



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 omisión hídrica en la
interacción de HMA-*Musa* AAB”**

AUTORA: Reina Vera Diana Carelys

TUTOR: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

El Carmen, septiembre del 2025

El Carmen, septiembre del 2025

	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 II de 56

CERTIFICACIÓN

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

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **Reina Vera Diana Carelys**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, periodo académico 2025 (1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**Implementación de cámara térmica para evaluar la omisión hídrica en la interacción de HMA-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 del 2025.

Lo certifico,



Ing. Jorge Sifredo Vivas Cedeño, Mg.

Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**IMPLEMENTACIÓN DE CÁMARA TÉRMICA PARA EVALUAR LA
OMISIÓN HÍDRICA EN LA INTERACCIÓN DE HMA-MUSA AAB**


AUTOR: Diana Carelys Reina Vera

TUTOR: Ing. Vivas Cedeño Jorge Sifrido, Mg.

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIA

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

MIEMBRO Ec. Tito Cedeño, Mg



MIEMBRO Ing. Janeth Jacome, PhD



MIEMBRO Ing. Marco De la Cruz, Mg



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Diana Carelys Reina Vera con cedula de ciudadanía 1750942136, 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 omisión hídrica en la interacción de HMA-Musa AAB"**, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total de su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados

Atentamente,



Diana Carelys Reina Vera

DEDICATORIA

"La historia no es el pasado. Es el presente. Llevamos nuestra historia con nosotros. Somos nuestra historia."— Hildegard Hamm-Brücher

A mis queridos padres

Con profunda gratitud dedico este logro académico a ustedes, quienes con su esfuerzo incansable, apoyo incondicional y sacrificio constante hicieron posible que alcanzara este anhelado sueño. Gracias por ser el pilar fundamental de mi formación y por enseñarme con su ejemplo el valor del trabajo honesto, la perseverancia y la humildad.

A mi amado esposo

Por tu respaldo emocional y económico, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por brindarme la fuerza necesaria para continuar, este logro también es tuyo. Tu presencia, amor y compañía han sido esenciales a lo largo de este camino.

A mí misma

Me agradezco por haber confiado en mis capacidades, por no rendirme ante las dificultades y por haber tenido el valor de seguir adelante. Reconozco con orgullo el esfuerzo, la dedicación y la disciplina que me han permitido cumplir esta meta con éxito.

Reina Vera Diana Carelys

AGRADECIMIENTO

"No basta con hablar de revolución; uno debe creer en ella. Y no es suficiente creer en ella; uno debe trabajar por ella." *Angela Davis*

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Paul Gonzales, por haberme acompañado durante todo el proceso de titulación con compromiso, paciencia y dedicación. Su presencia como tutor, catedrático y amigo fue fundamental para culminar con éxito esta etapa. Su guía profesional y humana dejó una huella significativa en mi formación.

A mis amigas de la universidad, gracias por convertirse en mi segunda familia. Su apoyo constante, su alegría compartida en cada jornada y su solidaridad incondicional hicieron que este camino fuera más llevadero y gratificante. Juntas nos forjamos como mujeres y hoy, con orgullo, nos convertimos en Ingenieras Agropecuarias.

A Dios, por ser mi fuente de fortaleza, por darme la sabiduría necesaria en los momentos de incertidumbre y por acompañarme con su luz en cada decisión. Sin Él, nada de esto habría sido posible.

Reina Vera Diana Carelys

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	3
I. CAPÍTULO.....	5
1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
1.1 Ubicación del ensayo.....	5
1.2 Caracterización agroecológica de la zona.....	6
1.3 Métodos.....	6
1.3.1 Método empírico.....	6
1.3.2 Método experimental.....	6
1.3.3 Método bibliográfico.....	6
1.3.4 Método observacional.....	7
1.4 Fuentes de recopilación de la información.....	7
1.4.1 Fuentes primarias.....	7
1.4.2 Fuentes secundarias.....	7
1.5 Diseño de la Investigación.....	8
1.6 Variables de interés.....	8
1.7 Tratamiento de los datos.....	8
1.7.1 Cálculo de la capacidad de campo y niveles de omisión hídrica.....	9
1.7.2 Descripción de los tratamientos.....	9
1.8 Instrumentos de investigación.....	9

1.8.1	Procedimiento experimental	9
1.9	Recursos humanos y materiales.....	10
1.9.1	Materiales	10
1.9.2	Equipos	11
CAPÍTULO II.....		12
MARCO TEÓRICO		12
2.1	Clasificación taxonómica y aspectos generales del cultivo de plátano <i>Musa</i> AAB.	12
2.1.1	Características morfológicas del plátano (<i>Musa</i> AAB).....	12
2.2	Métodos de propagación en <i>Musa</i> spp.	13
2.2.1	Propagación tradicional por hijuelos	13
2.2.2	Propagación por división de cormos	13
2.2.3	Propagación in vitro (micropropagación).....	14
2.3	Importancia de la técnica de cámara térmica en la producción de <i>Musa</i> spp.....	14
2.3.1	Beneficios técnicos y productivos del uso de cámara térmica para la multiplicación clonal	15
2.3.2	Propagación acelerada en cámara térmica.....	16
2.4	Micorrizas.....	16
2.5	Sustratos	18
2.6	Medición del crecimiento micorrízico.....	18
TRABAJOS RELACIONADOS.....		19
CAPÍTULO III		21
DESARROLLO DE LA PROPUESTA		21
3.1	Descripción del sistema	21
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar	22
3.2.1	Selección y desinfección del material vegetal.....	23
3.2.2	Preparación del sustrato e inoculación con HMA	23
3.2.3	Determinación de la capacidad de campo del sustrato	23
3.2.4	Implementación de la cámara térmica	24
3.3	Plan de implementación.....	25

