deseada por algunos países por su valor nutricional, también es considerado como fuertes ingresos al país y a los ecuatorianos por su fuente de trabajos, ya que representa el PIB agrícola nacional de aproximadamente el 40% debido a condiciones climáticas favorables para su producción, en nuestro país existe diferentes zonas productoras como Los Ríos, Guayas y el Oro, en el año 2017 la producción de la fruta a nivel nacional alcanzó un valor de 6.45 millones de toneladas, destinado a diferentes lugares que lo consume (Nguvo y Gao, 2019).

Se busca evaluar la micorriza *Rhizophagus irregularis* que tiene una simbiosis con otras especies dándole mayor resistencia a factores abióticos y biótico, estimulando la producción, el sistema radicular ya que aumenta la absorción de fósforo y el rendimiento de las plantas. Tomado del propio título; Micorriza significa: “raíz de hongo”. Como se mencionó anteriormente, forman una relación simbiótica donde cada parte contribuye a la otra. Según el

grado de integración morfológica de los hongos micorrízicos, se pueden dividir en ectomicorrizas o endomicorrizas (Espinoza, 2017).

Dadas las dificultades asociadas a la clasificación de las ectoendomicorrizas en una categoría u otra el hongo simbiótico micorrítico que se asocia con numerosas especies cultivadas dotándolas de mayor tolerancia a las condiciones edafoclimáticas adversas (sequía, encharcamiento, golpe de calor, etc.) y aumentando significativamente la producción, el sistema radicular y el crecimiento de las plantas (Espinoza, 2017).

El sector bananero se encuentra en necesidad de bajar costos y usar nuevas tecnologías con biotecnología strong el cual ayudaría a aumento la masa radicular, pelos absorbentes, retención de agua ya que el hongo que contiene el producto MycroBooster hace una simbiosis entre la raíz y la micorriza ayudándose mutuamente a tener disponibles nutrientes y tomarlos de manera oportuna y evaluar las dosis adecuadas para mejor acción (Syamsiyah et al. 2018).

La importancia de estas micorrizas está influenciada por cultivos comerciales no sostenibles que afectan la actividad del microbiota del suelo, por lo tanto, el crecimiento de las especies vegetales. Las limitaciones de fósforo y nutrientes del suelo deben ser compensadas por el sistema radicular de la planta y se debe potenciar la presencia de micorrizas arbusculares, aumentando así su nivel de movilización (Guevara, 2022).

En este sentido, comprender las propiedades físicas y químicas del suelo y su relación

con las micorrizas es fundamental para mejorar la eficiencia de la producción agrícola y reducir el impacto sobre el medio ambiente. Las micorrizas están muy extendidas en el suelo amazónico y su asociación sinérgica con otros microorganismos facilita la absorción de nutrientes por las plantas, también tienen un gran potencial como fertilizantes orgánicos en permacultura; sin embargo, es necesaria más investigación sobre las comunidades locales de hongos micorrízicos (Nguvo y Gao, 2019).

En este estudio de investigación se ha dado la pauta de usar un microorganismo benéfico *Rhizophagus irregularis* para mejorar su producción y la asimilación de nutrientes y con el fin de reducir los productos comerciales que afecta al suelo y la salud humana y los organismos que encontramos en el suelo, esta investigación nos va a ayudar como el producto MycroBooster base del hongo *Rhizophagus irregularis* va a aumentar la producción del cultivo de banano.

1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento de problema

El presente estudio se elaboró con el propósito de evaluar la aplicación de micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano ya establecido para mejorar la población de los microorganismos del suelo, aumentar sobre todo el nivel de masa radicular y determinar la eficiencia económica de los tratamientos, obteniendo plantas de calidad con un buen crecimiento y desarrollo, a fin de incrementar la productividad y posteriormente transferir los resultados a los productores de nuestro país. En el trabajo se presentan los análisis y discusión de los resultados logrados y procesados con la aplicación de un modelo estadístico apropiado y pruebas de significación.

La utilización de hongos formadores de micorrizas dentro de un cultivo agroecológico, se hace necesaria ya que además de contribuir de alguna manera con la solubilización del elemento fósforo, indispensable para el desarrollo de las plantas, provoca el crecimiento en altura de planta, número de hojas, peso y diámetro del tallo, peso y volumen del sistema radicular por consiguiente una mayor absorción de nutrientes por parte de la planta, mayor longitud de las hojas, etc., induciendo mayor eficiencia de los fertilizantes y por ende la reducción de su uso.

Debido a que este cultivo se va aumentando progresivamente, es esta la razón para que se haya analizado y en la mayoría de estas áreas cultivadas no emplean productos biológicos que mejore su crecimiento y desarrollo, así como su producción y paralelamente minimice la contaminación del medio ambiente natural, debido a que los agricultores siguen utilizando

productos tóxicos y muy tóxicos de mucha durabilidad dentro del suelo y fruto ya que el tomate de árbol se consume inmediatamente después de cosechada, la misma que puede traer consecuencias muy graves para la salud humana.

1.2 Delimitación del problema

Los problemas que causan daños al banano son muchos, como bacterias, hongos y virus, que no se pueden eliminar con ciertas aplicaciones, solo se puede prevenir y controlar, por ende, se va a utilizar un producto que pueda controlar lo mencionado y sobre todo mejorar la productividad y reducir costo y beneficios.

1.3 Formulación del problema

El microorganismo benéfico como son las micorrizas *Rhizophagus irregularis* nos va a permitir que la planta de banano se desarrolle con mayor rapidez, por sus características de aumentar la masa radicular, emisión foliar, mayor fuste tanto de la madre como el hijo, mejora la calidad del suelo y su producción.

1.4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el beneficio de las micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) al momento de aplicar al banano?

La micorriza nos va a permitir aumentar la producción, mejorar la rizósfera del suelo y que la planta se vea más vigorosa.

1.5 Determinación del tema

En este trabajo de investigación teniendo en cuenta el uso descomunal de los químicos comerciales, se planteó para mejorar la rizósfera del suelo por medio del hongo benéfico (*Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano, lo cual el ensayo se lo realizó en el

Recinto La Dolorosa perteneciente al cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas.

1.6 Objetivo General:

Estudiar la efectividad del microorganismo *Rhizophagus irregularis* como un agente de desarrollo y producción en el cultivo de banano.

1.7 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia del microorganismo *Rhizophagus irregularis* en el cultivo de banano.
- Estudiar el efecto del *Rhizophagus irregularis* en la biomasa radicular del cultivo.
- Analizar el efecto del *Rhizophagus irregularis* en la producción del banano Williams.

1.8 Hipótesis

La aplicación del microorganismo *Rhizophagus irregularis* nos ayudara aumentar la producción, aumentar su masa radicular y prevenir enfermedades que causa daño a su producción ya que estas micorrizas nos van a permitir una resistencia a plagas y enfermedades.

1.9 Declaración de las variables

Las variables presentes en este estudio son; raíces vivas, muertas, PH, Fuste y Altura del hijo.

1.10 Justificación

Cardona (2000) plantea que “el suelo de la región costa en Ecuador carece de materia orgánica; nutrientes porque la capa orgánica es delgada y rara vez se descompone. Esto provoca una mala hidratación del suelo” (p.15).

Además, Peña y Venegas (2006) menciona que “los nutrientes se encuentran en la

hojarasca, las dendritas y que las plantas las obtienen de las raíces, alimentos y hongos micorrízicos” (p.20)

El fósforo se considera un elemento limitante del crecimiento. A medida que el suelo amazónico madura, las plantas encontraron grandes cantidades de óxidos de hierro y aluminio que contribuyen a la formación de fosfatos. En realidad, en camino El 60-70% del contenido mineral de este elemento se encuentra en forma de fosfatos (Fracetto et al., 2013).

El hierro es disuelto por microorganismos liberando fósforo y otros elementos no solubles que se encuentran en el suelo en plantas (Useche, Valencia y Pérez, 2004). Además, la materia orgánica es una fuente importante de fósforo. En los suelos amazónicos, el fósforo orgánico representa del 30 al suelo suele representar el 32% del nitrógeno forestal total. Por lo que su valor en estos ecosistemas es significativo depender en gran medida del reciclaje de material orgánico Reducción del estrés (Peña-Venegas y Cardona, 2010).

Debido a estas condiciones especiales del suelo, existen e interacciones entre comunidades microbianas en suelos amazónicos. complejo y esencial para mantener la función de las comunidades biológicas, ya que tienen un efecto directo sobre los ciclos biogeoquímica, especialmente el ciclo y la absorción del nitrógeno. Además, en la producción eliminación de sustancias útiles y toxinas para el mantenimiento y estabilidad de la vegetación natural.

1.11 Alcance y limitaciones

El alcance de este trabajo de investigación es llevar a la producción de cosechas para evaluar el porcentaje de racimos cosechados y el porcentaje de merma, para poder establecer que el producto utilizado es muy efectivo por su característica establecida.

1.12 Limitaciones

Como puntos negativos en este trabajo de investigación tenemos; Fenómenos climáticos que nos puede dañar los ensayos por las inundaciones, capacitación a los fitomejoradores y enfermedades a futuras.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

2.1.1. Cultivo de banano generalidades

Universalmente, el cultivo de banano se encuentra en cantidades en zonas tropicales, son nativo de regiones del sudeste de Asia y se cultiva en diferentes zonas, el banano es el nombre común para las plantas herbáceas del género *Musa*, y se cultiva principalmente por sus frutos altamente deseados por los humanos, al cultivo de banano se lo conoce como una grande de rápido crecimiento y grosos, con un alto consumo de agua, y de raíces, y requiere de suelos sueltos profundos para un mayor desarrollo. Corresponden a la familia de las Musaceae paradisíaca y especialmente se cultivan por sus frutos. El cultivo de banano es regularmente altos y robustos, algunas de estas especies, son grande y puede alcanzar hasta 3 o 4 m. Cada corno oseudotallo puede producir un montón de plantas además su inflorescencia es un racimo colgante (Espinoza, 2017).

