

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

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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

**“Implementación de cámara térmica para evaluar la interacción de HMA
con plántulas de *Musa AAB*”**

AUTOR: Bryan Benito Camacho Vera

TUTOR: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

El Carmen, septiembre del 2025

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

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería Agropecuaria, extensión del Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante **Bryan Benito Camacho Vera** legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (I), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"Implementación de cámara térmica para evaluar la interacción de HMA con plántulas de Musa AAB"**.

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

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

El Carmen, 08 de agosto de 2025.

Lo certifico,


 Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg.
Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página III de 61

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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**“Implementación de cámara térmica para evaluar la interacción de HMA
con plántulas de *Musa* AAB”**

AUTOR: Bryan Benito Camacho Vera

TUTOR: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

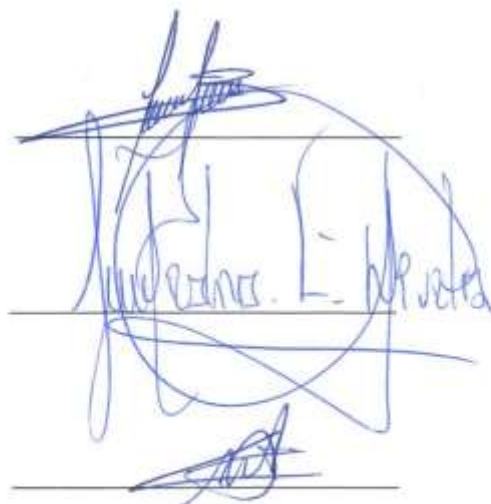
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio, Mg

Ing. Nivelá Morante Pedro Eduardo, Mg

Ing. Cobeña Loo Nexar Vismar, Mg



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Bryan Benito Camacho Vera con cedula de ciudadanía 230031853-8, estudiante de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión El Carmen, de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autor de la tesis titulada **"Implementación de cámara térmica para evaluar la interacción de HMA con plántulas de Musa AAB"** esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total e su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos Y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados

Atentamente,



Bryan Benito Camacho Vera

El Carmen, 8 de agosto del 2025

DEDICATORIA

«El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día tras día». – **Robert Collier**

A mis queridos padres,

Con profunda gratitud dedico este importante logro académico a ustedes, cuyo compromiso inquebrantable, apoyo constante y sacrificio económico hicieron posible alcanzar mi sueño de ser Ingeniero Agropecuario.

Gracias por ser siempre mi mayor fuente de inspiración y fortaleza; este éxito les pertenece tanto como a mí.

Con cariño y admiración,

Bryan Benito Camacho Vera

AGRADECIMIENTO

«Vive como si fueras a morir mañana; aprende como si fueras a vivir para siempre»

(Mahatma Gandhi).

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todos los maestros que me acompañaron a lo largo de mi vida estudiantil. Su dedicación, enseñanzas y apoyo constante fueron fundamentales para mi formación personal y profesional.

Destaco especialmente a quienes supieron guiarme más allá de los caminos convencionales, pues con su orientación aprendí a convertirme en un profesional comprometido y consciente de la importancia de la innovación y la sostenibilidad. Su legado permanecerá siempre en mí como fuente de inspiración y motivación continua.

Bryan Benito Camacho Vera

ÍNDICE

TÍTULO:.....	IV
TRIBUNAL DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
HIPÓTESIS	4
Hipótesis nula.....	4
Hipótesis alternativa.....	4
CAPÍTULO I.....	5
METODOLOGÍA.....	5
1.1 Ubicación del ensayo.....	5
1.2 Caracterización agroecológica de la zona	5
1.3 Métodos	5
1.3.1 Método empírico	5
1.3.2 Método experimental.....	6
1.3.3 Método bibliográfico	6
1.3.4 Método observacional.....	6
1.4 Fuentes de recopilación de la información	6
1.4.1 Fuentes primarias.....	6

1.4.2	Fuentes secundarias	7
1.5	Diseño de la Investigación.....	7
1.5.1	Descripción de los tratamientos.....	7
1.6	Instrumentos de investigación	8
1.6.1	Procedimiento experimental	8
1.6.2	Variables de interés	8
1.7	Tratamiento de los datos.....	8
1.8	Recursos humanos y materiales.....	9
1.8.1	Recursos humanos	9
1.8.2	Materiales	9
1.8.3	Equipos	9
CAPÍTULO II.....		10
MARCO TEÓRICO		10
2.1	Concepto y origen de las micorrizas.....	10
2.1.1	Características fisiológicas y funcionales de las micorrizas arbusculares.....	11
2.2	Mecanismo de absorción de fósforo mediado por micorrizas.....	12
2.3	Funciones ecológicas y agronómicas de los HMA en el suelo y la planta.....	13
2.4	Proceso de colonización micorrícica	15
2.5	Tipos de micorrizas	16
2.5.1	Ectomicorrizas.....	16
2.5.2	Endomicorrizas arbusculares	16
2.5.3	Micorrizas orquidoides (de orquídea)	17
2.5.4	Ectendomicorrizas	17
2.5.5	Micorrizas ericoides	17
2.5.6	Micorrizas monotropoides	17
2.6	Rol y función de la cámara térmica en viveros de musáceas	18
2.7	Origen botánico del plátano (<i>Musa AAB</i>).....	19
2.8	Clasificación taxonómica del plátano (<i>Musa AAB</i>).....	20

2.9	Condiciones edafoclimáticas del cultivo de <i>Musa</i> AAB	20
2.9.1	Fenología de la Planta de Plátano	20
A.	Fase vegetativa (crecimiento)	20
B.	Fase reproductiva (floración)	21
C.	Fase Productiva (Llenado o Madurez del Racimo)	21
D.	Fase de Sucesión (Retorno de la Producción)	21
	ESTADO DEL ARTE	22
	CAPÍTULO III	24
	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	24
3.1	Descripción del sistema	24
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar	25
3.3	Plan de implementación	26
3.4	Resultados	28
3.4.1	Altura de la planta (cm) de plántulas de <i>Musa</i> AAB	28
3.4.2	Diámetro del tallo (cm) de plántulas de <i>Musa</i> AAB	29
3.4.3	Número de hojas de plántulas de <i>Musa</i> AAB	30
3.4.4	Área foliar de plántulas de <i>Musa</i> AAB	31
3.4.5	Peso de raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB, cv. Barraganete	32
3.4.6	Número de raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB, cv. Barraganete	32
	CAPÍTULO IV	34
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	XXXV
	ANEXOS	XLI

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad	5
Tabla 2. Análisis de varianza del experimento	7
Tabla 3. Tratamientos aplicados para evaluar la interacción entre HMA y sustrato en plántulas de <i>Musa</i> AAB.	7
Tabla 4. Clasificación taxonómica del plátano barraganete (<i>Musa</i> AAB)	20
Tabla 5. <i>Caracterización de factores climáticos para cultivar de Musa AAB</i>	20
Tabla 6. Desglose consolidado de gastos de la cámara térmica (2025).....	24
Tabla 7. Altura promedio de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	29
Tabla 8. Diámetro de tallo de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	30
Tabla 9. Número de hojas de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	30
Tabla 10. Área foliar de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	31
Tabla 11. Peso de las raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	32
Tabla 12. Número de raíces de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	5
Figura 2. Las micorrizas y su relación con las plantas y bacterias	10
Figura 3. Descripción ciclo productivo del plátano barraganete	21
Figura 4. Croquis del sistema de la cámara térmica	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado de autoplagio.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2. Implementación de cámara térmica en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí	XLI
Anexo 3. Selección y preparación de colines de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete).....	XLII
Anexo 4. Llenado y organización de 35 fundas por tratamiento (T1–T5) antes de la siembra y asignación aleatoria	XLII
Anexo 5. <i>Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de altura de plántulas establecidas en fundas por tratamiento</i>	XLIII
Anexo 6. <i>Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de número de raíces y peso de raíces</i>	XLIII
Anexo 7. <i>Esquema del análisis de la varianza de la variable número de raíces</i>	XLIV
Anexo 7. <i>Esquema del análisis de la varianza de la variable peso de las raíces</i>	XLIV

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la micorrización y del manejo del sustrato sobre el establecimiento y el crecimiento temprano de plántulas de *Musa* AAB cv. Barraganete bajo condiciones controladas. Se implementó una cámara con microclima estable y se condujo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y siete repeticiones (35 unidades). Los tratamientos fueron: T1, suelo esterilizado sin inóculo ni fertilización; T2, suelo esterilizado + inóculo natural; T3, suelo no esterilizado + inóculo; T4, suelo esterilizado + inóculo + fertilización; y T5, suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo + fertilización. Se midieron altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, peso de raíces y número de raíces. La altura mostró diferencias significativas ($p = 0,0006$; $CV = 15,43 \%$), con T4 = 27,43 cm como valor máximo y T1 = 17,71 cm como mínimo. El diámetro del tallo también difirió ($p = 0,0025$; $CV = 13,96 \%$), destacando T5 = 13,43 cm y T4 = 11,71 cm. El área foliar fue superior en T4 (507,06 cm²) y presentó efecto de tratamiento ($p = 0,0007$; $CV = 35,63 \%$). En cambio, número de hojas, peso y número de raíces no variaron estadísticamente ($p > 0,05$). Los resultados indicaron que la combinación sustrato esterilizado + inoculación + fertilización favoreció el crecimiento aéreo, mientras que la respuesta radical requirió mayor tiempo o ajuste nutricional para expresarse. Se concluyó que el microclima controlado permitió discriminar con alta precisión el desempeño de los tratamientos.

Palabras claves: Barraganete, micorrización, sustrato esterilizado, fertilización, crecimiento vegetativo.

ABSTRACT

The study assessed the effect of arbuscular mycorrhisation and substrate management on the establishment and early growth of *Musa* AAB cv. Barraganete seedlings under controlled conditions. A thermal chamber providing a stable microclimate was implemented, and a randomised complete design with five treatments and seven replicates (35 units) was conducted. The treatments were: T1, sterilised soil without inoculum or fertilisation; T2, sterilised soil + natural inoculum; T3, non-sterilised soil + inoculum; T4, sterilised soil + inoculum + fertilisation; and T5, concentrated soil with native microbiota + inoculum + fertilisation. The variables measured were plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, root mass and number of roots. Height showed significant differences ($p = 0.0006$; CV = 15.43%), with T4 = 27.43 cm as the maximum and T1 = 17.71 cm as the minimum. Stem diameter also differed ($p = 0.0025$; CV = 13.96%), with T5 = 13.43 cm and T4 = 11.71 cm standing out. Leaf area was highest in T4 (507.06 cm²) and showed a treatment effect ($p = 0.0007$; CV = 35.63%). By contrast, number of leaves, root mass and number of roots did not vary statistically ($p > 0.05$). The results indicate that the combination of sterilised substrate + inoculation + fertilisation promoted aerial growth, whereas root responses likely require a longer period or nutritional adjustment to become evident. The controlled microclimate allowed precise discrimination of treatment performance.

Keywords: Barraganete, arbuscular mycorrhization, sterilised substrate, fertilisation, vegetative growth.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) representa una importante alternativa agroproductiva con alta resiliencia agrícola, dada su capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas y edáficas (Dhiman et al., 2025; Paz, 2002). Esta especie herbácea, originaria del sudeste asiático, destaca especialmente en Ecuador, país reconocido por sus condiciones ambientales excepcionales que favorecen una producción constante durante todo el año (Loor, 2023; Socorro et al., 2021). La demanda creciente del plátano, tanto para consumo alimenticio como para materia prima industrial, impulsa la necesidad de implementar métodos avanzados de propagación (Vivas-Cedeño et al., 2018a).