3.4	RESULTADOS	27
3.4.1	Omisión hídrica	28
3.4.2	Altura de la planta (cm) de plántulas de <i>Musa</i> AAB.....	29
3.4.3	Diámetro del tallo (mm) 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	31
3.4.6	Número de raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB, cv. Barraganete	32
3.4.7	Número de hojas de plántulas de <i>Musa</i> AAB	33
APÍTULO IV.....		34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		34
CONCLUSIONES.....		34
RECOMENDACIONES		35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS.....		XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad	6
Tabla 2. Análisis de varianza del experimento	8
Tabla 3. Tratamientos aplicados para evaluar la omisión hídrica entre HMA y sustrato en plántulas de <i>Musa</i> AAB.....	9
Tabla 4. Clasificación taxonómica del plátano (<i>Musa</i> AAB).....	12
Tabla 5. Resumen de las características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas	17
Tabla 11. Número de hojas de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	33
Tabla 6. Desglose consolidado de gastos de la cámara térmica (2025).....	21
Tabla 7. Secuencia de instalación y prueba del sistema de riego para evaluar la omisión hídrica en plántulas de <i>Musa</i> AAB inoculadas con HMA bajo cámara térmica	25
Tabla 8. Volumen aplicado y volumen retenido a los 40 días por tratamiento de omisión hídrica en plántulas de <i>Musa</i> AAB bajo cámara térmica	28
Tabla 9. Altura promedio (cm) de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	29
Tabla 10. Diámetro de tallo (mm) de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	30
Tabla 12. Área foliar de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	31
Tabla 13. Peso de las raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	32
Tabla 13. Número de raíces de plántulas de <i>Musa</i> AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	5
Figura 2. Selección y desinfección de hijuelos para la propagación vegetativa de <i>Musa</i> AAB	13
Figura 3. Segmentos de cormo seleccionados para la propagación vegetativa de <i>Musa</i> AAB	14
Figura 4. Plántulas de <i>Musa</i> AAB obtenidas mediante micropropagación in vitro	14
Figura 5. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras	17
Figura 6. Desarrollo del micelio de hongo micorrízico arbuscular en simbiosis con la raíz de una planta hospedera	18
Figura 7. Croquis del sistema de la cámara térmica	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 2. Selección y preparación de colines de Musa AAB (cv. Barraganete).....	XXXV
Anexo 2. Procedimiento de enjuague de colinos con agua estéril tras desinfección con fungicida Vitavax®	XXXV
Anexo 3. Llenado y organización de las fundas por tratamiento (T1–T5) antes de la siembra y asignación aleatoria	XXXVI
Anexo 4. <i>Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de altura de plántulas establecidas en fundas por tratamiento</i>	XXXVI
Anexo 5. <i>Seguimiento morfométrico en cámara térmica medición de número de raíces y peso de raíces</i>	XXXVII
Anexo 6. <i>Esquema del análisis de la varianza de la variable número de raíces</i>	XXXVII
Anexo 7. <i>Esquema del análisis de la varianza de la variable peso de las raíces</i>	XXXVII
Anexo 8. <i>Certificado de similitud</i>	XXXVIII

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo implementar una cámara térmica para evaluar la omisión hídrica en la interacción de Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) con plántulas de *Musa AAB* (cv. Barraganete), bajo condiciones controladas. El experimento se estructuró bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cinco repeticiones. La cámara térmica mantuvo un microclima estable, eliminando la variabilidad ambiental externa y permitiendo observar con precisión el efecto de distintos niveles de omisión hídrica de agua. Se aplicaron cinco porcentajes de riego respecto a la capacidad de campo (CC): T1 = 100 % (200 mL), T2 = 75 % (150 mL), T3 = 50 % (100 mL), T4 = 25 % (50 mL) y T5 = 12,5 % (25 mL). A los 40 días, los volúmenes de agua retenida fueron: 150 mL (T1), 112,5 mL (T2), 75 mL (T3), 37,5 mL (T4) y 18,75 mL (T5), confirmando una disminución gradual en la disponibilidad hídrica. T1 presentó la mayor altura de planta (39,27 cm) y el mayor diámetro de tallo (20,03 mm). El área foliar más alta fue en T5 (265,87 cm²). El mayor peso de raíces se registró en T2 (28,61 g) y el mayor número de raíces en T1 (30,10). Los HMA favorecieron un desarrollo morfológico estable bajo riego restringido. La cámara térmica resultó eficaz para monitorear respuestas fisiológicas bajo estrés hídrico.

Palabras clave: fisiología vegetal, arquitectura radicular, simbiosis, humedad del sustrato, adaptación hídrica.