El cultivo de banano destaca por su importancia económica a nivel mundo por su valor alimenticio y nutricional también es una de las fuentes de ingresos para los agricultores en muchos países. Sin embargo, la producción de banano se ve obstaculizada por muchas enfermedades y plagas. Entre los más dañinos son las plagas de banano planta generalizada de nematodos parásitos (Holguín, 2018).

Tabla 1. Según su clasificación taxonómica del cultivo de banano

Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Género:	Musa
Especie:	M. paradisiaca
Nombre científico:	Musa paradisiaca

Fuente: (Chabla, 2021).

2.1.2. Morfología del cultivo de banano

2.1.3. Raíces

La profundidad de las raíces son extremadamente pocas, también depende de la calidad del suelo, es separadas 30-45 cm, a menudo concentradas 15-20 cm. Las raíces son blancas y blandas al principio, luego se vuelven amarillas y duras. Su diámetro es de 6-9 mm, la longitud de desarrollo lateral puede alcanzar los 2,4-6 metros y la profundidad puede alcanzar los 1,5 metros. La penetración de las raíces es pobre, por lo que la distribución de las raíces está relacionada con la textura y estructura del suelo (Astudillo, 2012).

2.1.4. Tallo

El tallo es un rizoma subterráneo altamente enorme, almidonado con brotes que se desarrollan después de la fructificación, a medida que madura cada capullo del rizoma, su capullo terminal es empujado fuera del suelo por el alargamiento del 5 tallo para convertirse en una inflorescencia hasta que emerge por encima del pseudotallo (Holguín, 2018).

2.1.5. Hoja

El crecimiento o meristema terminal en el ápice del rizoma inicialmente se observa la formación de pecíolos y nervios centrales, terminando en fibras que luego se convertirán en vainas, el borde izquierdo comienza a cubrir el borde derecho, creciendo en altura hasta formar una media extremidad (Cedeño y Vinueza, 2023).

Las hojas están formadas dentro del pseudotallo y se enrollan en forma de cigarro, son altamente grandes, de color verde, dispuestas en espiral, de 4 a 5 m de largo, 1,6 m de ancho, pecíolos de 1,5 m de largo o más, alargadas en la punta, ligeramente onduladas en la cola, sin pelo, cuando son viejas, el viento los rompe fácilmente, durante la floración, los cogollos son peludos, de 4-5 cm de diámetro, que terminan en racimos colgantes de 1-3 m de largo, que crecen desde el ápice de la hoja, con numerosas brácteas delgadas, puntiagudas, de color púrpura-oval, cubiertas con una capa de tiza blanca (Cedeño y Vinueza, 2023).

2.1.6. Flores

Las flores de color amarillo pálido, con seis estambres, uno de los cuales es estéril, reducidos a un lóbulo. El pistilo tiene 4 líneas y el ovario tiene un oviducto. Toda la inflorescencia es el sistema de la planta de banano, cada grupo de flores recolectadas en cada bráctea forma un grupo de frutos llamado "mano" que contiene entre 3 y 20 frutos, el procesamiento no debe exceder las 5 manos, a excepción de las variedades de alto rendimiento que pueden tener de 13 a 15 manos (Cedeño, 2017).

2.1.7. Frutos

La fruta se desarrolla, se arquea hacia el suelo bajo el peso de la fruta y esta reacción determina la forma de los racimos, es una fruta polimórfica que puede contener de 8 a 18

racimos, cada racimo tiene de 4 a 22 frutos de color verde amarillo, el banano comestible son una planta entera, es decir, producen una gran cantidad de pulpa de fruta que se puede comer sin polinización, los óvulos se encogen rápidamente, pero son reconocibles en la pulpa comestible (Montero, 2022)

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.3 Importancia del banano a nivel mundial

El foro mundial de bananeros (FMB), la fruta fresca más exportada en el mundo es el cultivo banano, tanto por volumen como por valor económico, es una gran fuente de ingresos y un empleo muy importante para millones de familias rurales en países en desarrollo. Los 10 países que exportan más bananos en el mundo producen el 81% de la producción global, lo cual los hace dueños de un mercado de 14 billones de dólares para el año 2014, lo que tuvo un crecimiento del 8.1% en relación con el año anterior (Montero, 2022).

América Latina y el Caribe producen el 75% de las exportaciones de banano mundiales seguido por el 15% en Asia y el 6% en África, Guatemala posee el cuarto lugar en exportaciones de banano en el mundo siendo Ecuador, Filipinas y Costa Rica los primeros 3 lugares respectivamente. Respecto a las importaciones América del Norte posee el primer lugar con el 28% seguido por la Unión Europea con un 20%, Asia con un 14% y el resto del mundo con el 26%. Solamente Estados Unidos consume cerca de la misma cantidad que el resto del mundo sin incluir la Unión Europea, Rusia y Japón. El banano posee propiedades nutricionales esenciales para el consumo humano, es rico en carbohidratos, contiene poca grasa y ayuda a proveer

vitaminas esenciales como la vitamina C, B6, B1, B2 además de poseer grandes cantidades de potasio y magnesio (Cedeño, 2017).

En el momento actual, el cultivo de banana es el rubro más importante en alimentación humana, pues en términos de importancia es superado solo por el cultivo de arroz, maíz y el trigo. Esta variedad es la fruta que más se exporta en términos de volumen y la segunda en términos de valor comercial, siendo superada solamente por algunos cítricos. En nuestro país se registra en la actualidad una superficie aproximada de 201.100 hectáreas descrita por el MAGAP, con una producción aproximada de 225,308.600 cajas de 17,10 kilogramos de peso en el 2014, siendo, junto con Brasil constituyen los mayores productores de banano en Latinoamérica (AEBE, 2014).

Las planta del cultivo de banano son (meristemáticas) oriundos de la propagación de cultivo in vitro, son en la actualidad el material de siembra que más se utiliza y es preferido por la mayoría de productores, dado que al ser producidas en condiciones de asepsia y proceder del mismo explante madre, ofrecen la ventaja de presentar características como homogeneidad, libres de plagas y enfermedades, lo que es ideal para empezar una nueva fase productiva, en la presente fecha unas de las técnicas más utilizando para mejorar la absorción del fósforo y otros nutrientes de baja solubilidad y movilidad en el suelo, es el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), los cuales se caracterizan por producir unas estructuras denominadas arbusculos en todos los casos y vesículas en la mayoría de ellos (AEBE, 2014).

2.4. Importancia del cultivo de banano a nivel nacional

El cultivo de banano constituye la actividad agrícola de mayor importancia para la economía del país, según las estadísticas de Acorbanec las exportaciones totales de Ecuador aumentaron un 9.8% en los primeros cuatro meses del año 2020, a 140,13 millones de cajas generando un ingreso de USD 1.055,0 millones. Durante el año 2019 en el Ecuador se sembraron 4 mil hectáreas nuevas de banano y alrededor de 4 mil hectáreas se resembraron, cuyas plantaciones comenzaron a producir entre noviembre y diciembre, generando una mayor producción exportable para el 2020. Destacándose el crecimiento de las exportaciones de banano en la Unión Europea con el 16,26%; medio oriente, con un 22,7% y Europa del este con un alza del 16,04% (Astudillo, 2012).

La producción de banano afronta constantemente problemas por su sobreoferta y por consecuencias de la crisis sanitaria mundial han provocado la caída del precio de venta a \$3,50, un valor muy inferior al precio de sustentación, esto induce a que las exigencias de sanidad sean más estrictas para equilibrar la sobreoferta con la demanda, adicional a estos problemas, existen factores bióticos que limitan su producción, y que el daño causado por los nematodos es uno de los principales factores de importancia económica en reducir los rendimientos (Espinoza, 2017).

2.5. Importancia económica

Más del 75% de bananas es exportado en todo el mundo. El comercio de exportación de la bananera es una industria grande, cuyas exportaciones ascendieron a más de 18.000 millones de dólares solamente en el año 2015, un aumento del 7,5% con respecto al año anterior, el

cultivo banano es una de las frutas más consumidas en todo el país y gracias a que no requieren condiciones muy específicas para sembrar (BCE, 2020).

El principal uso del banano es comercializarse es el consumo por parte de las personas, por ser una fruta rica, también se usan para elaborar vino de banano, levaduras de cerveza de banana, fibras y plantas ornamentales. De hecho, las bananas se cultivan sobre todo en países tropicales, donde se consideran una fuente integral de almidón para sus habitantes, también se puede utilizar la cascara de banano como un excelente exfoliante para la piel (BCE, 2020).

2.6. Importancia de nutrientes en la planta del cultivo de banano

La cantidad baja de absorción de nutrientes por parte de la planta procedentes del cultivo de tejidos en la fase primaria se debe al número de raíz, y muchas veces los sustratos y/o fertilizantes que no permiten la asimilación de nutrientes esenciales para que estas se desarrollen de una manera adecuada (Cedeño, 2017).

Durante las primeras etapas de desarrollo, el fósforo es el nutriente de mayor importancia después del nitrógeno para las plantas, dado que forma parte del código genético y del sistema energético de las plantas, este además presenta baja movilidad en el suelo, debe ser aplicado totalmente de manera temprana y oportuna con la finalidad de aprovechar la mayor cantidad del nutriente en las fases tempranas del crecimiento vegetal, de su lado el fosforo aplicado y los demás fertilizantes, es fijado por los suelos en formas no disponible para las plantas lo que dificulta en mayor grado sus niveles de absorción (Espinoza, 2017).

Por otra parte, este elemento presenta una baja solubilidad y movimiento en el suelo, pues solo se difunde a cortas distancias, lo que repercute en que tanto el fósforo nativo y el sintético aplicado con los demás fertilizantes se ubican muy lejos de las raíces, quedándose gran parte del producto si ser aprovechado (Faye et al., 2013).