En este contexto, la propagación convencional a partir de macollos presenta limitaciones considerables debido al tiempo prolongado requerido para obtener plántulas en cantidad y calidad óptimas (Ramos Agüero et al., 2016; Sepúlveda et al., 2017). Como alternativa efectiva surge la propagación en cámara térmica, técnica que permite la producción masiva de material vegetal uniforme y fitosanitariamente confiable, optimizando así el proceso de producción (Soto-Sogamoso et al., 2022).

Complementariamente, la incorporación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) constituye una estrategia biológica clave en la resiliencia del cultivo, generando simbiosis mutualista en la zona radicular de *Musa paradisiaca* (Saparrat et al., 2020). Estos microorganismos autóctonos benefician directamente a las plantas mediante la absorción incrementada de nutrientes esenciales, especialmente fósforo, favoreciendo un crecimiento vigoroso y una resistencia natural frente a patógenos del suelo (Samanhudi et al., 2024).

Asimismo, los HMA mejoran elocuentemente la estructura física del suelo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico, optimizando la retención hídrica y reduciendo la densidad aparente, aspectos que repercuten positivamente en la eficiencia hídrica del cultivo y en su sostenibilidad ambiental (Garzón, 2016). Esta interacción biológica fortalece además la resiliencia del sistema suelo-planta, lo que contribuye a una producción más estable y rentable para el productor agrícola (Sepúlveda et al., 2017).

En definitiva, la adopción integrada de propagación *in vitro* y el uso estratégico de micorrizas arbusculares fortalecen el cultivo del plátano desde una perspectiva integral, aumentando la resiliencia productiva y promoviendo sistemas agrícolas sostenibles y eficientes (Ramos Agüero et al., 2016). Paralelamente, la incorporación de micorrizas, hongos

simbióticos naturalmente presentes en el suelo, incrementa la eficiencia del cultivo (Guerra & Linares, 2018).

Estos microorganismos forman una relación mutualista con las raíces de las plantas que facilita la absorción de nutrientes esenciales como el fósforo, además de incrementar la resistencia del cultivo de plátano frente a plagas, enfermedades, sequía y condiciones de salinidad (Valencia-Serna et al., 2014). Comparado con la dependencia exclusiva hacia fertilizantes químicos, el uso de micorrizas representa una opción más económica que contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental y productiva del sistema agrícola, reduce la necesidad de insumos externos y asegura mayores rendimientos (Garzón, 2016; Socorro et al., 2021).

La aplicación de micorrizas es particularmente beneficiosa en las etapas iniciales del crecimiento del plátano debido a que promueve un desarrollo más vigoroso y favorece una mejor adaptabilidad a las condiciones ambientales del cultivo.

El cultivo de plátano barraganete (*Musa AAB*) constituye un eje fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico en Ecuador, especialmente en las áreas rurales donde genera empleos directos e indirectos (Morell et al., 2009). Sin embargo, la productividad de este cultivo enfrenta limitaciones relacionadas principalmente con deficiencias nutricionales en el suelo, estrés hídrico y susceptibilidad a plagas y enfermedades (Muñoz-Márquez et al., 2009).

Ante estas dificultades, los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) representan una alternativa biológica sostenible que favorece significativamente la absorción eficiente de nutrientes esenciales como el fósforo, aumenta la tolerancia a condiciones ambientales adversas y fortalece la defensa natural contra agentes patógenos, permitiendo así un cultivo más robusto y resiliente (Morell et al., 2009).

Pese a estas ventajas, una limitante actual para la implementación masiva de esta técnica radica en la falta de métodos prácticos y no destructivos para evaluar tempranamente y con precisión la interacción simbiótica entre las plántulas de *Musa AAB* y los hongos micorrícicos (López-Gómez et al., 2015).

¿De qué manera la implementación de una cámara térmica facilita una evaluación efectiva y no invasiva de la interacción entre hongos micorrícicos arbusculares y plántulas de *Musa AAB*, contribuyendo al desarrollo sostenible del cultivo en Ecuador?

JUSTIFICACIÓN

La inoculación de plántulas con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) incrementa significativamente la capacidad de absorción de nutrientes esenciales como el fósforo, cuya disponibilidad es limitada en numerosos suelos agrícolas de Ecuador (Meza, 2023). Estos microorganismos establecen simbiosis en las raíces vegetales, lo que proporciona mayor resistencia a las plántulas frente a factores adversos como plagas, enfermedades, sequía y salinidad (Cusme, 2021). Esta asociación simbiótica mejora notablemente el crecimiento inicial de las plantas y favorece la adaptación a largo plazo del cultivo (Loor, 2023).

El uso integrado de cámaras térmicas y hongos micorrícicos arbusculares presenta un amplio potencial para mejorar la rentabilidad agrícola. La termografía infrarroja facilita la detección precoz y precisa del estrés en las plántulas, mientras que la inoculación con HMA optimiza su nutrición y resistencia (Zambrano, 2023). Esta combinación tecnológica favorece la producción de plantas robustas, más resistentes y con mayor rendimiento productivo (Loor, 2023).

En consecuencia, la adopción de cámaras térmicas para monitorear el desarrollo inicial de plántulas inoculadas con HMA resulta justificable tanto desde el punto de vista ecológico como económico (González & Cuenca, 2008). Implementar esta tecnología permite un manejo agrícola más preciso, sostenible y adaptado a las condiciones específicas del entorno, elevando la productividad y asegurando mayor rentabilidad para los productores ecuatorianos (Bautista et al., 2015).

Esta estrategia responde eficazmente a la necesidad actual de sistemas agrícolas resilientes que sean capaces de afrontar adecuadamente las variaciones climáticas y las limitaciones nutricionales del suelo.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Implementar una cámara térmica para evaluar la interacción de HMA con plántulas *Musa AAB* en la graja experimental Rio Suma, Extensión El Carmen.

Objetivos específicos

- Implementar una cámara térmica
- Evaluar el comportamiento de las plántulas de *Musa AAB* bajo la influencia de HMA y condiciones de cámara térmica.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

La micorrización con HMA y el uso de cámara térmica no generan diferencias significativas en el comportamiento agronómico ni en el desarrollo de las plántulas de *Musa AAB* bajo las condiciones evaluadas.

Hipótesis alternativa

La micorrización con HMA y el uso de cámara térmica generan diferencias significativas en el comportamiento agronómico y en el desarrollo de las plántulas de *Musa AAB* bajo las condiciones evaluadas.

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA

1.1 Ubicación del ensayo

El estudio se realizó en la granja experimental Río Suma, ubicada en la Extensión El Carmen. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: Google Maps (2025).

1.2 Caracterización agroecológica de la zona

A continuación, algunas características agroclimáticas del cantón:

Tabla 1. Características climáticas de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86%
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

1.3 Métodos

1.3.1 Método empírico

El método empírico se utilizó para obtener información basada en la observación directa y

la experiencia práctica. Este enfoque permitió recopilar datos específicos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas élites de plátano Barraganete, proporcionando un conocimiento sólido y fundamentado en la realidad del cultivo (Murillo, 2011).

1.3.2 Método experimental

El estudio se apoyó en una metodología experimental, que combinó una base teórica y práctica. Este enfoque fue esencial para validar los resultados y comprender las acciones necesarias en el estudio científico (Andrade et al., 2018). A través del método experimental, se manipularon y controlaron variables claves relacionadas con el desarrollo de las plantas élites, evaluando su efecto en los resultados productivos, como el crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos (Dumon, 1992).

1.3.3 Método bibliográfico

El análisis teórico y conceptual de la presente investigación se fundamentó en una revisión sistemática de literatura científica, que incluyó artículos publicados en revistas indexadas, tesis de posgrado, informes técnicos y documentos institucionales. Esta revisión permitió establecer el marco metodológico y conceptual necesario para el diseño experimental y la interpretación de los resultados obtenidos.

1.3.4 Método observacional

Se aplicó el método observacional con el objetivo de registrar de manera directa las respuestas fenotípicas de las plántulas de *Musa* AAB durante el ensayo. Las observaciones se realizaron en condiciones controladas de temperatura dentro de la cámara térmica, lo que permitió evaluar con precisión variables como el crecimiento foliar, vigor vegetativo y posibles respuestas de estrés inducidas por la aplicación de HMA. Este método garantizó la recolección de datos en un entorno experimental sin intervención directa que altere el comportamiento natural de las plantas.

1.4 Fuentes de recopilación de la información

1.4.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias se obtuvieron mediante la observación directa de variables dependientes establecidas en el experimento, relacionadas con el crecimiento y comportamiento fisiológico de las plántulas. Estas observaciones incluyeron mediciones de temperatura foliar, longitud de hojas, número de hojas desarrolladas, y estado sanitario de las plantas. La interacción con HMA fue monitoreada en cada fase del desarrollo inicial.

1.4.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias consistieron en información proveniente de bibliografía científica especializada, tales como artículos científicos indexados, tesis académicas, informes técnicos y libros especializados en fisiología vegetal, micorrización y manejo de cultivos tropicales. Para la búsqueda de esta información se utilizaron plataformas como Google Scholar, Scopus, SciELO y Redalyc, permitiendo así fortalecer el sustento teórico de los resultados obtenidos.

1.5 Diseño de la Investigación

El análisis estadístico se realizó mediante un diseño completamente al azar (DCA), aplicando la prueba de significancia de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos (Bernal & Melgarejo, 2017). El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa Infostat versión 2022 y las gráficas se elaboraron utilizando el software Excel.

Tabla 2. *Análisis de varianza del experimento*

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	24
Genotipos	4
Error	20

1.5.1 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos utilizados fueron:

Tabla 3. *Tratamientos aplicados para evaluar la interacción entre HMA y sustrato en plántulas de Musa AAB.*

Código	Tratamiento	Descripción
T1	Suelo esterilizado (Control)	Suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización.
T2	INSE (Inóculo natural + suelo esterilizado)	Suelo esterilizado al que se le incorporó inóculo natural de HMA.
T3	INSC (Inóculo natural + suelo concentrado)	Suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo.
T4	INSESF (Inóculo natural + suelo esterilizado con fertilizante)	Suelo esterilizado, inoculado con HMA y suplementado con fertilizante.
T5	INSCF (Inóculo natural + suelo concentrado con fertilizante)	Suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural y fertilización.

1.6 Instrumentos de investigación

1.6.1 Procedimiento experimental

La preparación del suelo y del inóculo se realizó siguiendo estándares establecidos para la propagación de *Musa* AAB. La inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se aplicó en los tratamientos T2, T3, T4 y T5 al momento de la siembra inicial de las plántulas. Además, se implementó una cámara térmica para evaluar la respuesta fisiológica de las plántulas bajo las diferentes condiciones experimentales planteadas.

Procedimiento para la toma de medidas: Las evaluaciones agronómicas se realizaron de forma periódica cada 7 días durante un período de dos meses después de la siembra inicial. Las variables medidas incluyeron:

- Altura de planta: se midió desde la base hasta la hoja más alta con una cinta métrica.
- Número y desarrollo de hojas: se contabilizó el número total de hojas y se evaluó visualmente el estado de desarrollo (Vera, 2014).
- Diámetro del tallo: se midió en la base del tallo utilizando un calibrador digital.
- Biomasa radicular y aérea: al final del experimento se extrajeron las plántulas cuidadosamente para determinar la biomasa fresca y seca de raíces y partes aéreas, mediante balanza analítica.