ABSTRACT

This study aimed to implement a thermal chamber to evaluate water omission in the interaction between Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and *Musa AAB* (cv. Barraganete) seedlings under controlled conditions. The experiment was structured under a Completely Randomised Design (CRD) with five treatments and five replications. The thermal chamber maintained a stable microclimate, eliminating external environmental variability and allowing for precise observation of the effects of progressive water omission. Five irrigation levels were applied based on the field capacity (FC): T1 = 100 % (200 mL), T2 = 75 % (150 mL), T3 = 50 % (100 mL), T4 = 25 % (50 mL), and T5 = 12.5 % (25 mL). After 40 days, the retained water volumes were: 150 mL (T1), 112.5 mL (T2), 75 mL (T3), 37.5 mL (T4), and 18.75 mL (T5), confirming a gradual reduction in moisture availability. T1 showed the highest plant height (39.27 cm) and stem diameter (20.03 mm). The largest leaf area was observed in T5 (265.87 cm²). The highest root weight was recorded in T2 (28.61 g), while the greatest number of roots was in T1 (30.10). AMF contributed to maintaining stable morphological development under reduced irrigation. The thermal chamber proved to be an effective tool for monitoring the physiological responses of seedlings under controlled water stress conditions.

Keywords: plant physiology, root system architecture, symbiosis, substrate moisture, drought adaptation.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos del género *Musa* (plátanos y bananos) ocupan un papel fundamental en las regiones tropicales y subtropicales del mundo debido a su relevancia económica, nutricional y social (Moreno-Bermúdez et al., 2017). Según datos de FAOSTAT (2017), en el año 2016 la producción global de *Musa* spp. superó los 148 millones de toneladas, lo que confirma su importancia como fuente de alimento, ingresos y empleo para millones de familias.

Estos cultivos requieren condiciones hídricas favorables para un desarrollo óptimo, con una demanda semanal mínima de 25 mm de agua y precipitaciones anuales entre 2000 y 2500 mm distribuidas regularmente a lo largo del año (Castaño et al., 2012). En este contexto, la sequía representa una de las principales amenazas para la productividad de las plantaciones, especialmente en escenarios de cambio climático, donde se ha reportado un aumento en la frecuencia y duración de los eventos de déficit hídrico (Moreno-Bermúdez et al., 2017).

Ante esta problemática, se ha promovido el desarrollo de estrategias para mejorar la tolerancia al estrés hídrico en *Musa* spp., como el uso de agentes osmóticos en condiciones in vitro o la introducción de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) que favorecen la absorción de agua y nutrientes (Zambrano, 2023). La simbiosis HMA-planta representa una alternativa biotecnológica de bajo impacto ambiental que incrementa la resiliencia del cultivo frente a condiciones adversas (Cusme, 2021). Además, se ha identificado que los cultivares con genoma B (procedente de *Musa balbisiana*) muestran mayor tolerancia a la sequía que los de genoma A (*Musa acuminata*) (Meza, 2023) lo que orienta las estrategias de selección y mejoramiento.

Sin embargo, los estudios sobre la respuesta de plántulas de *Musa* AAB ante la interacción con HMA y la omisión hídrica inducida aún son limitados, especialmente bajo condiciones controladas (Zambrano, 2023). En este sentido, la termografía infrarroja surge como una herramienta tecnológica no invasiva que permite evaluar la temperatura foliar como indicador indirecto del estado hídrico de la planta (Meza, 2023).

Cuando las estomas se cierran por efecto del estrés, disminuye la transpiración y aumenta la temperatura de la superficie foliar, fenómeno que puede ser detectado mediante cámaras térmicas (Jones, 2018). Por tanto, esta tecnología ofrece un método eficiente para monitorear el comportamiento fisiológico de plántulas en experimentos de omisión hídrica.

En consecuencia, esta investigación se planteó con el objetivo de implementar una cámara térmica como herramienta para evaluar la interacción entre los hongos micorrícicos arbusculares y plántulas de *Musa* AAB bajo condiciones de omisión hídrica (Cedeño-García et al., 2020). El estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, contribuyendo al desarrollo de metodologías aplicadas para la selección temprana de cultivares y estrategias de manejo sostenible del cultivo ante escenarios de estrés hídrico.

Aunque existen avances en la selección de genotipos más tolerantes y en la incorporación de microorganismos benéficos como los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), aún persisten vacíos en el conocimiento sobre cómo estas asociaciones simbióticas influyen en la respuesta fisiológica de plántulas de *Musa* AAB frente al estrés hídrico en etapas tempranas de desarrollo.

En este contexto, la incorporación de tecnologías como la termografía infrarroja permite detectar, de forma no invasiva, cambios en la temperatura foliar asociados al cierre estomático y al estado hídrico de la planta, ofreciendo una herramienta complementaria para monitorear el efecto de la micorrización (Usuga-Osorio et al., 2008). No obstante, existen escasos estudios que integren la aplicación de cámaras térmicas en la evaluación de plántulas micorrizadas bajo condiciones controladas de omisión hídrica (Meza, 2023). Esta brecha limita el diseño de estrategias efectivas para el manejo agronómico y la selección de materiales más resilientes. Ante ello, surge la necesidad de responder:

¿Cómo influye la interacción entre HMA y plántulas de Musa AAB, evaluada mediante cámara térmica, en su comportamiento fisiológico bajo condiciones de omisión hídrica?

JUSTIFICACIÓN

La creciente exposición de los cultivos de *Musa* spp. a condiciones de estrés hídrico plantea la necesidad de adoptar enfoques integradores que no solo mitiguen los efectos del déficit de agua, sino que también permitan evaluar tempranamente las respuestas fisiológicas de las plantas a nivel experimental (Moreno-Bermúdez et al., 2017).