2.7. Importancia de las micorrizas en el desarrollo y nutrición de plántulas

Las micorrizas estas conformadas de simbiosis correlacionada entres raíces y plantas. Estudios han destacado que los organismos hongo y planta, favorecen el intercambio de nutrientes, minerales y orgánicos (Jaizme, Rodríguez, y Camprubí, 2004). La colonización provocada por el hongo en las raíces genera un desarrollo extensivo del micelio que interactúa con los microorganismos de la rizósfera (Guevara, 2022).

La micorrízicos son simbioses para completar su ciclo de vida deben estar asociados con raíces vivas que las provean de carbono, así como de los factores necesarios para su desarrollo y esporulación, dentro de la corteza de la raíz y expandiéndose hacia el suelo, además, forman estructuras con distintas funciones simbióticas que ayudan a la planta en cuanto crecimiento por absorción de nutrientes (Guevara, 2022).

La micorriza absorbe sustancia que se encuentra en la raíz de las plantas del cultivo e introducen nutrimentos y minerales como son el fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, azufre, zinc, en el sistema vascular. Presentan un papel decisivo en la absorción del fósforo mineral, el cual es poco asimilable. Diferentes microorganismos tienen efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de distintos cultivos, como alternativa para la nutrición de las plantas, la defensa de los suelos contra la degradación y la protección fitosanitaria de los cultivos, entre otros. Las

micorrizas son microorganismos que tienen un efecto positivo al estrés de la planta (Espinoza, 2017).

Existe algunos grupos de microorganismos que encontramos en el suelo que han sido objeto de estudio, como son los ciclos bioquímicos que movilizan nutrientes que favorecen la nutrición y salud de la planta de banano. El uso de estos organismos ha transformado una alternativa positiva para incrementar la biomasa vegetal y por lo tanto mejorar la productividad de los cultivos agrícolas (Faye et al., 2013).

Los suelos ácidos, por los organismos son movilizados de fosfato como los (HFMA), se desarrollan en una elección biotecnológica para el sector agropecuario. Este microorganismo, que conforman el filo, desarrolla una red de micelio en el suelo que se extiende más allá de la zona de depleción formada alrededor de las raíces, donde los nutrientes poco móviles como el fósforo son rápidamente agotados. Este hongo absorbe los minerales solubles de la tierra, y luego son trasladados y entregados a la planta, hongo establece una simbiosis benéfica para ambos organismos (Smith y Read, 2008).

2.7.1. Beneficios de la micorrización en el suelo

Las micorrizas, está en cooperación con otros microorganismos que se encuentra en el suelo. El micelio desarrolla un esqueleto que mantiene las partículas adheridas, después, tanto las raíces como las hifas aportan productos orgánicos que se incorporan a la estructura en formación, los microorganismos excretan o exudan agentes compactantes mucílagos, 14 polisacáridos que provocan una cementación del micro agregado en formación de las hifas de la micorriza y a la

acción cementante de los productos de origen microbiano y vegetal, el flujo del carbono al suelo mediado por las micorrizas es crítico para el desarrollo de la agregación del suelo (Duchicela, 2001).

La encima producida por las micorrizas hace el papel de una verdadera absorción de minerales, además, las hifas al extenderse en la matriz del suelo crean condiciones para la formación de micro agregados (< 0.25 mm) y creación de macro agregados (> 0.25 mm). Las micorrizas se multiplican de bacterias que un orgánico aportan con la mineralización y reservas de nutrientes del sustrato (Bernal y Morales, 2006).

El microbiota que encontramos en el suelo juega un papel crucial en la ordenación de los ecosistemas físicos, influyendo la productividad, variedad y estabilidad de las entidades vegetales. La materia orgánica produce está compuesta por la actividad de diferentes especies de bacterias y hongos que liberan los nutrientes al suelo, dejándolos disponibles para que sean nuevamente absorbidos por las plantas. La filtración puede ser tanto como directa e indirecta a través de las raíces de los microorganismos que forman simbiosis con las raíces (hongos formadores de micorrizas) (Pérez et al., 2011).

Dentro de las simbiosis que se encuentra en la raíz, las micorrizas establecen la mayoría de las especies de plantas cultivadas en las zonas por su desarrollo y productividad. Se estima que aproximadamente el 83% de las plantas terrestres son micorrícicas, el 95% de este valor tiene una relación conocida como micorriza arbuscular (MA), lo cual indica que se encuentra presente en gran parte de los cultivos agrícolas y zonas forestales nativas (Medina et al., 2023).

El microorganismo *Rhizophagus irregularis*, pertenece al género Glomeraceae que ha sido clasificado por el crecimiento rápido y profuso de su micelio. Además, *R. irregularis* es un hongo terrestre, es una de las especies cultivables en el sistema in vitro y tiene una alta inestabilidad genética, descrita también para otras especies de este filo (Maherali y Klironomos, 2007).

La especie del Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares, son biótrosos por lo que solo pueden completar su ciclo de vida en presencia de la planta hospedera que se encuentra sembradas, crean la simbiosis micorrízico-arbuscular, con el 80% de las especies de plantas terrestres, incluyendo la mayoría de las plantas de interés agronómico como banano, arroz, maíz y trigo. Este microorganismo se desarrolla por el micelio y está conformado por hifas y vesículas de almacenamiento de lípidos. Los arbusculos son moléculas que se desarrollan por la bifurcación de la hifa, que penetra la pared celular, y no la membrana celular (Smith y Read, 2008).

El tiempo de establecimiento de la simbiosis micorriza, en la colonización de la corteza de la rizosfera desarrolla un extenso micelio externo que simula un sistema radicular completo. Este micelio radical es el encargado de absorber los minerales que encontramos dentro suelo y nutrientes, principalmente como son el fósforo, nitrógeno y otros microelementos como el zinc y cobre, que son trasladados hacia la planta hospedera (Kiers et al., 2011; Fellbaum et al., 2012).

La célula vegetal que produce una membrana periarbuscular que incrementa en cuatro veces la superficie de contacto entre los organismos, además presenta una mayor volumen de proteínas transportadoras de membrana involucradas en la transferencia de fosfatos comparado con la membrana celular de la célula vegetal, se ha establecido que el arbusculo es el sitio donde ocurre el intercambio de nutrientes; el hongo entrega los minerales absorbidos del suelo y a cambio recibe entre el 4 y el 20% del carbono fijado a través de la fotosíntesis (Read et al., 1998).

Los hongos micorrízicos (HMA) son parte muy importante del sistema suelo y raíces, la rizósfera se compone del suelo cercano a las raíces de las plantas y es afectada por la actividad de la presencia de bacteria y hongos, al establecer la simbiosis micorrízica de arbusculos conlleva la aparición de nuevos compartimentos biológicos dentro de la rizósfera que se encuentra en el suelo, modificando la fisiología de la planta y en consecuencia la calidad y cantidad de exudados radiculares, el funcionamiento de la simbiosis micorrízica induce dentro de la estructura de la microflora telúrica diferentes compartimentos microbianos compuestos por comunidades bacterianas y fúngicas presentando características específicas estructura, diversidad funcional (Kubota et al., 2005).

La palabra micorrizósfera ha sido propuesto por caracterizar el volumen de suelo bajo la influencia de micorrizas establecidas en la tierra, la cual tiene como objetivo los componentes, la capa de suelo alrededor de las raíces micorrizadas y la otra es el suelo cercano a las hifas del hongo micorrízico o micelio externo que compone la hifósfera o micósfera, el volumen de

micelio en el suelo explorado por el hongo resulta ser mucho más grande que aquel que ha sido explorado por las raíces solas (Kubota et al., 2005).

2.7.2. Las micorrizas en la absorción de nutrientes

Los nutrientes que se encuentra en las plantas se determinan por la capacidad de absorción de la raíz que posee y por la difusión de alimentos, por ende, la liberación de elementos de la solución que se halla en los suelos, el micelio externo de los hongos arbusculares aumenta el volumen de suelo explorado y determinan la utilización de iones de baja velocidad de difusión como P, Zn y Mo (Duchicela, 2001).

Bernal y Morales (2006) menciona que “las enzimas hidrolíticas como son las proteasas son necesarias en la salificación del fósforo y minerales orgánico que se encuentra en el suelo, aumenta los nutrientes disponibles para el mantenimiento de un sistema radicular y saludable de la planta (p.25)

La absorción de los iones menos movidos que encontramos depende del volumen de suelo explorado por el sistema de raíces absorbentes en este contexto, la raíz micorrizadas tiene ventaja sobre la raíz no micorrizadas porque el micelio externo se extiende a mayor profundidad de distancia que los pelos radicales, visto desde el punto de vista nutricional, el mayor beneficio que las plantas de la micorriza estas se incrementa debido a una mayor absorción de elementos (Bernal y Morales, 2006).

Las limitaciones que presenta un nivel bajo de fósforo en el suelo, los beneficio puede ser nulo, según el grado de dependencia micorrízica que encontramos en las plantas, pues altos

niveles de fósforo, pero obstaculiza la simbiosis, además se conoce que las micorrizas influyen en forma directa o indirecta en la absorción de otros iones y minerales que encontramos como (N, K, Ca, Mg, Fe, Mn). Es necesario tomar en cuenta que sustratos altamente ricos en materia orgánica y particularmente fósforo, pueden disminuir o inhibir el efecto de la simbiosis micorrízica. (Enríquez, 2008).

La concentración adecuada dentro de parámetro es de 40-70 ppm de fósforo asimilable para un suelo franco arenoso es considerada alta, de igual manera, el interpretador señala que concentraciones de entre 351-500 ppm de K asimilables son consideradas muy altas a los porcentajes mayores a 2,5% de materia (Vázquez y Morales, 2000).

Los HMA, son corporaciones ecológicamente mutualistas entre hongos del phylum Glomeromycota y la inmensa mayoría de las plantas cultivadas, se establecen que la simbiosis prácticamente es universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de las micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales de la tierra aunque la importancia de la simbiosis planta-hongos formadores de micorrizas arbusculares es reconocida a nivel mundial, existen algunos aspectos sobre la estructura y función de las comunidades en agroecosistemas tropicales que no han sido estudiados (Pérez et al., 2011).