1.6.2 Variables de interés

A. Variable independiente: Tratamientos aplicados (T1, T2, T3, T4, T5).

B. Variables dependientes: altura de planta, número y desarrollo de hojas, diámetro del tallo, biomasa radicular y aérea.

1.7 Tratamiento de los datos

El análisis estadístico se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), conformado por cinco tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento, totalizando 25 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por 16 plantas de *Musa* AAB, distribuidas homogéneamente en condiciones controladas dentro de la cámara térmica.

Los tratamientos aplicados fueron: T1 (Suelo esterilizado - Control), T2 (Inóculo natural + suelo esterilizado), T3 (Inóculo natural + suelo concentrado), T4 (Inóculo natural + suelo esterilizado con fertilizante) y T5 (Inóculo natural + suelo concentrado con fertilizante). Las variables morfológicas y fisiológicas registradas en las plántulas fueron sometidas a un análisis

de varianza (ANOVA) con el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo vegetal.

Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar contrastes entre tratamientos. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el software estadístico InfoStat, versión estudiantil 2022.

1.8 Recursos humanos y materiales

1.8.1 Recursos humanos

El desarrollo del proyecto contó con la participación de los siguientes actores:

Director del proyecto de investigación curricular: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

Estudiante responsable y autor del proyecto: Bryan Benito Camacho Vera

Ambos colaboramos en la planificación, ejecución y evaluación del estudio, garantizando el cumplimiento de los objetivos planteados.

1.8.2 Materiales

Para la ejecución del experimento, se emplearon insumos esenciales que permitieron desarrollar el proceso de fermentación y análisis microbiológico, entre los cuales se destacan:

- Estructura soporte
- Cubierta térmica
- Puerta de acceso:
- Sustrato y tratamientos:
- Riego controlado

1.8.3 Equipos

La experimentación requirió del uso de equipos técnicos que garantizaron precisión en las mediciones y análisis, tales como:

- Balanza analítica de alta precisión
- Computadora para procesamiento de datos
- Cinta métrica
- Regla milimetrada

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

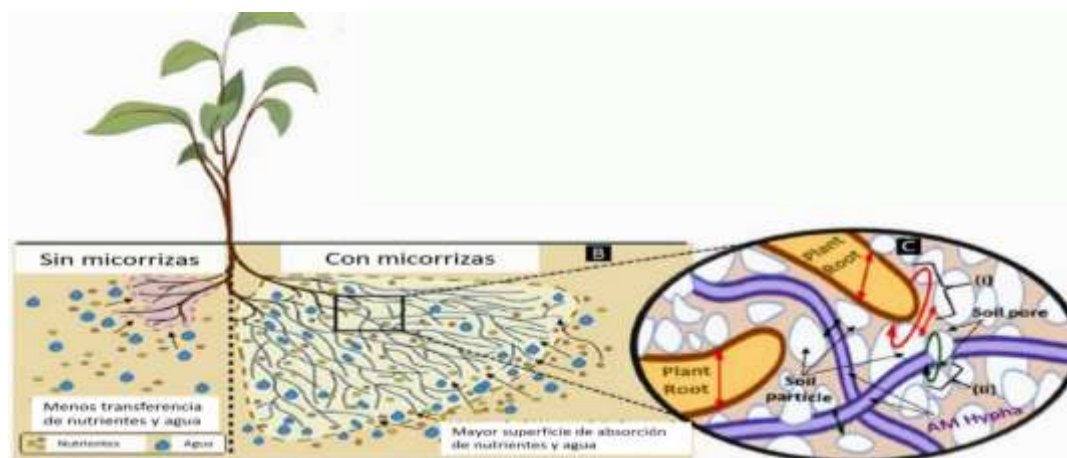
2.1 Concepto y origen de las micorrizas

El término micorriza proviene del griego mykos (hongo) y del latín rhiza (raíz). Fue acuñado por el botánico A.B. Frank en 1885 para describir la asociación simbiótica entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas (Bernal & Melgarejo, 2017). En esta simbiosis, el hongo coloniza los tejidos radicales sin causar daño y establece una relación mutuamente beneficiosa con la planta hospedera (Saparrat et al., 2020). Se trata de una interacción muy antigua y extendida en la naturaleza: se estima que entre el 80% y 95% de las plantas terrestres forman micorrizas de manera natural (Soto-Sogamoso et al., 2022).

La notable presencia de asociaciones micorrízicas en la mayoría de las plantas vasculares indica que estas simbiosis desempeñaron un papel fundamental en su evolución, al facilitar su establecimiento en suelos con baja disponibilidad de nutrientes (Bernal & Melgarejo, 2017). Las micorrizas se forman a partir de un proceso denominado micorrización, que puede ocurrir de manera espontánea o ser inducido artificialmente, durante el cual las raíces activas de la planta entran en contacto con las estructuras fúngicas, dando inicio a la interacción simbiótica (Abud et al., 2008; Saparrat et al., 2020).

En esta relación, la planta suministra al hongo azúcares y compuestos orgánicos producto de la fotosíntesis, mientras que el hongo contribuye a mejorar la absorción de agua y nutrientes, al transformar minerales y materia orgánica del suelo en formas biodisponibles para la planta (Bernal & Melgarejo, 2017; Soto Sogamoso et al., 2022).

Figura 2. Las micorrizas y su relación con las plantas y bacterias



Fuente: Nota tomado de Arvensisagro (2022).

Gracias a esta relación, ambos simbioses resultan beneficiados. No obstante, prácticas agrícolas intensivas, como el uso excesivo de fertilizantes químicos y el laboreo agresivo, pueden alterar estas asociaciones naturales; de hecho, la degradación del suelo y el abuso de agroquímicos han ocasionado pérdidas significativas en la funcionalidad de las micorrizas (Guerra & Linares, 2018). Por ello, en la agricultura moderna se ha renovado el interés en las micorrizas como bioinsumos para restaurar suelos y mejorar la nutrición de los cultivos de forma sostenible (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.1.1 Características fisiológicas y funcionales de las micorrizas arbusculares

Existen diversos tipos de micorrizas, pero las micorrizas arbusculares – también conocidas históricamente como micorrizas vesículo-arbusculares – son las más comunes en los cultivos tropicales y en la mayoría de plantas herbáceas (Carrillo-Saucedo et al., 2022). Se clasifican dentro de las llamadas micorrizas endótrofas (o endomicorrizas), ya que el hongo penetra al interior de las raíces (Abud et al., 2008).

Estos hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecen al filo *Glomeromycota* y son biotrofos obligados, lo que significa que dependen de una planta viva para completar su ciclo de vida (Zambrano, 2023). En el interior de la raíz, desarrollan estructuras especializadas: los arbuscúlos y las vesículas (Saparrat et al., 2020). El arbuscúlo es una estructura finamente ramificada con forma de árbol que el hongo forma dentro de las células corticales de la raíz; allí ocurre el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta (Barrera-Violeth et al., 2012).

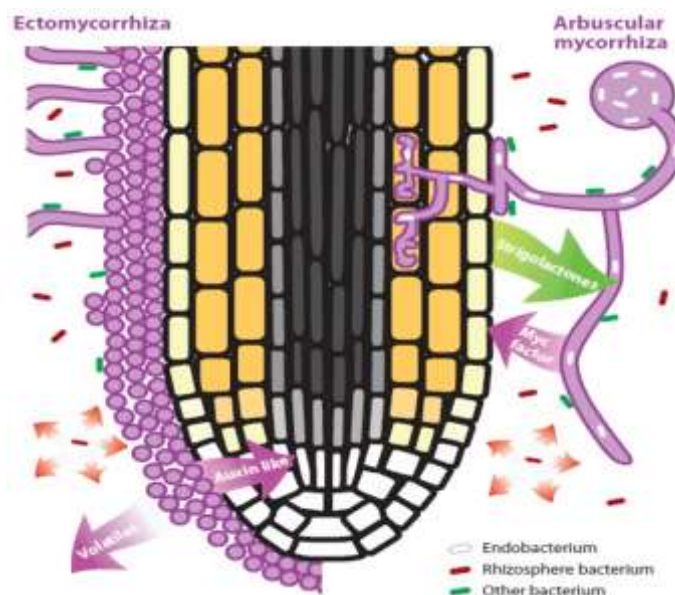
Las vesículas, por su parte, son estructuras esféricas de reserva (lipídica y de nutrientes) que algunos HMA forman inter- o intracelularmente y que les permiten almacenar compuestos para sobrevivir en períodos adversos (Noda, 2009). Una característica destacada de las micorrizas arbusculares es que colonizan la raíz sin inducir síntomas de enfermedad, es decir, la presencia del hongo no provoca daño tisular ni patologías en la planta hospedera (Loor, 2023).

El micelio fúngico coloniza inicialmente el espacio entre las células de la corteza radical y luego algunas hifas invaden gentilmente el interior de ciertas células corticales, formando los arbuscúlos mencionados (Saparrat et al., 2020). A la vez, otras hifas fúngicas crecen hacia afuera de la raíz, extendiéndose ampliamente en el suelo circundante (Saparrat et al., 2020).

De este modo, los HMA actúan funcionalmente como una extensión del sistema radical de la planta (Reyes et al., 2016). Sus finas hifas pueden explorar un volumen de suelo mucho mayor que las raíces por sí solas, accediendo a recursos lejanos de la rizosfera inmediata (Quintana, 2014). Además, estas hifas incrementan la superficie efectiva de absorción de la raíz

más allá del alcance de los pelos radicales, lo que resulta fundamental para la adquisición de nutrientes poco móviles como el fósforo (Saparrat et al., 2020).

Fisiológicamente, los hongos micorrízicos arbusculares también mejoran la captación de agua debido a su extensa red micelial, contribuyendo a una mejor tolerancia de la planta a condiciones de sequía o estrés hídrico (Noda, 2009).



Fuente: Nota tomado de Arvensisagro (2022).

2.2 Mecanismo de absorción de fósforo mediado por micorrizas

El fósforo (P) es uno de los macronutrientes más limitantes en los agroecosistemas tropicales, a pesar de encontrarse en cantidades totales apreciables en muchos suelos (Saparrat et al., 2020). La razón es que el fósforo del suelo normalmente se halla en formas químicas poco disponibles para las plantas (arvensisagro, 2022). Por un lado, los iones de fosfato inorgánico tienden a fijarse fuertemente al complejo del suelo: en suelos ácidos se adsorben a minerales de hierro y aluminio, y en suelos alcalinos forman compuestos insolubles con calcio (Barrera-Violeth et al., 2012).

Esto reduce drásticamente la fracción de fósforo disuelta que las raíces pueden absorber. De hecho, se calcula que alrededor del 90% del P absorbido por las plantas lo obtienen por difusión desde la solución del suelo, un proceso muy lento y de corto alcance (Meza, 2023). Adicionalmente, gran parte del fósforo en suelos con alto contenido orgánico (humus, suelos forestales) se encuentra en formas orgánicas recalcitrantes, como fitatos (fosfatos de inositol) que son insolubles (Saparrat et al., 2020). Las plantas por sí solas tienen dificultad para explotar estas reservas de P porque sus raíces exploran un volumen de suelo limitado alrededor de cada

raíz y agotado rápidamente en P disponible (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

En este contexto, las micorrizas arbusculares actúan como mediadores esenciales en la nutrición fosforada de las plantas (Saparrat et al., 2020). Las hifas micorrízicas, mucho más finas y extensas que las raíces o pelos radiculares, penetran en poros del suelo inaccesibles para la raíz y movilizan el fósforo desde zonas más alejadas de la rizosfera (Viera et al., 2017). Este extenso sistema micelial aumenta el área de exploración y absorción, interceptando rápidamente el fósforo disponible antes de que se vuelva a inmovilizar en el suelo (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

Además, los HMA poseen enzimas fosfatasas y otras actividades metabólicas capaces de solubilizar fosfatos orgánicos e inorgánicos: por ejemplo, pueden liberar fósforo desde compuestos como los fitatos mediante la acción de fosfatasas ácidas, tanto a través de las propias hifas fúngicas como estimulando las raíces a producir estas enzimas (Viera et al., 2017). Una vez absorbido por el micelio, el fósforo es transportado hasta los arbuscúlos dentro de la raíz, donde es transferido eficientemente a la planta a cambio de carbono (Meza, 2023).