En este escenario, la interacción simbiótica con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se proyecta como una estrategia ecológica y eficiente para mejorar la capacidad adaptativa de las plantas, optimizando la captación de recursos edáficos y favoreciendo la estabilidad funcional bajo condiciones adversas. Sin embargo, la cuantificación objetiva del impacto de esta simbiosis en etapas iniciales del desarrollo de *Musa* AAB requiere del uso de herramientas que permitan correlacionar variables fisiológicas clave con el estado hídrico real de la planta (Meza, 2023).

La incorporación de cámaras térmicas en estudios de omisión hídrica representa una innovación metodológica que permite capturar información térmica precisa del dosel vegetal, la cual puede ser interpretada como un indicador indirecto de la actividad estomática y del nivel de estrés hídrico (Cedeño-García et al., 2020). Esta tecnología resulta especialmente útil en condiciones controladas, donde se busca aislar el efecto de factores externos y profundizar en el análisis comparativo entre tratamientos micorrizados y no micorrizados.

A pesar de su potencial, su aplicación en estudios relacionados con *Musa* spp. sigue siendo limitada, lo que evidencia una brecha científica que esta investigación pretende abordar. Por ello, el presente estudio justifica su pertinencia al combinar la inoculación micorrícica con herramientas de diagnóstico térmico, generando información valiosa para el diseño de estrategias agronómicas más resilientes y sustentables frente al cambio climático.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Implementar una cámara térmica para evaluar la omisión hídrica en la interacción de HMA-*Musa* AAB

Objetivos específicos

- Implementar una cámara térmica en la granja Experimental Río Suma

- Determinar la interacción HMA-*Musa* AAB bajo omisión hídrica

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

- La omisión hídrica no influye en la interacción de HMA-*Musa* AAB, bajo condiciones de cámara térmica.

Hipótesis alternativa

- La omisión hídrica influye en la interacción de HMA-*Musa* AAB, bajo condiciones de cámara térmica

I. CAPÍTULO

1. MATERIALES Y MÉTODOS

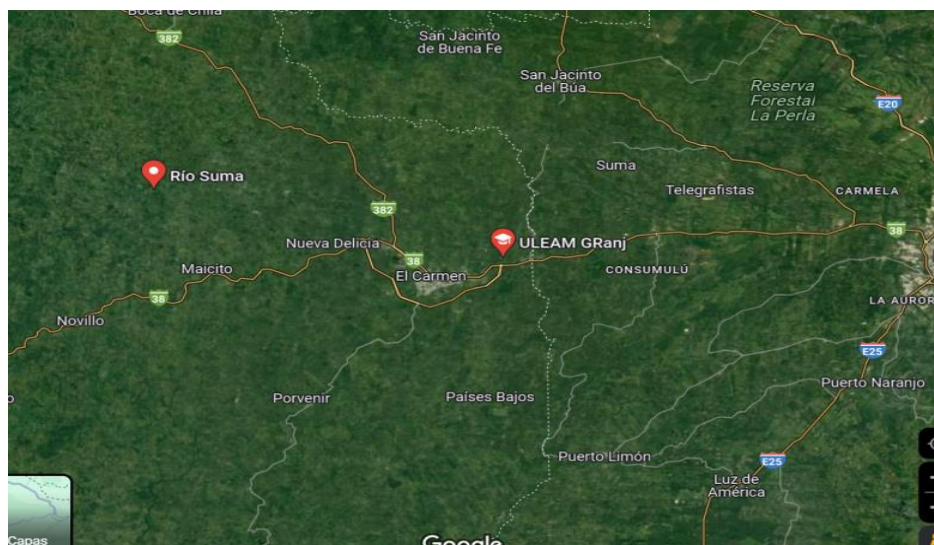
1.1 Ubicación del ensayo

El estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental Río Suma, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, situada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí. Este espacio fue seleccionado por sus condiciones agroecológicas representativas de la región tropical húmeda, así como por su orientación académica e investigativa en el ámbito agropecuario.

Para el desarrollo del experimento se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cinco tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento, sumando un total de 25 unidades experimentales. Los bloques se establecieron para controlar la variabilidad ambiental dentro del área de ensayo y asegurar una mayor precisión en la comparación de los tratamientos.

Como parte del componente tecnológico, se implementó una cámara térmica de tecnología infrarroja para evaluar el comportamiento fisiológico de las plántulas de *Musa AAB* bajo condiciones de omisión hídrica. Esta herramienta fue adquirida mediante gestión estudiantil como donación con fines científicos y educativos, quedando incorporada al equipamiento permanente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, para el fortalecimiento de la investigación aplicada, prácticas académicas y trabajos de titulación.

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 climatológicas 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

Se utilizó el método empírico como base para la obtención de información proveniente de la observación directa y la experiencia práctica en condiciones reales de ensayo (Murillo, 2011; Vera, 2014). Este enfoque permitió registrar de forma sistemática los efectos visuales y fisiológicos asociados a la interacción entre los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y las plántulas de *Musa* AAB, especialmente bajo condiciones de omisión hídrica (Saparrat et al., 2020). Las observaciones realizadas sirvieron para respaldar la interpretación de los datos obtenidos mediante el uso de la cámara térmica, fortaleciendo la comprensión de las respuestas adaptativas de las plantas ante el estrés hídrico.