En los suelos subtropical, una tercera parte ha sido clasificada como suelos altamente ácidos con pH menor a 4.5, esta condición de acidez aumentara el nivel de salinidad y también un alto de pluviosidad y la consecuente lixiviación de cationes como Ca^{+2} , K^{+} y Na^{+} , al aumentar las concentraciones de aluminio soluble y disminuyen la concentración de nutrientes disponibles para la planta especialmente fósforo, lo cual limita la productividad de los cultivos

(Koyama et al., 1995).

La especie genética del hongo *R. irregularis* se ha explicado básicamente por la segregación de núcleos, donde la espora madre puede producir nuevas esporas que contienen núcleos con información genética diferente que nos permitirán una mayor síntesis de microorganismo que encontramos en las raíces (Angelard et al., 2010; Sanders y Croll, 2010).

Existe diferentes cepas de *Rhizophagus irregularis* que se produce in vitro, como los resultado obtenidos entre varios procesos de asimilación, nombrando líneas parentales altamente monocigótica entre las líneas de primera generación de única espora a las líneas obtenidas del mantenimiento de las líneas en condiciones in vitro provenientes de una única espora y líneas segunda generación de única espora, como su nombre lo indica, resultantes de la segregación de las líneas de primera generación de única espora. Estas líneas también establecen las diferencias genéticas, fenotípicas y funcionales in vitro y bajo invernadero comparadas con las líneas parentales (Angelard et al., 2010).

Existen diferencia genotípicas y fenotípicas entre especies demostrando las líneas de *R. irregularis*, tienen fuertes implicaciones respecto al uso de HFMA como inóculo en la agricultura. La siguiente línea de investigación es evaluar cómo la variabilidad de la especie es relacionada con el crecimiento y desarrollo de las líneas en el ambiente suelo y, por lo tanto, cómo puede influir en sus capacidades de competencia con otros HFMA (Croll y Sanders, 2009; Angelard et al., 2010).

2.7.3. Nutrición con Fósforo (P)

El fósforo que posee en el suelo son pocos solubles en el agua y por ello su concentración es muy baja en la solución. Cerca de 81 a 89% de fósforo en el suelo, no está disponible para las plantas esto influye las formas del fósforo inorgánico y el mineral no insoluble, la concentración de fósforo en el miceliofúngico es 100 veces superior que en el suelo ya que se presenta mayor afinidad para la captación de fósforo que por la propia raíz (Roman, 2003).

En diferentes estudios se analiza macronutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten la relación benefactora para el crecimiento de la planta. Uno de los principales es el fósforo, el cual, lo podemos encontrar en diferentes formas. en moléculas orgánicas o sales de fosfato es altamente reactivo, no es posible encontrarlo en forma elemental en la naturaleza, sino que se encuentra en diferentes compuestos como sales orgánicas e inorgánicas. Solo el 10 al 15% de P está disponible para las plantas. Esta solubilidad depende de diferentes factores y características del suelo que permiten la movilidad y absorción de dicho elemento, como la relación y metabolización de la comunidad microbiana, de la rizosfera, como el aumento o disminución del PH. Esta última característica cambia la movilidad del fósforo disponible para las plantas. Importarte para el objetivo de la investigación (Gou et al., 2023).

Las plantas pueden absorben nitrógeno en diferentes maneras. La distribución irregular de este elemento, como mineral, genera un factor limitante en los ecosistemas. Por lo tanto, es de gran importancia en las relaciones microbianas que van a fijar el nitrógeno para transportarlo a la planta (Kumar et al., 2022).

2.7.4. Descripción botánica

Es una hierba de gran tamaño y con rizomas cortos, el tallo distintivo, producto de la fusión de las vainas de las hojas, tiene forma cónica, de 3 a 6 m de altura, rematada en una corona de hojas, su suelta y madurez del fruto dependerá de la zona climática en la que se ubique (Según Angulo, 2009)

Reportaron que las raíces de esta planta son superficiales e irradiadas durante los primeros 30 cm. Partiendo del suelo, la longitud puede alcanzar de 1,5 a 2 metros. Los tubérculos, a menudo llamados tallos, producen brotes vegetativos a partir de A medida que la planta madre crece, se producen cambios anatómicos y morfológicos en los tejidos (Fagiani y Tapia, 2007)

Diametralmente forma rizomas que alcanzan una altura considerable también señaló que las hojas son muy grandes, de 2,4 m de largo, Ancho 0,5 m, largo más de 1 m. Cuando son viejos, el viento los rompe fácilmente. Se pueden ver varios tipos de hojas durante el crecimiento de una planta de banano: hojas rudimentarias, hojas estrechas en forma de espada y hojas anchas o verdaderas. El verdadero tallo es un rizoma subterráneo grande y almidonado con una corona (Angulo, 2009)

Hay yemas, casi todas las cuales se desarrollan hasta la floración de todo el rizoma y dan fruto, mientras que la inflorescencia es alada, larga y peciolada; al principio permanece erguido o inclinado, pero a medida que crece se curva hacia abajo. Está cubierto de grandes brácteas de color carmesí dispuestas en forma de espiral y los cogollos forman la punta de un gran tallo floral cónico (Banascopio, 2015).

2.7.5. Clasificación

Existen más de 500 variedades de plátano; Subgrupo Cavendish El más cultivado de este subgrupo es el clon de valeriana, Gran Enano y Williams son los más destacados por sus características e importancia en el comercio mundial, su capacidad de adaptación al clima, alta resistencia al medio ambiente El viento es fuerte y la cosecha es abundante (Tigasi,2017)

2.7.6. Descubrimiento del hongo micorrizas en los suelos

Las micorrizas descubiertas fueron observadas por primera vez, recibieron su nombre actual en 1885 por el botánico alemán Albert Bernhard Frank, quien la descubrió en varios árboles frutales, en el año 1900, el francés Bernard descubrió la extrema importancia de las micorrizas en la vida y el desarrollo de las plantas y orquídea, en 1910, su investigación comenzó a expandirse hacia las plantas agrícolas y hortícolas. Sin embargo, no fue hasta 1955, cuando se publicó el primer estudio de Moss en Gran Bretaña, que las micorrizas dejaron de considerarse inusuales y se aceptó su verdadera importancia y ubicuidad. Recientemente, numerosos descubrimientos fósiles han permitido establecer que el origen y la existencia de las micorrizas es muy antiguo, ya que en las capas pertenecientes al período Ordovícico se encontraron vestigios de la familia Glomeromycota que datan de hace 460 millones de años (Azcon y Barea, 1996).

Las plantas aglomeradas ya eran bastante comunes cuando aparecieron las primeras plantas terrestres en el registro fósil hace 400 millones de años. Estas plantas, al igual que las principales especies de Aglaophyton, carecen de raíces verdaderas y sólo tienen tallos subterráneos o rizomas de los que surgen varios tallos aéreos. Como resultado, la absorción de nutrientes se atribuye casi en su totalidad a los hongos micorrízicos, por lo que se podría

argumentar que su presencia fue crucial para la expansión de la vida vegetal y posteriormente animal en las zonas áridas.

2.8. El papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes

El aprovechamiento de las nutrientes absorbidas por las plantas depende principalmente de la capacidad de las raíces que posee la planta, la difusión de nutrientes y la posterior liberación de elementos a la solución del suelo. La morfología de la raíz y el micelio externo los microorganismos arbusculares desarrollan la utilización de iones baja difusión como fósforo, zinc y cobre.

La función principal de las micorrizas es aumentar el volumen del suelo para poder utilizar los nutrientes y así aumentar la eficiencia de su absorción de la solución del suelo. La explicación más plausible para esta alta utilización es que las hifas de los hongos que se extienden desde las raíces son capaces de absorber el fosfato del suelo y transportarlo a las raíces hospedantes, con la superficie de absorción proporcionada por las ramas miceliales externas que rodean las raíces micorrícicas. aplique fosfatos al suelo fuera de la zona agotada en la superficie de la raíz (Rodríguez.,2005).

La mejora de los nutrición y mineral es el resultado de la asociación de micorrizas y se refleja en una mayor supervivencia, crecimiento y productividad de las plantas. Se reconoce que las respuestas de crecimiento de las plantas son a menudo el resultado de aumentos de fósforo y otros nutrientes como cobre, zinc, magnesio, manganeso, calcio y nitrógeno.

2.8.1. El papel de las micorrizas arbusculares en el control de patógenos

Las micorrizas arbusculares han recibido mucha atención en los últimos años debido a los

diversos beneficios simbióticos que tienen las plantas. Los beneficios de la prevención de patógenos radiculares han sido ampliamente estudiados en todo el mundo. Sin embargo, existen varias revisiones de las interacciones entre micorrizas y patógenos que enfatizan el potencial del control biológico con la erradicación de enfermedades. Hay poca investigación sobre las enfermedades del tallo y las hojas, pero en general las plantas con micorrizas son menos susceptibles que las plantas sin micorrizas (Azcon y Barea, 1996).

Las micorrizas se definen como asociaciones simbióticas mutualistas entre raíces de plantas y determinados hongos del suelo, esta relación hongo-planta ha sido objeto de intensos estudios en el presente siglo concentrándose especialmente en las últimas dos décadas, con lo que se ha podido determinar que las micorrizas son una parte integral de la planta con un importante papel, en el crecimiento y desarrollo del vegetal. Las micorrizas, son un fenómeno de simbiótico general que se produce al asociarse uno o varios hongos con las raíces de las plantas en el cual hay un intercambio de nutrientes y minerales, algunos tipos de micorrizas son similares y comparten linajes de plantas, mientras otros tienen características anatómicas muy distintas e historias evolutivas separadas, los hongos que participan como socios en esta relación hongo-plantas son del filum: Basidiomycota, Ascomycota y Glomeromycota (Azcon y Barea, 1996).