De esta forma, la simbiosis micorrízica mejora notablemente el aprovechamiento del fósforo del suelo por parte del cultivo (Carrillo-Saucedo et al., 2022). Numerosos estudios confirman que las plantas micorrizadas acumulan mayores concentraciones de P en sus tejidos que las no micorrizadas, especialmente bajo condiciones de baja disponibilidad de este nutriente (Abud et al., 2008). En el caso específico de las musáceas (bananos y plátanos), la inoculación con HMA en vivero ha mostrado aumentar la absorción de P y otros nutrientes, traduciéndose en plántulas con mejor crecimiento y nutrición mineral (Dhiman et al., 2025).

En síntesis, el mecanismo de absorción de P mediado por micorrizas se basa en la extensión del sistema radical por las hifas fúngicas y la activación de rutas bioquímicas de solubilización de fósforo, lo que mitiga la inmovilidad de este elemento en el suelo y mejora la eficiencia nutricional del cultivo (Reyes et al., 2016).

2.3 Funciones ecológicas y agronómicas de los HMA en el suelo y la planta

Las micorrizas arbusculares desempeñan funciones vitales en los ecosistemas y aportan numerosos beneficios agronómicos en sistemas de cultivo (Carrillo-Saucedo et al., 2022). En el plano ecológico, estos hongos forman parte importante de la biota del suelo, creando redes miceliales que interconectan plantas y contribuyendo al ciclo de nutrientes (Tuesta-Pinedo et al., 2017). La simbiosis micorrízica mejora la adquisición de nutrientes esenciales (P, nitrógeno, zinc, cobre, entre otros) para la planta, y a su vez puede conferirle mayor tolerancia

a estreses abióticos como sequía, salinidad o metales pesados, al mejorar el estado hídrico y nutricional del hospedero (Dhiman et al., 2025).

También se ha observado que los HMA pueden estimular mecanismos de defensa en las plantas, induciendo resistencia sistémica contra algunos patógenos del suelo o reduciendo la incidencia de enfermedades radicales, en parte al competir con microorganismos nocivos o modificar la rizosfera de forma beneficiosa (Reyes et al., 2016). En cuanto al suelo, la presencia de HMA favorece la estructura y estabilidad del suelo.

Sus hifas actúan como filamentos que agregan las partículas del suelo, aumentando la porosidad y reduciendo la erosión (Carrillo-Saucedo et al., 2022). Además, estos hongos producen sustancias como la glomalina, una proteína del suelo asociada al micelio de HMA, que contribuye a cementar los agregados del suelo y a retener carbono, mejorando la calidad edáfica a largo plazo (Samanhudi et al., 2024). Desde la perspectiva agronómica, todas estas funciones se traducen en mejor salud y productividad de los cultivos.

Por ejemplo, en banano y plátano (*Musa* spp.), la inoculación con micorrizas ha mostrado efectos positivos en el crecimiento y rendimiento: plantas más vigorosas, con mayor desarrollo radical y aéreo, y frecuentemente incrementos en la producción de frutos o tasas de supervivencia de plántulas (Meza, 2023). En un estudio sobre banano clon Valery, se encontró que la adición de HMA permitió reducir a la mitad la dosis de fertilizante fosforado sin afectar negativamente la productividad, e incluso obteniendo el mejor rendimiento cuando se combinaron HMA con una dosis intermedia de P (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

Este resultado resalta el valor de las micorrizas como biofertilizantes en la agricultura sostenible, al aumentar la eficiencia en el uso de fertilizantes y disminuir la dependencia de insumos químicos externos (Tuesta-Pinedo et al., 2017). De hecho, su uso se enmarca en estrategias de fertilización ecológica o manejo integrado de la fertilidad del suelo, donde se aprovecha la biología del suelo para nutrir a las plantas (Barrera-Violeth et al., 2012).

Adicionalmente, en viveros de cultivos como *Musa* AAB (plátano), la aplicación temprana de HMA ha demostrado fortalecer el desarrollo radicular y mejorar la calidad de las plántulas, facilitando su posterior establecimiento en campo (Carrillo-Saucedo et al., 2022). En síntesis, las micorrizas arbusculares cumplen funciones multifacéticas: son ingenieros biológicos del suelo que mejoran la estructura edáfica y el reciclaje de nutrientes, y son aliados agronómicos que optimizan la nutrición de las plantas, promueven un crecimiento saludable y pueden incrementar la productividad de los cultivos de forma sostenible (Reyes et al., 2016).

2.4 Proceso de colonización micorrízica

El establecimiento de la simbiosis micorrízica arbuscular sigue una secuencia de etapas bien definidas tanto a nivel morfológico como bioquímico (Saparrat et al., 2020). En la primera etapa, el proceso inicia con la germinación de las esporas del hongo en el suelo. Estas esporas, estimuladas por señales químicas (exudados) liberadas por las raíces de la planta, producen tubas germinativas y hifas exploratorias (Guerra & Linares, 2018).

Los exudados radicales – como azúcares, aminoácidos y compuestos fenólicos – actúan como señales de atracción y reconocimiento que inducen un biotropismo positivo del micelio hacia la raíz hospedera (Guerra & Linares, 2018). Simultáneamente, en esta fase temprana se lleva a cabo un reconocimiento molecular entre el hongo y la planta: ambos intercambian señales (por ejemplo, las plantas liberan estrigolactonas que estimulan el crecimiento del hongo, y el hongo libera moléculas llamadas “Myc factors” reconocidas por la planta) que preparan el establecimiento de la simbiosis (Saparrat et al., 2020).

En la segunda etapa, ocurre el contacto y la invasión inicial de la raíz. Las hifas fúngicas se adhieren firmemente a la superficie de la raíz, generalmente en la zona de elongación, y forman una estructura de penetración llamada apresorio sobre la epidermis radical (Garzón, 2016). A partir de ese punto de anclaje, el hongo penetra entre las células de la raíz, avanzando hacia la corteza. Este acercamiento e ingreso es gradual y altamente regulado para no desencadenar una fuerte respuesta defensiva de la planta (Guerra & Linares, 2018).

Durante esta fase de acoplamiento progresivo, las hifas logran atravesar la pared celular de algunas células córticales, estableciendo interfaces de contacto íntimas sin romper la membrana plasmática de la célula vegetal. En esencia, la planta acomoda al hongo dentro de sus tejidos de forma controlada, formando una estructura de intercambio simbiótico (Garzón, 2016).

La tercera etapa corresponde a la colonización interna extensa y formación de arbuscúlos. Una vez dentro de la corteza radical, el micelio fúngico se ramifica profusamente por el espacio intercelular y comienza a diferenciar arbuscúlos en el interior de las células corticales adecuadas (González & Cuenca, 2008). La formación de los arbuscúlos conlleva cambios morfológicos y fisiológicos en ambas partes: la arquitectura celular de la raíz se modifica localmente para alojar el arbuscúlo, y el hongo altera su morfología de crecimiento, pasando de hifas rectas a un árbol de hifas finísimas (Zambrano, 2023).

Esta integración estrecha de ambos simbioses implica también cambios a nivel bioquímico; por ejemplo, se ha observado una intensa actividad enzimática en las células colonizadas,

incluyendo la reestructuración de la pared celular vegetal para acomodar al hongo y la activación de transportadores de nutrientes en la membrana peri-arbuscular (Muñoz-Márquez et al., 2009). Al completarse la colonización, la raíz hospedera y el hongo establecen una relación funcional: los arbúsculos actúan como sitios de intercambio de nutrientes (el hongo entrega fósforo y otros minerales a la planta, y recibe azúcares y compuestos de carbono de la planta) (Morell et al., 2009).

Con el tiempo, los arbúsculos envejecen y colapsan (típicamente después de unos días), liberando el espacio celular, pero mientras tanto nuevas hifas colonizan segmentos adyacentes de la raíz para continuar la simbiosis (Muñoz-Márquez et al., 2009). En paralelo, el hongo puede formar esporas dentro o fuera de la raíz colonizada, cerrando su ciclo de vida y permitiendo la dispersión a nuevos hospederos.

2.5 Tipos de micorrizas

Si bien las micorrizas arbusculares son el tipo más común y el foco principal en los cultivos como *Musa* AAB, es importante contextualizar que existen diferentes tipos de micorrizas en la naturaleza, clasificadas según la morfología de la asociación y los grupos de hongos implicados:

2.5.1 Ectomicorrizas

En este tipo de micorriza, el hongo envuelve las raíces finas de la planta formando un manto denso de micelio alrededor de la epidermis radical, pero no penetra en el interior de las células de la raíz (Zambrano, 2023). En su lugar, las hifas fúngicas crecen entre las células de la raíz, formando una red interdérmica llamada red de Hartig, donde se realiza el intercambio de nutrientes (González & Cuenca, 2008).

Las ectomicorrizas son típicas de muchos árboles forestales (pinos, robles, eucaliptos, entre otros) y los hongos asociados suelen ser *Basidiomycetes* o *Ascomycetes* (muchos productores de setas visibles). Estas asociaciones son importantes en bosques templados y boreales, contribuyendo a la nutrición y salud de los árboles (Zambrano, 2023).

2.5.2 Endomicorrizas arbusculares

Son las ya descritas micorrizas arbusculares (HMA), anteriormente denominadas vesículo-arbusculares. El hongo penetra en las células de la raíz formando arbúsculos y a veces vesículas. Este tipo abarca la mayoría de plantas herbáceas, hortícolas y muchos árboles tropicales (González & Cuenca, 2008). Los hongos son de la división *Glomeromycota*. Dado que prácticamente todas las especies agrícolas importantes (cereales, hortalizas, leguminosas,

frutales tropicales, etc.) pueden establecer micorrizas arbusculares, su relevancia en agroecosistemas es enorme (López-Gómez et al., 2015).

2.5.3 Micorrizas orquidoides (de orquídea)

Son asociaciones especializadas típicas de la familia *Orchidaceae*. Las semillas de orquídeas son extremadamente pequeñas y carecen de reservas nutritivas, por lo que dependen de hongos micorrízicos para germinar y desarrollarse (Muñoz-Márquez et al., 2009). Los hongos orquidoides penetran los tejidos de la orquídea y forman estructuras en forma de ovillo (rizomorfos) dentro de las células de la raíz o del protocormo de la plántula de orquídea (Loor, 2023).

A diferencia de las HMA, los hongos de orquídeas a menudo pueden ser saprofitos (descomponedores) que nutren la semilla en germinación (López-Gómez et al., 2015). Es una relación micorrízica donde inicialmente el hongo aporta carbono a la orquídea joven hasta que esta puede fotosintetizar (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.5.4 Ectendomicorrizas

También llamadas micorrizas arbutoideas, presentan características intermedias entre ecto- y endomicorrizas (arvensisagro, 2022). En este caso, el hongo forma un manto externo parcial alrededor de la raíz y penetra algunas células superficiales (López-Gómez et al., 2015). Se observan en ciertos árboles como los del género *Arbutus* (madroños) y *Pyrolaceae* (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.5.5 Micorrizas ericoides

Propias de plantas de la familia *Ericaceae* (brezos, arándanos, etc.), que suelen habitar suelos ácidos y pobres. Los hongos ericoides penetran las células epidérmicas de raíces muy finas (tipo pelo radical) de estas plantas y forman redes de hifas en su interior (arvensisagro, 2022). Ayudan a las ericáceas a obtener nutrientes (particularmente nitrógeno y fósforo) en suelos desfavorables (López-Gómez et al., 2015).