1.3.2 Método experimental

El estudio se sustentó en una metodología experimental, estructurada bajo un Diseño Completos al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cinco repeticiones (Mandeville, 2012). A través de este enfoque, se manipularon variables clave como la presencia o ausencia de HMA y la condición hídrica del sustrato, controlando el entorno de evaluación para asegurar la validez de los resultados (Andrade et al., 2018). La aplicación de la cámara térmica como herramienta de diagnóstico permitió evaluar, con precisión no destructiva, el comportamiento fisiológico de las plántulas ante distintos tratamientos, especialmente en lo que respecta a la temperatura foliar como indicador del estado hídrico (Zambrano, 2023).

1.3.3 Método bibliográfico

Para la formulación del marco conceptual y metodológico, se realizó una revisión sistemática de literatura científica actualizada, utilizando fuentes confiables como artículos de revistas indexadas, tesis de posgrado, informes técnicos y publicaciones institucionales. Esta

revisión permitió comprender en profundidad la interacción simbiótica HMA-planta, los efectos del estrés hídrico en *Musa* spp. y la aplicación de tecnologías como la termografía infrarroja en estudios de fisiología vegetal, lo que sirvió de base para el diseño experimental y la interpretación de los resultados.

1.3.4 Método observacional

El método observacional fue aplicado para el registro directo y sistemático de las respuestas fenotípicas y fisiológicas de las plántulas de *Musa* AAB durante el ensayo. Las observaciones se realizaron en condiciones controladas dentro del entorno experimental, con apoyo de la cámara térmica, que permitió monitorear la temperatura foliar como variable clave asociada al cierre estomático inducido por estrés hídrico (Arias, 2012).

Este método facilitó el seguimiento del vigor vegetativo, el desarrollo foliar y las diferencias entre tratamientos, sin intervenir directamente en 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 y el registro sistemático de variables fisiológicas y morfológicas vinculadas al comportamiento de las plántulas de *Musa* AAB bajo condiciones de omisión hídrica. Entre las variables evaluadas se incluyeron: número de hojas desarrolladas, longitud foliar, y estado sanitario general. La interacción con los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) fue monitoreada en cada fase de desarrollo, considerando su efecto en la respuesta adaptativa de las plantas ante el estrés hídrico inducido (M. González & Cuenca, 2008).

1.4.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias consistieron en información científica especializada, recopilada mediante una revisión documental que incluyó artículos indexados, tesis de posgrado, informes técnicos y libros enfocados en fisiología vegetal, micorrización y tecnologías aplicadas al monitoreo del estrés abiótico (Usuga-Osorio et al., 2008). Para ello se utilizaron plataformas académicas como Google Scholar, Scopus, SciELO y Redalyc. Esta información permitió sustentar teóricamente el diseño experimental, la selección de variables y la interpretación de los resultados obtenidos.

1.5 Diseño de la Investigación

El experimento se estructuró bajo un Diseño Completos al Azar (DCA), con cinco tratamientos y cinco repeticiones, empleando bloques como estrategia para controlar la variabilidad ambiental dentro del área experimental (Bernal & Melgarejo, 2017). El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa Infostat versión 2022, aplicando pruebas de significancia de Tukey al 5 % de error para la comparación de medias entre tratamientos. Además, se utilizaron herramientas gráficas del software Excel para la representación visual de los resultados y análisis de tendencias.

Tabla 2. *Análisis de varianza del experimento*

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

1.6 Variables de interés

Variable independiente:

- Humedad

Variables dependientes:

- Altura de la planta
- Diámetro del pseudotallo
- Número de raíces totales
- Número de raíces sanas
- Longitud de raíces

1.7 Tratamiento de los datos

Para el establecimiento del ensayo se utilizaron colines previamente seleccionados de plantas élite de *Musa* AAB, los cuales fueron desinfectados tres veces con una solución de Vitavax®. Posteriormente, los colines se lavaron cuidadosamente con agua hervida y enfriada en tres enjuagues consecutivos, con el objetivo de eliminar residuos químicos del fungicida y evitar afectar la viabilidad de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) aplicados en el tratamiento.

El sustrato empleado consistió en una mezcla orgánica compuesta por 25 % de cascarilla de arroz y 75 sustratos de HMA, previamente tamizados y desinfectados. Las plantas se establecieron en fundas plásticas perforadas en la base para permitir el drenaje del exceso de

agua, lo cual fue esencial para determinar experimentalmente la capacidad de campo de cada tratamiento.

1.7.1 Cálculo de la capacidad de campo y niveles de omisión hídrica

Para estimar la capacidad de campo del sustrato, se aplicaron 25 mL de agua por gravedad a las fundas con sustrato seco, y se midió la cantidad de agua retenida una vez finalizado el drenaje completo. El procedimiento se repitió para definir los diferentes niveles de humedad retenida en el sustrato, considerando que al finalizar el drenaje se había alcanzado la capacidad de campo (punto de saturación retenida útil).