2.8.2. Impacto económico del uso de micorrizas arbusculares en huertos

Los árboles frutales son cultivos de alto valor, cuya producción implica a menudo operaciones costosas como fumigaciones, fertilizaciones complejas, altos requerimientos agrícolas, equipos especializados, invernaderos, viveros, etc. Una de las causas más comunes del

mal manejo en los huertos es la plantación de plantas con deficiencia de nutrientes en los viveros, ya que comúnmente se utiliza la fumigación con pesticidas para producir plantas libres de patógenos (Morton y Benny, 1990).

De esta forma también se destruyen los hongos beneficiosos, por lo que la planta debilita su desarrollo, lo que también se manifiesta como clorosis y retraso en el crecimiento. Los viveros suelen utilizar sustratos de cultivo artificiales como vermiculita, perlita u otros materiales que no contienen hongos micorrízicos, por lo que es necesario introducirlos (Azcon y Barea, 1996).

2.8.3 Asociaciones de las micorrizas

La micorriza es un fenómeno simbiótico que produce al asociarse con varios hongos de las plantas en la cual hay un intercambio de nutrientes y minerales, son asociaciones que comprenden diversas categorías morfológicas, funcionales y evolutivas, algunos tipos de este género de micorrizas son similares y comparten linajes de plantas, mientras otros tienen características anatómicas muy distintas e historias evolutivas separadas, los hongos que participan como socios en esta relación hongo-plantas son del filum; Basidiomycotas, Ascomycotas y Glomeromycotas, el término mutualismo implica beneficios mutuos en las asociaciones entre dos o más organismos vivos (Smith y Read, 2008)

2.9. Taxonomía hongos formadores de Micorrizas Arbusculares

La individualización de los Hongo formadores de micorrizas arbusculares, están basadas en la morfología y fisiología en el proceso de la formación y la estructura de la pared de la espora, las estructuras intraradicales del hongo, como los arbusculos y las vesículas, son consideradas irrelevantes en los hongos de micorrizas, aumenta la simbiosis obligando la formación de zigosporas, fueron clasificados inicialmente en el orden Glomales, dentro del filo

Zygomycetes (Morton y Benny, 1990).

En la década de los 90 las herramientas moleculares para el análisis taxonómico comenzaron a estar disponibles y ayudar en el establecimiento de una nueva taxonomía, en individual los análisis de secuenciación de la subunidad más pequeña del gen ribosomal, RDNA, ha permitido ubicar a los HFMA en una nueva clasificación: el filo Glomeromycota (Morton y Redecker, 2001).

El conjunto de Glomus A y B se caracterizan por una formación de esporas en el extremo de la hifa, estos hongos Glomus del grupo A son los más dominantes y diversos en la mayoría de los suelos, el grupo A pertenece la especie Glomus intraradices, actualmente llamada Rhizophagus irregularis, la especie modelo de este filo y utilizada en este estudio, en el grupo B se encuentran muchas especies que también han sido estudiadas como: *G. etunicatum*, *G. claroideum* y *G. lamellosum* (Krüger, 2012).

2.10. Comunidades hongos formadores de Micorrizas Arbusculares

En la comunidad de HFMA se define como el ensamblaje de diferentes especies de HFMA que comparten tiempo y espacio entre las asociadas a una o más plantas en la naturaleza, las definiciones de la macro ecología en el ensamblaje de estas especies se puede establecer como el conjunto de especies que comparten un lugar, teniendo en cuenta que estas especies que interactúan, y su presencia en un nicho estará relacionada con la capacidad de competencia y la habilidad de dispersión de cada especie, existe diferentes parámetros medibles han sido utilizados para evaluar el comportamiento de las comunidades en el tiempo y con el objetivo de comparar comunidades presentes bajo diferentes tratamientos, estos parámetros se describen más

adelante, cuando se habla de diversidad genética (Gee y Giller, 1987).

2.11. Metodologías en el estudio de comunidades de hongos formadores de Micorrizas Arbusculares

Los estudios de la comunidad de HFMA se evaluaron la cuantificación de las esporas aisladas dentro de la rizósfera de plantas que encontramos en el suelo y raíces, con la consecuente selección de morfotipos los grupos de esporas según tamaño, forma y color, las esporas de cada morfotipo se colocan en una lámina portaobjetos usando un reactivo de Melzer para observar en el microscopio y describir las características morfológicas tomando como referente el manual de Schenck y Perez las descripciones del INVAM (the International Culture Collection of VA Mycorrhizal Fungi (Schemck y Perez, 1990).

Los hongos que presenta dentro de la rizósfera aportan información sobre las especies que están conformando la comunidad de HFMA, Pero se debe tener en cuenta que las esporas son estructuras de resistencia que pueden no representar las especies fisiológicamente activas, es decir aquellas que están estableciendo una simbiosis con la planta, la extracción e identificación de las esporas se ha considerado un análisis indirecto de la comunidad de HFMA (Robinson-Boyer, 2009).

La transmisión con HFMA en sistemas de la agricultura de esta especie es la más utilizada es el microorganismo *Rhizopagus irregularis*, hay mucha diferencia razones que explican el uso de esta especie como inóculo tanto en estudios experimentales como en la práctica agrícola. *Rhizopagus irregularis* es el hongo modelo en el filo Glomeromycota porque

tiene la capacidad de crecer en cultivo, es la única especie con el genoma secuenciado, es abundante en un amplio rango de ecosistemas, la coloniza eficientemente las raíces de la mayoría de las plantas; es una especie resiliente frente a prácticas de manejo agronómico, además, se ha demostrado que *R. irregularis* aplicado como inóculo se establece exitosamente en las raíces de las plantas inoculadas (Köhl, 2016).

En las investigaciones, han desarrollado el efecto que tiene la inoculación de *Rhizophagus irregularis* previamente denominado *Glomus intraradices* sobre la diversidad de la comunidad local de HFMA, utilizando T-RFLP y la región LSU RDNA, encontraron que la inoculación de *R. irregularis* sobre plantas, no afecta la diversidad de los HFMA locales, en otro estudio demuestra que el análisis de variabilidad el gen ribosomal completo (SSU-ITS-LSU) usando secuenciación Sanger, se determinó que la inoculación de *R. irregularis* disminuye la diversidad de la comunidad local de HFMA asociada a plantas (Jin,2013).

2.12. *R. irregularis* como HFMA modelo en estudios de interacción simbiótica con plantas de cultivo

El microorganismo *Rhizophagus irregularis* es una de las especies de más estudiadas, empleada como organismo modelo de análisis en investigación agrícola e inoculantes comerciales, este grupo pertenece a los Glomeromycota y se describe por su crecimiento rápido y significativo de su micelio, así como también por su abundancia y naturaleza ubicado en ecosistemas y agroecosistemas alrededor del mundo (Oehl,2010).

La especie Glomeromycota con información de su genoma secuenciado, colonizada de manera eficiente las raíces de la mayoría de las plantas, es resiliente a prácticas de manejo

agronómico y su crecimiento es posible usando cultivo in vitro en condiciones monogénicas, esto ha permitido lograr recientemente un sistema biotecnológico eficiente de producción masiva de inóculo de *R. irregularis* para emplear en los cultivos agrícolas sembrados, que concentra gran número de propágulos de este hongo FMA en un mayor volumen de medio estéril, donde se ha demostrado que su uso es eficiente y se establece exitosamente en las raíces de las plantas inoculadas, así como en suelos ácidos del trópico colombiano (Ceballos,2013).

El resultado de la simbiosis de *R. irregularis* con plantas cultivadas ha sido analizado en estudios experimentales de crecimiento y producción a nivel de invernadero y de campo, demostraron que este hongo FMA provoca efectos en el crecimiento y la transcripción de genes específicos de la simbiosis en plantas de banano en invernadero, sin embargo, aunque *R. irregularis* es usado dentro de las investigaciones por sus características mencionadas, sus efectos en interacciones con diversos patógenos en sistemas de cultivo han sido poco analizados en comparación con estudios acerca de su influencia en la nutrición y crecimiento de plantas de cultivo (Ceballos, 2013).

2.13. Aislamiento de esporas hongos formadores de Micorrizas Arbusculares

El aislamiento de esta especie de HFMA se realizó mediante el método de tamizado y centrifugación con sacarosa propuesto por Genrderman y Nicolson (1963), se colectó y pesó 10 g de muestra de suelo rizosférico por cada maceta proveniente del cultivo trampa. Las muestras se procedieron a licuaron con agua destilada por 20 segundos a máxima velocidad, vertiendo la solución con mucho cuidado al sobre el juego de tamices de mayor a menor tamaño de poro (300, 250 y 30 μm) (Kumar, 2022).

Se mostró la fracción obtenida del tamiz de menor tamaño (35 μm) en tubos de ensayos de 60 ml y se adicionó solución y sacarosa en el fondo del tubo con la ayuda de una jeringa y con movimientos, se centrifugó a 300 rpm durante 10 minutos y se vertió el sobrenadante sobre el tamiz más fino para luego lavar con abundante agua con el fin de retirar la sacarosa. Se colocó un tamiz conveniente en una caja Petri que sea redondo de 1 cm para la colocar e identificación las esporas obtenidas en el proceso (Kumar, 2022).

Los hongos son la forma de conservación de los HMA en la naturaleza, aunque el ciclo de vida disminuye dentro de HMA se puede formar otros propágulos como mallas de micelio y fragmentos de raíces colonizadas, las esporas son más resistentes a las condiciones medioambientales y pueden entrar en latencia, mediante el engrosamiento de su pared, si éstas son desfavorables. En la mayoría, son de forma globosa, pero algunas de estas especies tienen esporas ovaladas; ellas se desprende una hifa de sustentación que en conjunto dan la apariencia de un globo con su hilo colgando. Las esporas son de diferentes colores como blancas amarillentas y blancas cremosas y su tamaño puede variar de 20 a 40 μm , y en las más grandes de 200 a 100 μm (Oehl, 2010).