2.5.6 Micorrizas monotropoides

Se dan en plantas no fotosintéticas como *Monotropa uniflora* (planta conocida como "fantasma" o "pipa de indio"). Estas plantas holoparásitas obtienen todo su carbono de hongos micorrízicos asociados a árboles vecinos (Carrillo-Saucedo et al., 2022). En esta curiosa asociación tripartita, el hongo forma ectomicorriza con un árbol y simultáneamente conecta con la raíz de la *Monotropa*, transfiriéndole carbono del árbol a la planta no fotosintética (Viera

et al., 2017). Ilustra una excepción donde la micorriza beneficia a una planta a expensas de otra, pero mantiene el equilibrio del ecosistema forestal.

2.6 Rol y función de la cámara térmica en viveros de musáceas

En la producción de plántulas de banano y plátano (*musáceas*), una de las preocupaciones principales es la sanidad del material de siembra y la eficiencia en la multiplicación vegetativa (Cedeño et al., 2016). Las musáceas usualmente se propagan mediante hijuelos, rizomas o plántulas micropropagadas, lo que conlleva el riesgo de transmitir patógenos (hongos del suelo, nematodos, bacterias o virus) de una generación a otra (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

En este contexto, la cámara térmica se ha implementado como una estrategia eficaz de saneamiento y propagación en viveros especializados (Cedeño et al., 2016). Una cámara térmica es básicamente un ambiente controlado (un recinto o contenedor cerrado) donde se somete al material vegetal a temperaturas elevadas y alta humedad por un tiempo determinado, con el fin de eliminar patógenos sin dañar a la planta (Ascencio-Moreno et al., 2020).

En musáceas, este método de termoterapia consiste en exponer los rizomas, meristemos o plántulas a temperaturas típicamente en el rango de 50°C a 70°C bajo condiciones de humedad regulada (Kassi et al., 2021). A estas temperaturas, muchos organismos patógenos son destruidos o inactivados: por ejemplo, los virus del banano no resisten esos umbrales térmicos y son eliminados, al igual que ciertos nematodos y hongos perjudiciales (Bernal & Melgarejo, 2017).

La clave es que la duración y condiciones del tratamiento térmico estén ajustadas de forma que la planta (que sí tolera brevemente esas temperaturas) no sufra daños permanentes, pero los patógenos sí sean erradicados (Meza, 2023). El uso de la cámara térmica logra limpiar fitosanitariamente el material de siembra de musáceas, garantizando plántulas libres de plagas y patógenos antes de su establecimiento en vivero o campo (Abud et al., 2008).

En los viveros de musáceas de alta tecnología, la cámara térmica suele integrarse como un paso previo al establecimiento de las plántulas en invernadero: primero se realiza la desinfección térmica del material vegetativo, y luego se siembra en sustrato esterilizado bajo condiciones controladas (luz, temperatura y humedad) para su enraizamiento y crecimiento (Cusme, 2021). Esta práctica conjunta de saneamiento (cámara térmica) y propagación en vivero ha demostrado ser una estrategia eficaz para obtener plantas de banano/plátano vigorosas y sanas (Zambrano, 2023).

En el marco de la implementación de HMA en combinación con la cámara térmica en vivero, ambos componentes se complementan para mejorar la producción de plántulas (Carrillo-Saucedo et al., 2022). Por un lado, la cámara térmica asegura un inicio libre de patógenos, protegiendo el potencial de crecimiento de las plántulas y evitando pérdidas por enfermedades (Zambrano, 2023). Por otro lado, la inoculación temprana con hongos micorrízicos arbusculares en esas plántulas saneadas potencia su desarrollo radicular y nutricional en las condiciones controladas del vivero (Bernal & Melgarejo, 2017).

La colonización micorrízica, al establecerse en plántulas previamente desinfectadas, encuentra un hospedero joven receptivo y sin estrés patogénico, facilitando una simbiosis robusta (Ramos-Agüero et al., 2016). Como resultado, se obtienen plántulas micorrizadas con sistemas radicales más extensos y funcionales, con mayor absorción de fósforo y otros nutrientes desde el sustrato, lo que redundará en un crecimiento más acelerado y equilibrado (Zambrano, 2023).

Estas plantas, al momento de la transferencia al campo, cuentan con una ventaja adaptativa: raíces más desarrolladas y una asociación micorrízica activa que las ayuda a absorber nutrientes de suelos menos controlados, incrementando sus probabilidades de supervivencia y buen rendimiento (Giler, 2022).

En síntesis, la cámara térmica actúa como una herramienta de bioseguridad y mejora de la propagación, mientras que los HMA funcionan como biofertilizantes simbióticos que fortalecen la nutrición y el vigor radicular (Cusme, 2021). Integrar ambas tecnologías en la fase de vivero de plántulas de *Musa* AAB representa una estrategia innovadora para producir plantas saludables, bien nutridas y con alto potencial productivo, alineada con los principios de sostenibilidad y agricultura basada en bioinsumos (Zambrano, 2023).

2.7 Origen botánico del plátano (*Musa* AAB)

Desde el punto de vista botánico, es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia *Musaceae* (Barrera-Violeth et al., 2012). Se caracteriza por presentar un tallo subterráneo denominado cormo, donde se encuentran insertadas las raíces, además de las yemas laterales o hijuelos y las bases de las vainas foliares o pecíolos (Avellán-Vásquez et al., 2020).

Los pecíolos se disponen en espiral alrededor del cormo, formando el pseudotallo, a través del cual crecen los ejes florales (inflorescencia) (Merchán-Sánchez, 2020).

2.8 Clasificación taxonómica del plátano (*Musa* AAB)

Tabla 4. *Clasificación taxonómica del plátano barraganete (*Musa* AAB)*

Clasificación	Taxonomía
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Franqueahionta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Musaceae</i>
Subfamilia	<i>Musoideae</i>
Género	<i>Musa</i>
Secciones	<i>EuMusa</i>
Especies	<i>Musa acuminata</i> , <i>cruces interespecíficos</i> , <i>Musa balbisiana</i>

Fuente: tomado de Vivas-Cedeño et al., (2022).

2.9 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de *Musa* AAB

El plátano, debido a su morfología y la alta hidratación de sus tejidos, requiere una cantidad considerable de agua disponible en el suelo para su correcto crecimiento y desarrollo (Cayón et al., 1995). Esta necesidad se deriva de su extensa superficie foliar, que genera una alta tasa de transpiración, haciéndolo más demandante en términos de agua en comparación con otras especies (Martínez, 1984).

La falta de agua afecta al plátano a lo largo de todo su ciclo de vida, pero es particularmente crítica durante las primeras etapas del período vegetativo, así como en las fases de floración y formación del racimo (Ongley, 1997).

Tabla 5. *Caracterización de factores climáticos para cultivar de *Musa* AAB*

Caracterización	Especificaciones
Clima	Tropical húmedo
Temperatura	18,5°C a 35,5°C.
Pluviosidad	120 mm mensual o 44 mm semanales
Luminosidad	1 000 a 1 500 horas luz al año
Viento	No mayores a 30 km/h
Humedad	Menor al 80 %
Altitud	0 a 300 m

Fuente: adaptada de Belalcázar (1991).

2.9.1 Fenología de la Planta de Plátano

A. Fase vegetativa (crecimiento)

Esta fase se extiende desde la siembra hasta la aparición de la inflorescencia, con una

duración que varía entre 6,5 y 7,5 meses, dependiendo de las condiciones de cultivo (InfoAgro, 2008).

B. Fase reproductiva (floración)

Percibe desde la emisión de la inflorescencia hasta la formación del último cojín de flores masculinas (Román-Posligua et al., 2017). Aunque la duración de esta fase es relativamente constante, tiende a prolongarse con el aumento de la altitud, generalmente dentro de un rango de 10 a 15 días (Sánchez et al., 2024).

C. Fase Productiva (Llenado o Madurez del Racimo)

Se inicia con la aparición del último cojín de flores masculinas y se extiende hasta la cosecha del racimo (InfoAgro, 2008).

D. Fase de Sucesión (Retorno de la Producción)

De manera simultánea al desarrollo de la planta madre, se observa el crecimiento del retoño o hijo primario (Belalcázar, 1991). Este inicia su fase reproductiva aproximadamente 2,5 a 3 meses después de la cosecha de la planta madre y puede cosecharse entre 5,5 y 6,0 meses después. Este ciclo continuo destaca la dinámica de producción constante en las plantaciones de plátano (InfoAgro, 2008).

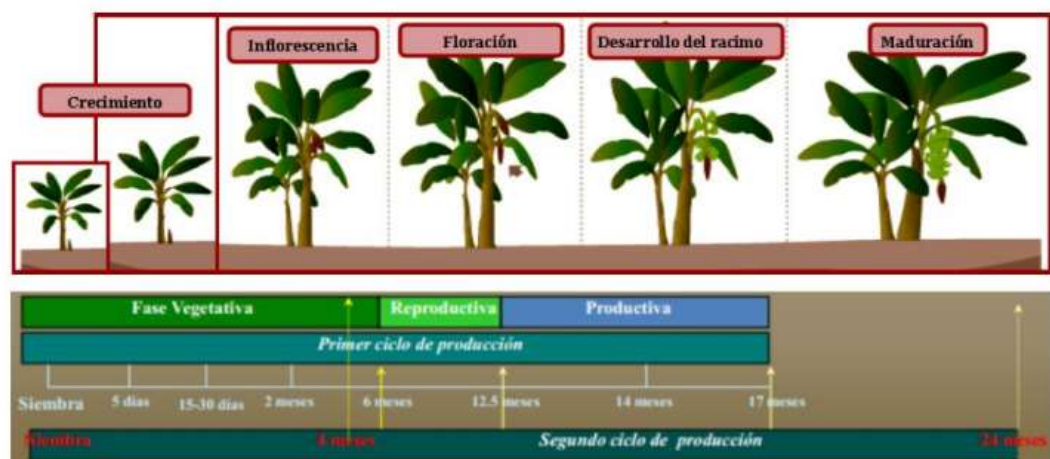


Figura 3. Descripción ciclo productivo del plátano barraganete

Fuente. Tomada de Belalcázar (1991)

ESTADO DEL ARTE

Se evaluó el efecto de la inoculación con los hongos micorrízicos arbusculares *Glomus* y *Acaulospora* en plántulas micropropagadas del banano cultivar Raja de Bali durante la fase de aclimatación. El ensayo se desarrolló en la Estación Experimental de la Universidad Udayana, Bali, Indonesia, de marzo a junio de 2022. Se aplicaron cinco dosis distintas de micorrizas (0, 5, 10, 15 y 20 g/kg). La dosis de 20 g/kg mostró mejores resultados en longitud radicular y peso fresco aéreo, demostrando que es la más efectiva para favorecer el crecimiento. Se concluyó que la inoculación con HMA mejora significativamente variables como número de hojas, diámetro del tallo, peso fresco y seco de raíces y parte aérea de plántulas de banano micropropagadas (Dwiyani et al., 2024).