Los valores registrados fueron los siguientes:

Tratamiento	Nivel de humedad aplicado	Volumen retenido (mL)
T1	Riego a capacidad de campo (100 %)	200 mL
T2	75 % de la capacidad de campo	150 mL
T3	50 % de la capacidad de campo	100 mL
T4	25 % de la capacidad de campo	50 mL
T5	12,5 % de la capacidad de campo	25 mL

1.7.2 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos utilizados fueron:

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

Tratamiento	Descripción (Omisión de humedad)
T1	Riego a capacidad de campo
T2	Riego al 75% de la capacidad de campo
T3	Riego al 50% de la capacidad de campo
T4	Riego al 25% de la capacidad de campo
T5	Riego al 12,5% de la capacidad de campo

1.8 Instrumentos de investigación

1.8.1 Procedimiento experimental

El sustrato utilizado consistió en una mezcla orgánica compuesta por 25 % de cascarilla de arroz y 75 % de tierra con inóculo micorrízico, previamente tamizados y desinfectados.

Las plántulas se establecieron en fundas plásticas perforadas en la base, lo que permitió controlar el drenaje del exceso de agua y calcular experimentalmente la capacidad de campo

del sustrato, variable clave para la aplicación diferenciada de los tratamientos de omisión hídrica.

Se implementaron cinco tratamientos, basados en distintos porcentajes de riego respecto a la capacidad de campo (100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 12,5 %), y cada uno fue replicado cinco veces bajo un diseño completamente al azar. Durante los 40 días del ensayo, se monitorearon variables fisiológicas y morfológicas asociadas al desarrollo vegetativo de las plántulas, con apoyo de cámara térmica para el registro de temperatura foliar como indicador indirecto del estado hídrico.

- **Altura de la planta (cm):** Se midió desde la base del pseudotallo hasta el ápice de la hoja más alta, cada ocho días, registrando la evolución del crecimiento en función del tiempo y la respuesta a la micorrización.
- **Diámetro del pseudotallo (cm):** Se determinó semanalmente con un calibrador tipo Vernier, a nivel del cuello de la planta, para evaluar el vigor del crecimiento estructural.
- **Número de hojas:** Se contabilizaron todas las hojas completamente expandidas por planta. El registro se realizó de forma semanal durante los 60 días del experimento.
- **Número de raíces totales:** Al finalizar el ensayo, se retiraron las plantas de las fundas y se lavaron cuidadosamente para realizar el conteo manual de todas las raíces emergidas del cormo.
- **Número de raíces sanas:** Se clasificaron como sanas aquellas raíces con coloración blanca, sin signos de necrosis, plagas ni enfermedades. El conteo se realizó manualmente al momento de la evaluación final.
- **Longitud de raíces sanas (cm):** Se midió desde la base del cormo hasta el ápice de la raíz más larga utilizando un flexómetro, con el fin de evaluar la eficiencia del desarrollo radical bajo cada tratamiento.

1.9 Recursos humanos y materiales

1.9.1 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

1.9.2 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
- Riego controlado
- Cinta métrica
- Regla milimetrada
- Calibrador vernier
- Cámara termográfica

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Clasificación taxonómica y aspectos generales del cultivo de plátano *Musa* AAB

El plátano pertenece a la familia *Musaceae*, un grupo botánico ampliamente distribuido en zonas tropicales del mundo, con relevancia en la producción de frutas de alto valor alimenticio y económico (Belalcázar-Carvajal, 2005). Desde el punto de vista taxonómico, el género *Musa* se clasifica de la siguiente manera (Silva-Arero et al., 2022).

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

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División (Filo)	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Musaceae</i>
Género	<i>Musa</i>
Especie híbrida	<i>Musa</i> × <i>paradisiaca</i> L.
Grupo genómico	AAB (<i>Híbrido triploide</i>)

Fuente: adaptado de Silva-Arero et al., (2022).

Los cultivares AAB son comúnmente conocidos como plátanos, con predominancia genómica de *M. balbisiana*, lo que les otorga mayor rusticidad y tolerancia al déficit hídrico, en comparación con los cultivares tipo AAA, más susceptibles a condiciones adversas (Hernández et al., 2007).

2.1.1 Características morfológicas del plátano (*Musa* AAB)

El plátano presenta una estructura herbácea perenne, con raíces fasciculadas de tipo superficial, carnosas, de color blanco-amarillento en su fase joven, tornándose opacas con el avance de su desarrollo (Hernández et al., 2007). Estas raíces pueden extenderse hasta tres metros, con un diámetro promedio de 5 a 10 mm. La parte aérea está formada por un pseudotallo compuesto por vainas foliares, el cual soporta las hojas y posteriormente la inflorescencia (Quiceno et al., 2014).

Las hojas se originan en el meristemo apical del cormo, y presentan una lámina amplia, con nervadura central prominente. Su disposición espiralada favorece la captura de radiación solar (Belalcázar-Carvajal, 2005). El cormo funciona como un órgano de reserva y es el punto

de origen de la nueva brotación. A partir de este tejido se desarrollan los hijuelos que permiten la propagación vegetativa de la planta (Silva-Arero et al., 2022).

2.2 Métodos de propagación en *Musa* spp.

2.2.1 Propagación tradicional por hijuelos

La propagación vegetativa por medio de hijos o retoños ha sido el método más comúnmente empleado por los agricultores, dado su bajo costo y facilidad de manejo (Aristizábal, 2010). Sin embargo, esta práctica con frecuencia se realiza sin criterios técnicos, lo cual puede derivar en problemas de uniformidad, transmisión de enfermedades y competencia entre plantas por falta de deshije adecuado (Sosa & Nava, 1984).