La simbiosis micorrizas del grupo HMA con plantas se había informado hace 400 millones de años, estos tipos de vínculos se establecen como una sucesión de procesos biológicos, que conducen a una variedad de efectos útiles tanto en el ecosistema natural como en las biotas, hay varios estudios han informado que juegan un papel crucial en la nutrición y el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés y mejoran una serie de procesos esenciales del ecosistema Los Hongos Micorrízicos Arbusculares se consideran reguladores naturales del

crecimiento de la mayoría de la flora terrestre. Se utilizan como bioinoculantes y los investigadores fomentan su uso como biofertilizantes destacados en la productividad sostenible de los cultivos (Syamsiyah, 2018).

El suelo inoculado por el grupo HMA forma masas más constantes y micelio hifal extraradical significativamente más alto que los suelos no tratados con HMA. Se encontró diferencia en condiciones precontroladas de invernadero, las micorrizas arbusculares incrementaron la altura de plantas de banano en 85% con respecto a plantas no inoculadas y a plantas fertilizadas con fósforo, Franco (2008), menciona que hay varias etapas en el proceso de colonización de la micorriza a una raíz de una planta, que van desde la diferenciación de la espora, propagación del hongo e identificación mutua entre la planta y el hongo hasta la colonización, produciéndose cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz (Syamsiyah, 2018).

2.14. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés abiótico en plantas

Las plantas responden de manera diferente a las tensiones abióticas, como la sequía, las inundaciones, las temperaturas extremas, la salinidad y los metales pesados, estos estreses reducen la diversidad de HMA y alteran la composición de la comunidad de HMA, lo que da como resultado una comunidad de HMA con una mayor proporción de especies que son fenotípicamente similares, porque son más tolerantes a ese estrés abiótico específico. La retroalimentación será más fuerte con el cambio climático HMA se adaptará al estrés abiótico independientemente de su planta huésped. Dependiendo del estrés, los beneficios de los HMA para las plantas asociadas pueden variar (Bennett y Classen, 2020).

La población por HMA tiene un efecto protector denominado resistencia inducida por micorrizas que proporciona protección sistémica contra una amplia gama de atacantes y comparte características con la resistencia sistémica adquirida después de la infección por patógenos y la resistencia sistémica inducida después de colonización de raíces por rizobacterias no patógenas. Además de la activación de los mecanismos de defensa de las plantas, se han informado varias otras razones para la reducción del daño de los patógenos por los HMA, como la mejora del estado nutricional de la planta hospedante, el cambio en el crecimiento y la morfología de las raíces, la competencia por los sitios de colonización y los fotosintéticos del hospedador, y cambios en la micorrizosfera (Nguvo y Gao, 2019).

2.15. Característica de Producto MYCROBOOSTER

Es un producto a base de hongos micorrízicos (*Rhizophagus irregularis*) formulado en suspensión líquida y se puede aplicar perfectamente mediante riego. En Ecuador, gracias a la alianza de Agrosshield y Plantonix de EE. UU., ya ha tenido un efecto positivo en frutales.

Ningún agricultor quiere oír que hay setas en su cultivo. Pero lo cierto es que también existen hongos que son beneficiosos para el desarrollo de las plantas. Estos son los llamados hongos micorrízicos, que son simbióticos con más del 95% de los cultivos del mundo. Estos hongos no pueden sobrevivir sin plantas y la mayoría de las plantas no pueden crecer sin estos hongos. Esta relación simbiótica se llama micorriza, y se pueden distinguir hasta siete tipos diferentes, pero las dos más importantes son la endomicorriza (también llamada micorriza arbuscular) y la ectomicorriza.

El hongo más utilizado en la producción agrícola es *Rhizophagus ruléis*, antes conocido como *Glomus intraradices*, porque es el que produce la mayor cantidad de esporas y se multiplica durante la reproducción, las principales ventajas de la micorrizas son de crecimiento más equilibrado de las plantas, un sistema radicular sano y fuerte, la mayor resistencia a la sequía, estabilización de la superficie, protección contra algunas plagas y enfermedades, reducción del estrés durante la plantación y fertilización y reducción del riego. Incluso son un agente antiestrés, lo que permite expresar mejor sus propiedades cuando entran en contacto con el suelo o plantas estresadas.

Es el único producto en el mercado nacional que actualmente se desarrolla en forma de gel, lo que da ventajas en cuanto a dosificación y garantiza el uso del producto sin impurezas en sus ingredientes”. En la mayoría de los productos que se comercializan son granos o sustratos que se depositan en pequeñas cantidades en fosas junto a las plantas o mangueras de riego, aunque recientemente han aparecido micorrizas que se pueden aplicar directamente mediante riego puntual.

Esta es la principal característica de MYCROBOOSTER, un producto único, la primera forma de micorrizas in vitro y en enmienda líquida del mercado, que puede ser aplicado mediante drench, asegurando la ausencia de contaminantes como patógenos y microorganismos nocivos. Las micorrizas son beneficiosas, la combinación de hongos y raíces penetra en las células de las raíces sin dañarlas y produce un crecimiento radicular significativo. Cuando se inocula el cultivo, aparecen unos tres metros de hifas por cada centímetro de micorrizas, lo que permite explorar zonas del sistema radicular antes inaccesibles.

MYCROBOOSTER, por otro lado, puede mejorar los mecanismos de defensa de las

plantas contra ciertos patógenos y plagas", añadió. Además, es el único producto con tres tipos diferentes de reproducción: esporas, raíces las micorrizas e hifas, proporcionando cinco millones de reproducciones en una hectárea, mientras que otros productos en el mercado sólo entregan cincuenta mil unidades y sólo esporas. Al contener diferentes tipos de propagación irregular de fagos radiculares se puede reducir la tasa de colonización radicular, en el caso de MYCROBOOSTER el tiempo de colonización es de sólo dos semanas, lo que supera con creces el desempeño de otros productos en el mercado.

2.16. Beneficios de MYCROBOOSTER

- Mejor absorción de agua y nutrientes, especialmente fósforo.
- Estimula el crecimiento en condiciones adversas (sequía, salinidad, suelos pobres y niveles extremos de pH)
- Mayor resistencia de los cultivos a interacciones microbianas dañinas.
- Mejora de propiedades sensoriales, calidad nutricional y efecto quimiopreventivo

3. CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación

El estudio de esta investigación que se realizó fue de carácter descriptiva y experimental.

3.2 La población y la muestra

En la presente investigación se lo llevo a cabo en el Recinto La Dolorosa perteneciente al cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas, Esta área se encuentra a una altitud de 12 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 23°C, con una humedad relativa de 84.50% y una precipitación de 438 mm/año. con una topografía irregular del terreno (INAMHI, 2012).

3.2.1 Característica de la población

El factor de estudio fue el evaluar dosis de mycrobooster (micorriza *Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano.

3.2.2 Delimitación de la población

El área del trabajo investigado fue una hectárea de 1.400 plantas los tratamientos estudiados fueron cuatro con tres repeticiones.

3.2.3 Tipo de muestra

Evaluación cada mes para ver efecto del Mycrobooster en la plantación bananera.

3.2.4 Tamaño de la muestra

Las evaluaciones de este estudio fue evaluar la altura del hijo con una cinta métrica, con un peachimetro evaluar el Ph del suelo, el porcentaje de raíces vivas y muertas y el fuste, esto se lo realizo cada mes por tres meses.

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

Se tomo por cada variable cinco plantas al azar para realizar las respectivas evaluaciones.

3.3 Los métodos y las técnicas

El ensayo se lo realizo de la siguiente manera;

3.3.1 Diseño de investigación

El diseño que se utilizo fue en Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA), la investigación consta con cuatro tratamiento y tres repeticiones.

3.3.2 Fase 1 (Día 0)

Se recolecto 5 plantas al azar, que estén prontas, una vez escogida la planta se mide el fuste y la altura del hijo y el Ph del suelo, para luego aplicar la dosis recomendad del producto Mycrobooster y el testigo no se aplicó.

3.3.3 Fase 2 (Día 30)

Una vez realizado los 30 días después de la aplicación se toma los datos de las plantas aplicadas, que son raíces, emisión foliar, fuste y altura del hijo, después se le aplica la dosis recomendad a cada tratamiento, para la aplicación volvemos a seleccionar 5 plantas al azar que estén prontas.

3.3.4 Fase 3 (Día 60)

En esta fase no se aplicará ningún producto, solo se tomará datos de, emisión foliar, Ph, fuste y altura del hijo.

3.4 Variables de estudio

3.4.1 Raíces vivas, muertas

Separamos las raíces vivas y muestra para sacar el porcentaje según el análisis

3.4.2 PH

El PH se lo mide con un peachimetro para ver el estado del suelo si esta alto o bajo.

3.4.3 Fuste

El fuste se lo mide con una cinta métrica para observar el grosos del hijo, y poder determinar que va a ser una planta con mayores dedos en el racimo.

3.4.4 Altura del hijo

La altura del hijo se lo mide con una cinta métrica, para observar el estado de la planta.

Tabla 2. Tratamiento de estudio

No.	Tratamiento	Dosis x ha	Días
1	MYCROBOOSTER	1 litro/ha	1 – 30 - 60
2	MYCROBOOSTER	1.5 litro/ha	1 – 30 - 60
3	MYCROBOOSTER	2 litro/ha	1 – 30 - 60
4	Testigo	Sin tratamiento	Sin aplicar

3.5 Procesamiento estadístico de la información

El análisis de datos se lo realizó en el programa infostat y los datos fueron sometidos a la prueba de rango múltiples de Tukey al 0.05 %.

Tabla 3. Andeva del experimento

Andeva	Grados de libertad
Tratamientos	$4-1=3$ (t-1)
Bloques	$3-1=2$ (r-1)
Error experimental	$3*2=6$ (t-1) (r-1)
Total	$4*3-1=11$ (tr-1)

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

4.1.1 Fuste

En este variable, el análisis de varianza realizado reportó significancia estadística entre los 4 tratamiento analizadas (Anexo 1).