El éxito de la micropropagación de banano *in vitro* frecuentemente se limita durante la etapa de aclimatación debido a problemas de adaptación y supervivencia. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de *Trichoderma ghanense*, micorrizas arbusculares y un biofertilizante líquido en plantas meristemáticas de banano variedad William en etapas de aclimatación y vivero. Se utilizó un diseño factorial 2(k) con 20 tratamientos en condiciones de invernadero durante seis semanas. En aclimatación destacó el tratamiento B10, con incrementos de altura (29,6%) y diámetro del pseudotallo (19,9%), mientras que el tratamiento B19 mostró mayor aumento en área foliar (84,7%). En fase de vivero, el mejor tratamiento fue B19, con incrementos notables en altura (14,5%), diámetro del pseudotallo (19,3%), área foliar (13,4%), longitud radicular (91,8%), peso húmedo (39,98%) y peso seco (90,5%). Ambos tratamientos registraron porcentajes de micorrización superiores al 45% y una supervivencia del 100% en la fase de aclimatación. Se concluye que estos bioproductos representan alternativas eficaces para mejorar la adaptación de plantas de banano producidas *in vitro* (Mora-González et al., 2021).

El desarrollo de tecnologías para la multiplicación y crecimiento inicial del plátano barraganete (*Musa* AAB) es fundamental para renovar y establecer plantaciones en la región. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la fase de vivero de plántulas de *Musa* AAB, en El Carmen, Manabí. Se probaron tres dosis de inoculación (100%, 75% y 50%) utilizando sustratos de viruta de balsa y tierra de montaña. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas, destacando la dosis del 100% de HMA como la más efectiva en grado de simbiosis, crecimiento vegetativo y beneficios simbióticos. Se concluye que el uso de HMA en vivero es una técnica efectiva para mejorar la calidad, desarrollo y resistencia de las plántulas, promoviendo una agricultura sostenible y productiva (Zambrano, 2023).

Estudios previos muestran que los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) estimulan el crecimiento vegetal y aumentan el rendimiento agrícola, debido a que mejoran la absorción de nutrientes, estructura del suelo, balance hídrico y protección contra patógenos. Este estudio evaluó bajo condiciones de campo el efecto de HMA sobre el crecimiento, producción de frutos, absorción de nitrógeno (N) y fósforo (P), así como la colonización micorrízica en plantas de plátano Hartón. Se estableció un diseño completamente aleatorizado con tratamientos inoculados con dos especies introducidas (*Glomus manihotis* y *Scutellospora heterogama*) y aislados nativos provenientes de suelos con bajo (BI) y alto (AI) uso de insumos. Los resultados indicaron que las especies introducidas superaron en eficacia a las nativas, siendo *Scutellospora heterogama* la más efectiva en mejorar crecimiento y rendimiento de frutos, principalmente por una mayor absorción de nitrógeno. Sin embargo, no se registraron aumentos significativos en absorción de fósforo ni en colonización micorrízica. Se recomienda la aplicación de esta especie de HMA como estrategia para aumentar la producción del plátano Hartón y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, disminuyendo así los impactos ambientales asociados (González & Cuenca, 2008).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plántulas de plátano (*Musa AAB*) bajo condiciones de cámara térmica en vivero, en El Carmen, Manabí. Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), aplicando diferentes dosis de micorriza al sustrato al inicio del ensayo. Las evaluaciones se efectuaron hasta los 70 días posteriores a la siembra. Las variables altura de planta, número de hojas y diámetro del pseudotallo no presentaron diferencias significativas con una probabilidad del 95%. Sin embargo, las variables área foliar, peso y número de raíces, así como la tasa de colonización micorrízica sí mostraron respuestas significativas, siendo la dosis de 120 g de micorriza la más efectiva. Además, la aplicación de fertilizante fosforado favoreció significativamente el incremento del área foliar (Meza, 2023).

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

Se implementó una cámara térmica de control ambiental con dimensiones internas de 13 m × 6 m (78 m²) para estandarizar temperatura y humedad relativa durante el establecimiento de plántulas de *Musa* AAB inoculadas con HMA. La estructura se construyó con pórticos metálicos galvanizados y anclajes sobre losa nivelada; el cerramiento utilizó policarbonato alveolar de 8 mm y película agrícola anti-UV, con sellos de neopreno. El piso incluyó base de grava fina y geotextil para drenaje. El sitio presentó temperatura ambiente promedio de 31 °C.

La ventilación se realizó mediante ranuras longitudinales ubicadas en la parte posterior de la cámara, diseñadas para favorecer la renovación de aire y mantener una temperatura interna uniforme y estable, minimizando gradientes térmicos a lo largo del volumen útil. Como apoyo al control microclimático, se empleó sombreador interior (35–50 %) y nebulización para ajustar la humedad relativa según requerimientos.

Tabla 6. *Desglose consolidado de gastos de la cámara térmica (2025)*

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Servicio integral de instalación (Factura N.º 007-002-000002368)	Colocación de plástico en estructura 12×6; incluye mano de obra y plástico calibre 8	1	765,22	765,22
Material plástico adicional (Proforma CB-2025-098)	Plástico invernadero AgrocLEAR A, calibre 8 (2 piezas: 6 m y 3 m)	1 lote	114,17	114,17
Subtotal sin impuestos				879,39
IVA 15 %				131,91
Total general a pagar				1.011,30

La implementación de la cámara térmica representó una inversión total de USD 1.011,30, compuesta por el servicio integral de instalación (mano de obra + plástico calibre 8 para 12×6 m) por USD 880,00, que concentra el 87,0 % del gasto, y por material plástico adicional proformado en USD 131,30 (13,0 % del total). El IVA aplicado (USD 131,91) se calculó al 15 % sobre la base imponible (USD 879,39). Considerando el área

útil de 78 m², el costo unitario de implementación es USD 12,97/m² (si solo se registra la factura, el costo sería USD 11,28/m²) (Tabla 6). En síntesis, el presupuesto se concentró en un servicio especializado de cubrición y en material plástico calibrado, coherente con el objetivo de garantizar un microclima estable para la evaluación de HMA en plántulas de *Musa* AAB.

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El diseño se orientó a asegurar un microclima uniforme para plántulas de *Musa* AAB dentro de una cámara de 13 × 6 m con policarbonato alveolar de 8 mm, en un entorno local de 31 °C, con control efectivo de temperatura y humedad para comparar con validez los tratamientos T1–T5.

La solución priorizó la estabilidad térmica con un diferencial longitudinal y vertical ≤ 2 °C durante las horas pico, el mantenimiento de la humedad relativa en el rango 70–80 % sin condensación persistente y una renovación de aire continua sin ingreso de insectos.

La envolvente con policarbonato permitió alta transmisión de luz y menor pérdida térmica; la ventilación mediante ranuras longitudinales en la pared posterior, protegidas con malla y lamas regulables, sostuvo la uniformidad térmica interna.

La cámara funcionó como unidad de germinación y establecimiento que redujo sesgos ambientales entre tratamientos. La uniformidad térmica y de humedad favoreció la viabilidad del inóculo y la colonización micorrícica en T2–T5, a la vez que mantuvo un control basal confiable en T1.

El microclima estable evitó efectos confusores por estrés por calor o por déficit hídrico, mejoró la precisión de mediciones morfofisiológicas (altura, diámetro del pseudotallo, número de hojas, área foliar y biomasa radical) y elevó la repetibilidad del experimento. Esta estabilidad permitió atribuir con mayor confianza las diferencias observadas al tipo de sustrato y a la presencia de HMA con o sin fertilización, fortaleciendo la validez interna del ensayo.

Figura 4. *Croquis del sistema de la cámara térmica*



3.3 Plan de implementación

Esta sección presentó el plan de manejo orientado a garantizar un microclima estable en la cámara térmica de 13 × 6 m destinada a plántulas de *Musa* AAB. El plan estableció metas operativas de 26–30 °C y 70–85 % de HR y describió la secuencia para su implementación: acondicionamiento del recinto, instalación del experimento bajo un RCBD con 35 unidades, y manejo posterior de riegos, ventilación y fertilización dirigida. Asimismo, definió responsabilidades, registros y criterios de aceptación para asegurar bioseguridad, uniformidad ambiental y trazabilidad en todo el proceso.

Actividad	Funcionamiento	Imagen
Construcción, y limpieza de la cámara térmica	La cámara térmica presenta dimensiones internas de 13 m de largo por 6 m de ancho. Las paredes y el techo se fabrican con panel liviano provisto de aislante térmico de poliestireno expandido o lana mineral con espesor igual o superior a 25 mm.	
Prueba y funcionamiento de la cámara	La cámara operó con metas de 26–30 °C y 70–85 % HR. Con una velocidad de aire de 0,2–0,4 m/s sobre las bancadas y evitó estratificación térmica.	

Llenado y etiquetado de 35 fundas	Se prepararon los cinco sustratos correspondientes a los tratamientos T1–T5 conforme a la formulación del protocolo y se homogeneizaron por separado. A continuación, se procedió a llenar 35 fundas (siete por tratamiento) en una mesa de trabajo limpia, utilizando una balanza para controlar el peso/volumen objetivo y manteniendo una tolerancia máxima de ± 5 % entre unidades.	
Extracción y traslado de 35 colines	Se extrajeron 35 colines de espada homogéneos en tamaño y sanidad en la Finca El Paraíso La 14. Cada colín se guardó en bolsas limpias y se mantuvo protegido de la radiación solar directa. Posteriormente, se trasladó el material al área de trabajo de la ULEAM – Granja Experimental, donde se registró el ingreso.	
Limpieza y desinfección de los colines	Se efectuó la limpieza superficial de los 35 colines para retirar restos de suelo y vainas deterioradas; la actividad demandó aproximadamente 2 horas. Se preparó una solución desinfectante con Vitavax® 20 mL en 10 L de agua y se sumergió cada colín durante 30 segundos antes de dejarlo escurrir.	
Siembra y riego inicial	Seguidamente, se realizó la siembra a profundidad uniforme y se compactó el sustrato de forma ligera. Las unidades experimentales se ubicaron dentro de la cámara térmica conforme al plano de distribución. Finalmente, se aplicó el riego inicial de 200 mL por planta, con un total de 7,0 L para las 35 unidades.	

Fertilización edáfica	Se aplicó YaraMila® Complex a razón de 50 g por planta exclusivamente en los tratamientos T4 y T5, que comprendieron 14 plantas. La cantidad total aplicada alcanzó 0,70 kg. El fertilizante se incorporó de manera superficial y se ejecutó un riego ligero para favorecer su activación.	
Manejo hídrico y monitoreo	Se programaron riegos los días martes y viernes. En cada jornada se ajustó el volumen para mantener el sustrato cercano al 70–80 % de la capacidad de campo, y se evitó el encharcamiento. En el mismo acto se registró la emergencia, el número de hojas y el vigor de las plántulas.	
Medición de variables	Se realizó el levantamiento de información correspondiente a las variables.	

3.4 Resultados

3.4.1 Altura de la planta (cm) de plántulas de *Musa* AAB

Se encontró que existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0006$) y un coeficiente de variación (CV) de 15,43 %. Con error estándar común (EE) = 1,32 cm, se observó que el tratamiento T4 (suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización) registró la mayor altura promedio ($27,43 \pm 1,32$ cm), superó al control T1 ($17,71 \pm 1,32$ cm) en 9,72 cm y se ubicó como el de mejor desempeño.

Los tratamientos T3 ($23,71 \pm 1,32$ cm), T2 ($22,57 \pm 1,32$ cm) y T5 ($21,57 \pm 1,32$ cm) presentaron respuestas intermedias, con incrementos respecto al control de 6,00, 4,86 y 3,86 cm, respectivamente; la media más baja correspondió a T1 (Tabla 7).