Existen tres tipos principales de deshije: de formación (eliminación de brotes improductivos), de producción (regulación del número de plantas activas) y de semilla (selección de hijuelos sanos para nuevos cultivos) (González et al., 2022).

Figura 2. Selección y desinfección de hijuelos para la propagación vegetativa de *Musa* AAB



Fuente: autora (2025)

2.2.2 Propagación por división de cormos

La división de cormos es una técnica utilizada para la multiplicación rápida y controlada de plantas, especialmente en sistemas de vivero (Aristizábal, 2010). Este método requiere la selección de cormos vigorosos y sanos, los cuales son desinfectados, limpiados y segmentados para exponer las yemas latentes (Fuertes-Alcívar et al., 2025).

Cada sección se siembra en fundas o canteros, promoviendo el brote de nuevas plántulas a partir de una yema activa. Esta técnica, además de ser económica, permite mantener características genéticas estables del cultivar (García et al., 2022).

Figura 3. Segmentos de cormo seleccionados para la propagación vegetativa de *Musa AAB*



Fuente: autora (2025)

2.2.3 Propagación in vitro (micropropagación)

La micropropagación es una técnica moderna que permite la multiplicación masiva de plantas en condiciones controladas de laboratorio, a partir de meristemos u otros tejidos (Aristizábal, 2010). Este método ofrece ventajas importantes como la obtención de plantas libres de patógenos, la producción en menor espacio y tiempo, y la uniformidad genética (Fuertes-Alcívar et al., 2025). Es una herramienta valiosa para programas de mejoramiento, conservación y producción de semillas de alta calidad, especialmente útil en contextos donde se requiere garantizar el estatus sanitario del material vegetal (González et al., 2022).

Figura 4. Plántulas de *Musa AAB* obtenidas mediante micropropagación in vitro



Fuente: tomado de Fonseca et al. (2019)

2.3 Importancia de la técnica de cámara térmica en la producción de *Musa spp.*

La técnica de multiplicación en cámara térmica ha revolucionado los esquemas tradicionales de propagación de cultivos clonales como el plátano (*Musa spp.*), al introducir una metodología que combina eficiencia, sanidad vegetal y escalabilidad (Levanon et al., 2020). Su implementación ha cobrado especial relevancia en programas de mejoramiento y multiplicación masiva, debido a la posibilidad de generar una gran cantidad de plantas

genéticamente homogéneas en un tiempo reducido y bajo condiciones controladas (Álvarez et al., 2013).

A diferencia de métodos tradicionales que dependen del desarrollo natural de brotes, la cámara térmica permite inducir la brotación en condiciones específicas de temperatura, humedad y luz, acelerando los ciclos productivos del vivero (Vantghem et al., 2022).

Además, esta técnica facilita la producción de material vegetal libre de plagas y enfermedades, lo cual representa una ventaja estratégica para el establecimiento de lotes comerciales con alta uniformidad agronómica y fitosanitaria (García et al., 2016). En contextos tropicales como el de la costa ecuatoriana, donde los cultivos de plátano enfrentan presiones sanitarias constantes, el uso de esta herramienta tecnológica contribuye a mejorar los estándares de calidad del material vegetal, con impacto positivo en el rendimiento y en la vida útil de las plantaciones (Mejía et al., 2020).

2.3.1 Beneficios técnicos y productivos del uso de cámara térmica para la multiplicación clonal

Desde el punto de vista técnico, la cámara térmica permite modular factores ambientales críticos como la temperatura y la fotoperiodicidad, estimulando fisiológicamente la formación de brotes múltiples en cormos despuntados (González et al., 2022). Este proceso reduce el tiempo requerido para obtener plantas aptas para el trasplante y facilita una propagación escalonada, lo cual resulta especialmente útil en estrategias de planificación agrícola y siembras escalonadas (Daza-Ponce, 2023).

Uno de los principales beneficios es la capacidad de obtener entre 20 y 30 plántulas por cormo en periodos de 5 a 6 meses, cifra que puede incrementarse en condiciones óptimas de manejo (Vantghem et al., 2022).

Adicionalmente, la técnica contribuye a la sostenibilidad de los sistemas productivos al disminuir la necesidad de importar semillas o de depender de hijuelos de campo que suelen estar contaminados (Nava-Luzardo & Jaramillo Aguila, 2022). Las plantas generadas en cámaras térmicas presentan mayor vigor, menor incidencia de patógenos transmitidos por suelo, y permiten establecer viveros con un alto grado de homogeneidad fenotípica (Levanon et al., 2020).

2.3.2 Propagación acelerada en cámara térmica

La multiplicación de material vegetal mediante el uso de cámara térmica se ha consolidado como una estrategia eficiente y fitosanitariamente segura para la producción masiva de plántulas de plátano en menor tiempo (Álvarez et al., 2013). Esta técnica consiste en construir una estructura cerrada recubierta con plástico transparente tipo agrofilm, diseñada para retener calor y elevar la temperatura interna por encima de los 45 °C, creando un ambiente controlado que estimula la brotación lateral de los cormos (Rengifo-Galeano & Gómez Betancur, 2017).