Con Respecto a los resultados de la prueba de Tukey, estos son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se encontró que el tratamiento T3 obtuvo el mayor valor, con 0.50% de fuste; mientras que el tratamiento T4 presento el menor valor con una media de 0,32%. En la Tabla 4, se observa los resultados del análisis.

Tabla 4. Fuste del hijo de los 4 tratamiento estudiado

Tratamiento	Media	N	E.	Comparación
T1	0,35	3	0,01	A
T2	0,45	3	0,01	B
T3	0,50	3	0,01	B
T4	0.32	3	0.01	A

Media con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0,05$)

4.1.2 Ph

De acuerdo con este tratamiento, el análisis de varianza demostró que no existe diferente

significancia estadística entre sí (Anexo 2).

El resultado del test de Tukey los valores analizados son significativamente iguales ($p > 0,05$). Se determinó que los tratamientos T4, T2, T3 y T1 poseen en sus Ph del suelo. En Tabla 5.

Tabla 5. Ph del suelo de los tratamientos analizados

Tratamiento	Media	N	E. E	Comparación
T1	8,81	3	1,95	A
T2	5,02	3	1,95	A
T3	6,24	3	1,95	A
T4	4,96	3	1,95	A

Media con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.1.3 Altura del hijo

En el Anexo 3, se observa el resultado del análisis de varianza realizada, donde resulta que no hay significancia estadística entre los tratamientos.

Con respecto al resultado de la prueba de Tukey al 5% (Tabla 6), los resultados no fueron significativos; sin embargo, se puede observar que el tratamiento T2 obtuvo 2.31 (cm) de altura, comparado al T4 que fue el más bajo con un valor de 1.61 (cm).

Tabla 6. Altura del hijo de los 4 tratamientos

Tratamiento	Media	N	E. E	Comparación
--------------------	--------------	----------	-------------	--------------------

T1	1,97	3	0,17	A
T2	2,31	3	0,17	A
T3	1,90	3	0,17	A
T4	1,61	3	0,17	A

Media con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.1.4 Raíces vivas

De acuerdo con esta variable, el análisis de varianza reportó alta significancia estadística entre los cuatro tratamientos como se observa en el Anexo 4.

En el resultado del test de Tukey, estos son significativamente diferentes ($p > 0,05$). (Tabla 6), demostró que el tratamiento T3 obtuvo un valor de 346,67 gr, mientras tanto el T4 obtuvo un menor valor con una media de 28.33 gr.

Tabla 7. Porcentaje de raíces vivas de los 4 tratamientos.

Tratamiento	Media	N	E. E	Comparación
T1	41,0	3	8,34	A
T2	210	3	8,34	B
T3	346	3	8,34	C
T4	28,3	3	8,34	A

Media con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.1.5 Raíces muertas

En esta variable, el análisis de varianza demostró significancia estadística de raíces muertas, como se observa en el Anexo 5.

El test de Tukey determino que los valores son significativamente diferentes ($p > 0.05$). con respecto a los resultados obtenidos, el tratamiento T4 alcanzo un valor mayor de 190,00gr de raíces muertas y el tratamiento T3 con un valor de 73,33 gr, como se observa en la Tabla 7.

Tabla 8. Porcentaje de raíces muertas en los 4 tratamientos.

Tratamiento	Media	N	E. E	Comparación
T1	93,3	3	7,88	A
T2	75,00	3	7,88	A
T3	73,00	3	7,88	A
T4	190,00	3	7,88	B

Media con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Interpretación de los resultados

En su artículo científico realizado en base a un trabajo experimental en Palmira, Colombia que al realizar una mezcla de varios géneros de micorrizas *Rhizophagus* spp en musáceas obtuvo buenos resultados a nivel de fuste, pero en esta investigación de maestría al evaluar *Rhizophagus* siendo irregularis su especie se comprobó que tiene mayor rendimiento a nivel de fuste y se comprueba su efectividad de esta. (Barrera-Violeth ,2012)

En la XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004 al realizar ensayos en este tipo de micorrizas en banano determino al igual que esta tesis de Maestría que, la micorrización temprana aumenta la tolerancia de las musáceas a hongos vasculares, frenando además la reproducción del patógeno frente a nematodos agalladores y lesionadores (Jaizme Vega,2004)

El uso de micorrizas que son promotoras del crecimiento vegetal en banano aporta beneficios significativos al desarrollo de la planta y podría demostrar una alternativa muy rentable frente a determinados estrés bióticos que suelen darse en este cultivo, teniendo estos puntos en mente, y considerando que la mayor parte de la información disponible hasta ahora se ha obtenido bajo condiciones experimentales controladas, creemos que en el futuro será necesario un trabajo concertado entre patólogos, fisiólogos y "micorrizólogos" para incluir, por ejemplo, utilizar estos microorganismos como estrategia biotecnológica en sistemas de mejoramiento vegetal y hacerlos compatibles con otras prácticas alternativas complementarias (por ejemplo, solarización, mejoramiento orgánico) (Rodríguez Romero,2004).

(Ramírez-Flores,2019) Confirma que los resultados de la longitud de las raíces indican que las micorrizas pueden promover el crecimiento de las plantas, lo cual concuerda con los resultados de este estudio, lo que puede deberse a que las micorrizas contribuyen a la mejora de

la nutrición mineral de las plantas y, por lo tanto, ayudan a que la planta crezca. Aumentar el valor de la longitud de las raíces debido a un mejor transporte de minerales como el fósforo promueve el crecimiento de las raíces de las plantas y a su vez mejora su crecimiento, logrando así un cambio estructural completo, según se pudo corroborar en esta discusión en la cual se tuvo el mismo tipo de resultado que menciono a nivel de mejoramiento (Ramírez-Flores,2019)

(Cárdenas Pardo,2017) Llego a la conclusión en su tesis de maestría al igual que esta, que el manejo de hongos micorrízica y su inoculación en sistemas agrícolas ha sido considerado una tecnología nueva, eficiente y ecológicamente relevante que sugiere alternativas de desarrollo como una práctica biológica prometedoras en el sector agrícola y forestal.

Ballesteros (2004) menciona que “la simbiosis de los cultivos agrícolas con estos hongos resulta beneficiosa a nivel de nutrición y protección fitosanitaria como defensa frente a patógenos tan agresivos” (p,24)

Yusney Agüero (2018) al igual que en resultados comparativos demostró que “si hubo presencia de micelio, el cual indica que se activó el proceso de micorrización al presentarse este tipo de hongos en la superficie de donde fue aplicado el producto evaluado” (p,35)

Adriana Tufino (2011) manifestó que “las plantas micorrizadas absorben más fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio que las plantas no inoculadas porque los hongos son capaces de absorber nutrientes y descomponer la materia orgánica, asegurando así su movilidad” (p,18)

A los 60 días el tratamiento T3 (Micorriza+leonardita) al igual que el T3 de la micorriza evaluada en esta tesis de maestría y tuvo la mayor altura de planta sin diferir estadísticamente del T2 (Leonardita) y T1 (Micorrizas). La aplicación de micorrizas en el cultivo de banano ha mostrado efectos positivos en el desarrollo agronómico de la planta. Estudios previos, como el

realizado por Pino et al. (2018), demostraron que la simbiosis micorrícica mejoró significativamente la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, lo que condujo a un aumento en la altura de las plantas, la producción de hojas más grandes y un incremento en la producción de racimos, se concuerda con Jesús Calderon,2023 el cual aplico micorrizas y pudo apreciar efectos óptimos al potencializar con leonardita, a diferencia de este ensayo al ser una cepa nueva en el Ecuador actúa con mejores resultados al aplicarse sola.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se estima que La micorriza *Rhizophagus irregularis* permite la posibilidad de desarrollar nuevas tecnologías en usos de enraizadores y ser reemplazados o potencializados con inoculantes biológicos.
- Se evaluó diferentes parámetros como emisión radicular en raíces vivas, afectadas y muertas, en plantas prontas las cuales la emisión radicular en el hijo se puede observar los efectos luego de 5 semanas y evaluar así la efectividad de los tratamientos.
- En varios estudios tecnológicos, se demostró que *R. irregularis* aumenta la absorción de fósforo en varias plantas y debido a estas bondades, *R. irregularis* se encuentra comúnmente en fertilizantes a base de micorrizas (Mycrobooster).

Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudio sobre el uso de la aplicación *R. irregularis* por su uso potencial en la industria bananera, por su característica molecular muy buena en termino de desarrollos de las plantas y en el racimo.
- Explotar los beneficios que nos ofrecen el microorganismo benéfico por su valor nutricional y mejorar la calidad del suelo y de sus raíces.
- Se recomienda realizar aplicaciones seis veces al año para reemplazar el uso excesivo de agroquímicos comerciales que afecta al suelo y la salud humana por su alto contenido de toxicidad.

Bibliográficas

Angelard C, Colard A, Niculita-Hirzel H, Croll D, Sanders IR. 2010. Segregation in a mycorrhizal fungus alters rice growth and symbiosis-specific gene transcription. *Current biology* 20: 1216–1221.

Astudillo Intriago, E. (2012). Propagación vegetal en banano (*Musa paradisiaca* con el microorganismo benéfico (*Trichoderma harzianum*). Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Ecuador.

Azcon-Aguilar, C y Barea, J. (1996). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involves.

BCE. (2020). Ecuador cierra operaciones con Goldman sanchs y profundiza la negociación de su deuda. Ecuador.

Bennett, A. E., Classen, A. (2020). Climate change influences mycorrhizal fungal–plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias. *Ecology*, 101.

Ceballos, I.C., M. Ruiz, C. Fernández, R. Peña, A. Rodriguez, I.R. Sanders. 2013. The In Vitro Mass-Produced Model mycorrhizal fungus, *Rhizophagus irregularis*, significantly increases yields of the globally important food security crop cassava. *Plos One* 8(8): e70633. doi: 10.1371/journal.pone.0070633.

Cedeño Bósquez, C., y Vinuesa Mayorga, D. (2023). Evaluación de bioestimulantes radiculares en el cultivo de plátano *Musa paradisiaca* posterior al control de nematodos en el trópico húmedo. Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura, Ecuador.