Tabla 7. Altura promedio de plántulas de *Musa* AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Altura de la planta (cm)			
T4	27,43	a		
T3	23,71	a	b	
T3	22,57	a	b	c
T5	21,57		b	c
T1	17,71			c

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

Medina, (2003), reportó que la inoculación con HMA (Mycoral®) en plántulas de plátano ‘Curare Enano’ incrementó la altura y permitió alcanzar la meta comercial de 25 cm en menos días respecto al testigo; resultados similares se observan en este estudio, donde el tratamiento con HMA + fertilización (T4) mostró la mayor media de altura (27,43 cm) frente al control.

Ortas et al. (2017), encontraron que la inoculación micorrízica en plántulas micropropagadas de *Musa* spp. aumentó el crecimiento y la absorción de P durante la aclimatación, con respuestas dependientes del sustrato y de la especie de HMA; este comportamiento concuerda con los resultados presentes, en los que los tratamientos inoculados superaron al control y T4 registró la media más alta.

3.4.2 Diámetro del tallo (cm) de plántulas de *Musa* AAB

Se encontró que existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0025$) y un coeficiente de variación (CV) de 13,96 %. Con error estándar común (EE) = 0,59 cm, se observó que T5 presentó la mayor media ($13,43 \pm 0,59$ cm), seguido de T4 ($11,71 \pm 0,59$ cm); ambos resultaron superiores al grupo conformado por T2 ($10,71 \pm 0,59$ cm), T3 ($10,43 \pm 0,59$ cm) y T1 ($9,86 \pm 0,59$ cm), que no difirieron entre sí. La media más baja correspondió a T1 (Tabla 8).

El mayor diámetro de tallo observado en T5 y T4 (HMA + fertilización) es congruente con evidencias que muestran que la inoculación micorrízica mejora el crecimiento de las plántulas de *Musa* al aumentar la absorción de P y el vigor en la aclimatación; además, existen reportes específicos donde la micorrización incrementó el diámetro del pseudotallo frente al testigo, como ocurrió con *Glomus aggregatum* en banano (Jaizme-Vega & Pinochet, 1997) . Estos hallazgos sostienen que la sinergia

HMA–nutrición favoreció el engrosamiento del tallo en los tratamientos con fertilizante (Lin et al., 2021).

Tabla 8. *Diámetro de tallo de plántulas de Musa AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica*

Tratamientos	Diámetro del tallo (cm)		
T5	13,43	a	
T4	11,71	a	b
T2	10,71		b
T3	10,43		b
T1	9,86		b

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

3.4.3 Número de hojas de plántulas de *Musa AAB*

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$); la comparación de medias mostró un único grupo (letra A) con error estándar común (EE) = 0,20. La media más alta correspondió a T5 = $1,71 \pm 0,20$ hojas, seguida de T1 = $1,57 \pm 0,20$ y T4 = $1,57 \pm 0,20$, mientras que T3 = $1,43 \pm 0,20$ y T2 = $1,43 \pm 0,20$ presentaron las medias más bajas (Tabla 9).

Tabla 9. *Número de hojas de plántulas de Musa AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica*

Tratamientos	Número de hojas	
T5	1,71	a
T1	1,57	a
T4	1,57	a
T3	1,43	a
T2	1,43	a

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos se explicó porque, en la fase temprana de aclimatación y hasta la semana 8, la tasa de emisión foliar en *Musa AAB* tendió a mantenerse conservadora y poco sensible a variaciones del sustrato o a la inoculación, a diferencia de variables como altura o biomasa que respondieron con mayor rapidez (Meza, 2023).

Estudios en plátano y banano micorrizados mostraron que los HMA mejoraron crecimiento y nutrición sin modificar de forma consistente el número de hojas en ventanas de evaluación cortas, lo que coincide con las medias cercanas entre T1–T5 observadas aquí (Cusme, 2021).

Además, el microclima controlado de la cámara y un estado nutricional suficiente habrían homogeneizado la tasa de aparición de hojas, incluso en tratamientos inoculados (Jaizme-Vega & Pinochet, 1997). La literatura señala que la respuesta a HMA depende del estatus de fósforo: cuando este resulta adecuado, la dependencia micorrízica disminuye y la señal se manifiesta más en vigor o diámetro que en número de hojas, patrón documentado en *Musa* bajo distintos sustratos y combinaciones con fertilización (Lin et al., 2021).

3.4.4 Área foliar de plántulas de *Musa* AAB

Se encontró que existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0007$) y un coeficiente de variación (CV) de 35,63 %. Con error estándar común (EE) = 42,35 cm², se observó que T4 (suelo esterilizado + HMA + fertilización) registró la mayor media (507,06 cm²), mientras que T1 (control) presentó la más baja (230,97 cm²). Los tratamientos T2 = 299,73 cm², T5 = 294,66 cm² y T3 = 239,73 cm² integraron un grupo intermedio que no difirió del control según la prueba de comparación (T4 = “A”; T2, T5, T3 y T1 = “B”) (Tabla 10).

Tabla 10. Área foliar de plántulas de *Musa* AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Área foliar cm ²	
T4	507,06	a
T2	299,73	b
T5	294,66	b
T3	239,73	b
T1	230,97	b

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

La mayor área foliar en T4 concuerda con evidencias de que la micorrización arbuscular, en sustratos controlados y con nutrición balanceada, mejora la asimilación de P y el crecimiento foliar de *Musa* durante la aclimatación (Lin et al., 2021).

En plátano micropropagado, la inoculación con HMA elevó significativamente el área foliar frente a testigos, especialmente cuando el sustrato estuvo libre de competencia microbiana y se aseguró disponibilidad moderada de nutrientes (Gonzalez & Cuenca, 2008).

3.4.5 Peso de raíces de plántulas de *Musa* AAB, cv. Barraganete

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,6863$), con CV = 37,98 % y EE común = 2,64 g. Las medias fueron: T4 = $21,70 \pm 2,64$ g (mayor), T3 = $18,61 \pm 2,64$ g, T1 = $17,70 \pm 2,64$ g, T2 = $17,19 \pm 2,64$ g y T5 = $16,67 \pm 2,64$ g (menor); todos los tratamientos compartieron la misma letra en Tukey ($\alpha = 0,05$; DMS = 10,99) (Tabla 11).

Tabla 11. *Peso de las raíces de plántulas de Musa AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica*

Tratamientos	Peso de las raíces (g)	
T4	21,7	a
T3	18,61	a
T1	17,7	a
T2	17,19	a
T5	16,67	a

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

La falta de significancia, pese a la mayor media en T4 (suelo esterilizado + HMA + fertilización), se atribuyó al corto periodo de aclimatación, donde el efecto de los HMA sobre biomasa radical suele expresarse de forma tardía o con gran dispersión de datos; patrones similares se han descrito en plátano/banano micorrizado durante la fase de vivero (Muñoz-Márquez et al., 2009).

3.4.6 Número de raíces de plántulas de *Musa* AAB, cv. Barraganete

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0969$), con CV = 26,61 % y EE común = 0,69. Las medias fueron: T4 = 8,71 (mayor), T3 = 6,93, T1 = 6,57, T2 = 6,29 y T5 = 6,29 (menor); todos los tratamientos compartieron la misma letra en Tukey ($\alpha = 0,05$; DMS = 2,89) (Tabla 12).

Tabla 12. Número de raíces de *Musa AAB* (cv. *Barraganete*) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Número de raíces	
T4	21,7	a
T3	18,61	a
T1	17,7	a
T2	17,19	a
T5	16,67	a

Nota: HMA = hongos micorrícicos arbusculares. **T1:** suelo tratado térmicamente, sin inóculo ni fertilización; **T2:** suelo esterilizado + inóculo natural de HMA; **T3:** suelo no esterilizado (con concentración natural de microorganismos) + inóculo; **T4:** suelo esterilizado + inóculo de HMA + fertilización; **T5:** suelo concentrado con microbiota nativa + inóculo natural + fertilización.

La tendencia a mayor número de raíces en T4 sugiere una sinergia entre HMA, sustrato esterilizado (menor competencia microbiana) y fertilización, coherente con evidencias que muestran respuestas superiores cuando la inoculación se combina con un manejo nutricional adecuado; en contraste, la presencia de microbiota nativa activa o disponibilidades altas de P puede atenuar la dependencia micorrízica y reducir diferencias entre tratamientos (Zambrano, 2023).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La cámara térmica aseguró un microclima controlado y reproducible, disminuyó la variabilidad no experimental y elevó la precisión del ensayo; favoreció el establecimiento uniforme y el vigor inicial de las plántulas, permitiendo discriminar con claridad los efectos de los tratamientos.
- El manejo con HMA + fertilización en sustrato esterilizado (T4) mostró el mejor desempeño en crecimiento aéreo; el diámetro de tallo fue superior en T5 y T4. Las variables número de hojas y rasgos radicales no evidenciaron diferencias significativas en el periodo evaluado, lo que sugiere que el beneficio de HMA se manifestó primero en la parte aérea y podría requerir mayor tiempo o ajuste nutricional para expresarse en raíces.

RECOMENDACIONES

- Priorizar un esquema tipo T4 (sustrato esterilizado + inoculación con HMA + fertilización balanceada) dentro de cámara térmica para maximizar vigor inicial sin comprometer la sanidad.
- Ampliar el tiempo de evaluación e incorporar niveles de fósforo como factor experimental, junto con controles de riego y homogeneidad de material vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud, Y., Dorantes, N., & Trujillo, M. (2008). Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 10(1), 60-70.
- Andrade, W. L. P., Briones, A. S., & Campins, B. E. B. (2018). Bases metodológicas para potenciar la comercialización del plátano en la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, 12, 37.
- arvensisagro. (2022, mayo 6). Las Micorrizas Y Su Relacion Con Las Plantas Y Bacterias. *Arvensis Agro*. <https://www.arvensis.com/es/blog-micorrizas-y-su-relacion-con-plantas-y-bacterias/>
- Ascencio-Moreno, J., Vanessa Hinojosa-Ramos, M., Vera, F., Ruiz-Barzola, O., Isabel Jiménez-Feijoó, M., Purificación Galindo-Villardón, M., & Ramos-Barberán, M. (2020). Multivariate analyses to determine fungicide efficacy on Ecuadorian bananas for consumption. *Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación*, 4(34).
- Avellán-Vásquez, L., Cobeña-Loor, N., Estévez-Chica, S., Zamora-Macías, P., Vivas-Cedeño, J., González-Ramírez, I., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2020). Exportación y eficiencia del uso de fósforo en plátano ‘barraganete’ (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 43(1), 25. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.25>
- Barrera-Violeth, J. L., Oviedo-Zumaque, L. E., & Barraza-Álvarez, F. V. (2012). Evaluación de micorrizas nativas en plantas de plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds) en fase de vivero. *Acta Agronómica*, 61(4), 315-324.
- Bautista, L. G., Bolaños, M. M., Massae Asakawa, N., & Villegas, B. (2015). Respuesta de fitonematodos de plátano *Musa* AAB Simmonds a estrategias de manejo integrado del suelo y nutrición. *Luna Azul*, 40, 69-84.
- Belalcázar, S. (1991). *El cultivo del plátano (Musa aaB) en el trópico* [ICA].
- Bernal, L. I. C., & Melgarejo, J. M. M. (2017). *Efecto de micorrizas y tipo de sustrato sobre el crecimiento y estado fitosanitario de dos cultivares de achiote (Bixa orellana L.) en etapa de vivero en condiciones de piedemonte llanero (Villavicencio, meta)* [Tesis de grado]. Universidad de los Llanos.
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512022000100200&script=sci_arttext
- Cayón, G., Lozada, J., & Belalcázar, S. (1995). Contribución fisiológica de las hojas funcionales del plátano (*Musa* AAB Simmonds) durante el llenado del racimo.

- Mejoramiento de la producción del cultivo del plátano. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Corpoica, ICA, CIID (IDRC), Inibap e Inpofos. Produmedios, Bogotá, 94-103.*
- Cedeño, G., Soplín Villacorta, H., Helfgott Lerner, S., Cedeño García, G., & Sotomayor Herrera, I. (2016). Aplicación de biorreguladores para la macro-propagación del banano cv. Williams en cámara térmica. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 397-408.
- Cusme, S. G. (2021). *Crecimiento de plantas de vivero (Musa AAB) con HMA en diferentes tipos de suelos*. [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5160>
- Dhiman, K., Dhalaria, R., Verma, R., Kumar, D., Hashem, A., Alshaikh, N. A., & Abd-Allah, E. F. (2025). Altitudinal impacts on phytochemical composition and mycorrhizal diversity of *Reinwardtia indica* Dumort, a medicinally valuable herb. *BMC Plant Biology*, 25(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06290-7>
- Dumon, A. (1992). Formar a los estudiantes en el método experimental:¿ Utopía o problema superado? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25-31.
- Dwiyani, R., Wirya, I. G. N. A. S., Gunadi, I. G. A., Darmawati, I. A. P., Yuswanti, H., Susrusa, K. B., & Astiningsih, A. A. M. (2024). The Role of Mycorrhizae on the Growth of Banana Planlets of Cultivar Raja (*Musa Paradisiaca* C.V. Raja) from Bali at Post Acclimatization. *Journal of Tropical Life Science*, 14(2), 309-318. Scopus. <https://doi.org/10.11594/jtls.14.02.11>
- Garzón, L. P. (2016). Importancia de las Micorrizas Arbusculares (Ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna azul*, 42, 217-234.
- Giler, J. (2022). “*Evaluacion del efecto de bioformulado de PGPRs en el desarrollo del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) bajo distintas dosis a nivel de vivero*”. [Tesis de grado, Universidad Tecnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f7d5b0a1-eb96-43ac-bbec-185b8cdb55d8/content>
- Gonzalez, M., & Cuenca, G. (2008). Response of plantain plants (*Musa* AAB cv. Horn) to inoculation with indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under field conditions. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 25(3), 470-495.
- González, M., & Cuenca, G. (2008). Respuesta de plantas de plátano (*Musa* AAB cv. Hartón) a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares nativos e introducidos, bajo condiciones de campo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 25(3), 470-495.
- Google Maps. (2025). 0°15'35.0"N 79°25'35.0"W. <https://www.google.com.ec/maps/@->

0.2621007,-

79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDS
oASAFQAw%3D%3D

Guerra, A. D., & Linares, E. M. (2018). *Adquisición de silicio en banano (Musa sp. Var. Williams) inoculados con micorrizas arbusculares bajo condiciones controladas* [Thesis, ESPOL, FCV.]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51516>

INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario metereológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.

InfoAgro. (2008). *El cultivo del plátano. 1ª parte*.
https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

Jaizme-Vega, M., & Pinochet, J. (1997). *Growth response of banana to three mycorrhizal fungi in *Pratylenchus goodeyi* infested soil*.

Kassi, J.-M. F., N'Guessan, H. P., Tuo, S., Camara, B., & Koné, D. (2021). Fungitoxic Potentialities of NECO 50 EC in an Integrated Black Sigatoka Management Strategy in Industrial Dessert Banana Plantation. *European Journal of Biology and Biotechnology*, 2(4), 47-54.

Lin, P., Zhang, M., Wang, M., Li, Y., Liu, J., & Chen, Y. (2021). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus modulates defense-related genes expression in banana seedlings susceptible to wilt disease. *Plant signaling & behavior*, 16(5), 1884782.

Loor, N. (2023). *Efecto de asociación de Micorrizas y Trichodermas spp sobre el crecimiento de plantas de plátano (Musa ABB) en la etapa de vivero*. [Tesis de grado, iversidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].
<https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4627>

López-Gómez, B. F., Alarcón, A., Quintero-Lizaola, R., & Lara-Herrera, A. (2015). Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares en dos sistemas de producción de chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6), 1203-1214.

Martínez, A. (1984). Determinación del área mínima foliar en plátano en el trópico húmedo. *Revista ICA*, 19(2), 183-187.

Medina, R. (2003). *Evaluación de la micorriza vesículoarbuscular, Mycoral®, en cormos de banano y plátano en vivero* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana «Zamorano»]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/eb5534d9-a6d7-4ba6-a156-950c103c7880/content>

Merchán-Sánchez, B. (2020). *Efecto del acetiluro de calcio sobre la maduración de fruta en*
XXXVII

- dos cultivares de plátano (Musa Paradisiaca L.).* [Tesis de Grado, Universidad Tecnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0443474d-b4dd-4ca4-89b7-0ea5076b2f35/content>
- Meza, J. (2023). *Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) en la productividad del cultivo de plátano (Musa AAB)* [Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí].
<https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/4652/1/ULEAM-AGRO-0167.pdf>
- Meza, J. A. (2023). *Hongos micorrizicos arbusculares (hma) en la productividad del cultivo de plátano (Musa ABB).* [Tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí].
<https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/4652>
- Mora-González, A. F., Naranjo-Morán, J. A., Albiño-Quitiaquez, A., Flores-Cedeño, J. A., Oviedo-Anchundia, R., Galarza-Romero, L., Vera-Oyague, M., Painii-Montero, V., & Barcos-Arias, M. S. (2021). Optimization in the acclimatization of banana micro propagated seedlings (*Musa* sp.) using three organic inputs. *Bionatura*, 6(1), 1452-1461. Scopus. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.3>
- Morell, F., Hernández, A., Borges, Y., & Marentes, F. L. (2009). La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 00-00.
- Muñoz-Márquez, E., Macías-López, C., Franco-Ramírez, A., Sánchez-Chávez, E., Jiménez-Castro, J., & González-García, J. (2009). Identificación y colonización natural de hongos micorrízicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 355-361.
- Murillo, J. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Recuperado el*, 2.
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y forrajes*, 32(2), 1-1.
- Ongley, E. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos.(Estudio FAO Riego y Drenaje-55). *GEMS/Water Collaborating Center Canada Center for Inland Waters*, 21-37.
- Ortas, Í., Rafique, M., Akpinar, C., & Kacar, Y. A. (2017). Growth media and mycorrhizal species effect on acclimatization and nutrient uptake of banana plantlets. *Scientia Horticulturae*, 217, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.025>
- Paz, M. (2002). *Evaluacion de bokashi y micorriza V AM en el desarrollo de platano Curare Enano en vivero* [Escuela Agricola Panamericano «Zamorano»].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f664bba3-1b2c-4b1d-a81f-4133f64a5c04/content>
- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., Cabrera Rodríguez, A., Martín Alonso,

- G. M., & Fernández Chuaerey, L. (2016). Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y Bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 165-174.
- Reyes, A., Quiñones, E., Ricón, G., & López, L. (2016). Micorrización en *Capsicum annum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400857
- Román-Posligua, V. A., Rojas-Rojas, J. A., & Ostaiza-Mendoza, K. J. (2017). Evaluación de cuatro tipos de trampas para el monitoreo de *Metamasius hemipterus* L. (Coleoptera: Curculionidae) en plátano barraganete. *Centro Agrícola*, 44(3), 91-93.
- Samanhudi, Widijanto, H., Sakya, A. T., & Salsabill, S. (2024). Application of organic fertilizers and arbuscular mycorrhiza dosage to increase the growth of Kepok banana seedlings (*Musa paradisiaca* L.) derived from tissue culture. *Australian Journal of Crop Science*, 18(05):2024, 253-258. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.05.p3251>
- Sánchez, D. A., Cevallos, J. A., Hidrovo, C. M., Mendoza-Zambrano, D., & Avellaneda-Vázquez, J. (2024). Biofertilizantes foliares en el comportamiento agronómico, composición química y degradabilidad in vitro del pasto *Megathyrsus maximus*. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 15(1), 48-53.
- Saparrat, M. C. N., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). *Micorrizas arbusculares*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/99599>
- Sepúlveda, W. S., Ureta, I., Hernández, G. A., & Solorzano, G. K. (2017). Consumo de plátano en Ecuador: Hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. *Revista Em Agronegocio e Meio Ambiente*, 10(4), 995-1014.
- Socorro, M. A. H., Oramas, B. P. D., Cabrera, I. M., Campos, M. S., & Hernández, M. G. R. (2021). Caracterización de fincas y agricultores asociados a la producción de bananos/plátanos en zonas seleccionadas de Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 36(3).
- Soto Sogamoso, J. E., Pinto Lopera, J. E., Millán Rojas, E. E., Soto Sogamoso, J. E., Pinto Lopera, J. E., & Millán Rojas, E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *Tecnológicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>
- Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., & Leon-Ttacca, B. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión

- de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(1), 67-78.
- Valencia Serna, R. A., Guzmán Piedrahita, Ó. A., Villegas Estrada, B., & Castaño Zapata, J. (2014). manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano dominico hartón (*Musa* AAB SIMMONDS). *Luna Azul*, 39, 165-185.
- Vera, L. (2014). *Aplicación y Comparación de Metodologías Multicriterio (AHP y Fuzzy Logic) en la Selección de Tecnología Postcosecha para Pequeños Productores de Cacao* [Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/43074/VERA%20-%20Aplicaci%3b%20y%20Comparaci%3b%20de%20Metodolog%3bas%20Multicriterio%20%28AHP%20y%20Fuzzy%20Logic%29%20en%20la%20Selecci%3b....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105-114.
- Vivas-Cedeño, J., Lazo-Roger, Y., González-Ramírez, I., & Robles-García, J. (2018). Hongos micorrizicos arbusculares en el cultivo de plátano en viveros. *Dominio de las Ciencias*, 4(3), 3. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i3.790>
- Vivas-Cedeño, J. V., González, R. P., López, F. X., Tacuri-Troya, E. T., & Tacuri-Alcívar, E. E. (2022). *Manejo integrado del cultivo del plátano Musa AAB* (Primera, Vol. 1). Mawil.
- Zambrano, J. A. (2023). *Hongos micorrízicos arbusculares aplicados a Musa AAB (Fase de vivero)*. [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/6409>

ANEXOS

Anexo 1. Implementación de cámara térmica en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí



Anexo 2. Selección y preparación de colines de Musa AAB (cv. Barraganete)



Anexo 3. Llenado y organización de 35 fundas por tratamiento (T1–T5) antes de la siembra y asignación aleatoria



Anexo 4. Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de altura de plántulas establecidas en fundas por tratamiento



Anexo 5. Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de número de raíces y peso de raíces



Anexo 6. *Esquema del análisis de la varianza de la variable número de raíces*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de raíces	35	0,44	0,2	26,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62,97	10	6,3	1,88	0,1003
TRT	29,83	4	7,46	2,22	0,0969
Error	80,57	24	3,36		
Total	143,54	34			

Anexo 1. *Esquema del análisis de la varianza de la variable peso de las raíces*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso De Raíces	35	0,23	0	37,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	347,28	10	34,73	0,71	0,7041
TRT	111,2	4	27,8	0,57	0,6863
Error	1168,68	24	48,7		
Total	1515,97	34			

Anexo 7. Certificado de autoplagio