Cedeño Franco, M. (2017). Determinación del costo del uso de nematicidas en el cultivo de banano. Carrera de Ingeniería en Administración de empresas Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Quevedo - Ecuador.

Chabla Salas, F. (2021). Evaluación de nematicidas en la reducción de la población de *Radopholus similis* en el cultivo de banano (musa AAA). Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil - Ecuador.

Croll D, Sanders IR. 2009. Recombination in *Glomus intraradices*, a supposed ancient asexual arbuscular mycorrhizal fungus. *BMC Evolutionary Biology* 15: 9–13.

Curtis, Helena; Barnes, N. Sue (2003). *Invitación a la Biología*. Panamericana.

Espinoza Chunzho, A. (2017). Extractos botánicos con potencial aplicación en el control de nemátodos en el cultivo de banano. Carrera de Ingeniería Agronómica, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala - Ecuador.

Faye A, Dalpé Y, Ndung'u-Magiroi K, Jefwa J, Ndoye I, Diouf M, Lesueur D. 2013. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants. *Canadian Journal of Plant Science* 93: 1201–1208.

Fellbaum CR, Gachomo EW, Beesetty Y, Choudhari S, Strahan GD, Pfeffer PE. 2012. Carbon availability triggers fungal nitrogen uptake and transport in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 1–5.

Franco, N. (2008). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Universidad de Sevilla. Disponible en Página Web: www.bioscripts.net.

Gee J, Giller P. 1987. *Organization of communities. Past and Present*. Blackweel Scientific Publications, Oxford.

Gerdermann, J. W. y T.H Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society. 46: 235-244.

González-Chávez, M.C Carmen; Pérez-Moreno, M. C. Jesús (1998). Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Posgraduados.

Guo, Y., Sommer, N., Martin, K., y Rasche, F. (2023). Rhizophagus irregularis improves Hg tolerance of Medicago truncatula by upregulating the Zn transporter genes ZIP2 and ZIP6. Mycorrhiza, 33(1-2), 23–32. <https://doi.org/10.1007/s00572-022-01100-6>.

Holguín Quispe, A. (2018). Nemátodos parásitos asociados al cultivo de banano (Musa spp). Escuela Profesionales de Agronomía, Facultad de Agronomía, Piura - Perú.

Janerette, C. A. (1991). An introduction to mycorrhizae». The Amer. Biolog. Teacher (53): 14-19.

Jin H, Germida JJ, Walley FL. 2013. Impact of arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on subsequent arbuscular mycorrhizal fungi colonization in pot-cultured field pea (Pisum sativum L.). Mycorrhiza 23: 45–59.

Kiers ET, Duhamel M, Beesetty Y, Mensah JA, Franken O, Verbruggen E, Fellbaum CR, Kowalchuk GA, Hart MM, Bago A, et al. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. Science 333: 880–882.

Köhl L, Lukasiewicz, E. C, Heijden van der, van der Heijden MG. 2016. Establishment and effectiveness of inoculated arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. Plant, Cell and Environment 39: 136–146.

Koyama H, Toda T, Yokota S, Dawair Z, Hara T. 1995. Effects of Aluminum and pH on Root Growth and Cell Viability in *Arabidopsis thaliana* Strain Landsberg in Hydroponic Culture. *Plant and Cell Physiology* 36: 201–205.

Krüger M, Krüger C, Walker C, Stockinger H, Schussler A. 2012. Phylogenetic reference data for systematics and phylotaxonomy of arbuscular mycorrhizal fungi from phylum to species level. *New Phytologist* 193: 970–984.

Kruger, Manuela; Claudia Kruger; Cristóbal Walker; Herbert.

Kubota M, McGonigle TP, Hyakumachi M. Co-occurrence of Arum- and Paris-type morphologies of arbuscular mycorrhizae in cucumber and tomato. *Mycorrhiza. mars* 2005;15(2):73- 7.

Kumar, A., Danish Yaseen Naqvi, S., Kaushik, P., Khojah, E., Amir, M., Alam, P., y Samra, B. N. (2022). *Rhizophagus irregularis* and nitrogen fixing azotobacter enhances greater yam (*Dioscorea alata*) biochemical profile and upholds yield under reduced fertilization. *Saudi journal of biological sciences*, 29(5), 3694–3703. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.041>.

Maherali H, Klironomos JN. 2007. Influence of Phylogeny on Fungal. *Science*: 1746-1748.

Medina, C., Mutis, A., Bardehle, L., Hormazabal, E., Borie, F., Aguilera, P., Ortega, F., & Quiroz, A. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance monoterpene production in red clover (*Trifolium pratense* L.): a potential tool for pest control. *Natural product research*, 37(6), 981–984. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2094375>.

Montero Bricio, P. (2022). Manejo integrado del nemátodo *Pratylenchus coffeae* en el cultivo de banano musa AAA. Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuaria, Babahoyo – Ecuador.

Morton J, Benny G. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes) - A new order, Glomales, 2 new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and 2 new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37:471- 491 37: 471–491.

Morton JB, Redecker D. 2001. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia* 93: 181–195.

Morton, J y R Amarasinghe. *Glomus intrarradices*. Colección Internacional de Cultivos de Hongos Micorrícicos Arbusculares (Vesiculares). 2006. Universidad de Virginia Occidental. 17 de noviembre de 2009. <http://invam.caf.wvu.edu/index.html> .

Nguvo, K.J.; Gao, X. (2019). Weapons hidden underneath: Bio-Control agents and their potentials to activate plant induced systemic resistance in controlling crop *Fusarium* diseases. *J. Plant. Dis. Prot*, 126, 177–190.

Oehl F, Laczko E, Bogenrieder A, Stahr K, Bösch R, van der Heijden M, Sieverding E. 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 724–738.

Pérez, C; Rojas, S; Montes, V. Hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 3(2).2011.

Read DJ, Wright DP, Scholes JD. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. *Plant, Cell y Environment* 21: 209–216.

Rhizophagus irregularis (hongo micorrícico arbuscular) (*Glomus intraradices*)".
www.uniprot.org.

Rhizophagus irregularis. MicoBanco. Consultado el 30 de abril de 2019.

Robinson-Boyer L, Grzyb I, Jeffries P. 2009. Shifting the balance from qualitative to quantitative analysis of arbuscular mycorrhizal communities in field soils. *Fungal Ecology* 2: 1–9.

Rodríguez A, Clapp JP, Robinson L, Dodd JC. 2005. Studies on the diversity of the distinct phylogenetic lineage encompassing *Glomus claroideum* and *Glomus etunicatum*. *Mycorrhiza* 15: 33–46.

Sanders IR, Croll D. 2010. Arbuscular mycorrhiza: the challenge to understand the genetics of the fungal partner. *Annual review of genetics* 44: 271–292.

Schemck NC, Perez Y. 1990. Isolation and culture of VA mycorrhizal fungi. Isolation of biotechnological organisms from nature: 237–258.

Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413–1421.

Smith S, Read D. 2008. *The Mycorrhizal Symbiosis*. San Diego: Academic Press Elsevier e: 10–90.

Smith y Read. (2008). *Mycorrhizal simbiosis*. London: Elseiver.

Stockinger, H.; Walker, C.; Schußler, A. (2009). *Glomus intraradices* DAOM197198 un hongo modelo en la investigación de micorrizas arbusculares no es *Glomus intraradices*.

Stockinger; Arthur Schüssler (2012). "Datos filogenéticos de referencia para la sistemática y filo taxonomía de hongos micorrízicos arbusculares desde el filo hasta el nivel de especie" . *Nuevo fitólogo*. 193 (4): 970– 984. doi : 10.1111/j.1469-8137.2011. 03962.x . PMID 22150759 .

Syamsiyah, J., Herawati, A., and Mujiyo. (2018). Te potential of arbuscular mycorrhizal fungi application on aggregate stability in alfsol soil. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 142, 012045. doi: 10.1088/1755-1315/142/1/012045.

ANEXOS

Anexo 1.

Análisis de varianza (SC tipo III) fuste.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,08	4	0,02	47,55	<0,001
Tratamiento	0,06	3	0,02	46,53	0,0001
Repetición	0,02	1	0,02	50,61	0,0002
Total	0,08	11			

Anexo 2.

Análisis de Varianza (SC tipo III) PH.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,19	4	8,3	0,73	0,6014
Tratamiento	29,18	3	9,73	0,85	0,5087
Repetición	4,01	1	4,01	0,35	0,5723
Total	113,8	11			

Anexo 3.

Análisis de Varianza (SC tipo III) Altura del hijo.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2,42	4	0,61	7,25	0,0124
Tratamiento	0,74	3	0,25	2,95	0,1077
Repetición	1,68	1	1,68	20,13	0,0028
Total	3,01	11			

Anexo 4.

Análisis de Varianza (SC tipo III) raíces vivas.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	208827,67	4	52206,92	250,42	<0,0001
Tratamiento	206377,67	3	68792,56	329,98	<0,0001
Repetición	2450	1	2450	11,75	0,011
Total	210287	11			

Anexo 5.

Análisis de Varianza (SC tipo III) raíces muertas.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	28067,71	4	7016,93	37,63	0,0001
Tratamiento	27689,58	3	929,86	49,5	<0,0001
Repetición	378,13	1	378,13	2,03	0,1974
Total	29372,92	11			

Anexo 6.

Producto Mycrobooster a base de R. irregularis.



Anexo 7.

Aplicación del producto R. irregularis de los cuatros tratamientos con la dosis recomendada en esta investigación.



Anexo 8.

Muestreo se lo realizo frente al hijo para extraer muestra de raíces para su respectiva evaluación.



Anexo 9.

Muestra colectada en campo e identificada para realizar con sus evaluaciones.



Anexo 10.

Culminación de mi trabajo de investigación, sobre evaluar dosis de mycrobooster (micorriza *Rhizophagus irregularis*) en cultivo de banano.



UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