Dentro de este microambiente, se someten los cormos desyemados a condiciones de termoterapia (entre 40 °C y 60 °C), con una humedad relativa controlada (30–100 %) y un fotoperiodo extendido hasta de 24 horas, gracias a iluminación artificial (Fonseca et al., 2021). Estas condiciones, combinadas con aplicaciones de fertirriego con soluciones nutritivas, favorecen la formación de brotes múltiples y reducen la incidencia de patógenos (Belalcázar-Carvajal, 2005).

Los cormos seleccionados para este proceso suelen tener entre 1 y 2 kg y deben ser previamente desinfectados y despuntados para eliminar el ápice meristemático, estimulando así la emisión de brotes axilares (Daza-Ponce, 2023). Una vez emergen los primeros brotes (de 5 a 10 cm), estos se extraen, se les realiza un corte cruzado para eliminar el punto de crecimiento y se reincorporan al sistema de cámara para la inducción de nuevos brotes secundarios (Fonseca et al., 2021).

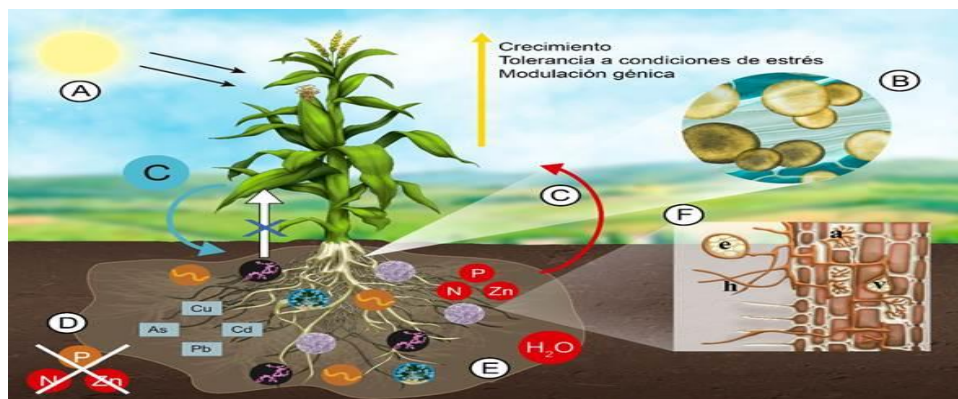
Posteriormente, cuando estos brotes desarrollan raíces primarias, se trasladan a fundas de vivero (5 × 12 pulgadas) para su aclimatación y posterior trasplante (Daza-Ponce, 2023). Esta técnica puede generar entre 20 a 30 plántulas por cormo en 6 meses, y en condiciones óptimas se ha reportado una producción de hasta 90 brotes por metro cuadrado por mes, lo que demuestra su alta eficiencia multiplicativa (Bravo-Cedeño, 2022).

2.4 Micorrizas

El término “micorriza” proviene del griego mykes (hongo) y rhiza (raíz), y hace referencia a una asociación simbiótica entre hongos del suelo y raíces de plantas superiores. Esta relación mutualista no patógena beneficia a ambos organismos: el hongo obtiene compuestos carbonados producto de la fotosíntesis, mientras que la planta amplía su área de absorción a través del micelio fúngico, lo que facilita la captación de nutrientes minerales esenciales del suelo, como fósforo, zinc y cobre (Abud et al., 2008; Usuga Osorio et al., 2008).

Desde el punto de vista morfológico y funcional, las micorrizas se clasifican en dos grandes grupos: ectomicorrizas y endomicorrizas (Blancof & Salas, 1997). Las primeras desarrollan sus estructuras sobre la superficie de las raíces, sin invadir las células corticales, y se asocian mayoritariamente con árboles maderables de zonas templadas (Blanco & Salas, 1997). En cambio, las endomicorrizas, entre las que destacan las arbusculares, penetran los tejidos internos de las raíces y son predominantes en ecosistemas tropicales con suelos de baja fertilidad (Garzón, 2016).

Figura 5. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras



Fuente: tomado de Carrillo-Salcedo, et al. (2022)

Los hongos micorrízicos pueden representar hasta el 20 % de la biomasa del suelo, y su micelio actúa como una red funcional que conecta la planta con el entorno edáfico, modulando las interacciones con factores bióticos y abióticos (Molina et al., 2005). Se ha comprobado que las plantas micorrizadas incrementan su resistencia a enfermedades, tolerancia al estrés abiótico y contribuyen a la estabilidad estructural del suelo (Sosa-Rodríguez et al., 2009).

Tabla 5. Resumen de las características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas

Característica	Endomicorrizas	Ectomicorrizas
Grupo fúngico predominante	<i>Glomeromycota (Zigomicetes)</i>	<i>Basidiomycota, Ascomycota, Ficomycetes</i>
Localización del micelio	Intracelular e intercelular	Intercelular, no invade células corticales
Formación de manto hifal	No	Sí
Reproducción	Asexual (clamidosporas)	Sexual y asexual
Especificidad con hospederos	Baja	Alta
Hospederos comunes	Árboles, arbustos, herbáceas	Árboles maderables
Distribución ecológica	Suelos tropicales pobres en materia orgánica	Bosques templados con alto contenido orgánico

Fuente: adaptado de Sosa-Rodríguez et al. (2009).

2.5 Sustratos

Para la producción de inóculo micorrízico se utilizan diversos sustratos que facilitan el desarrollo del hongo y su interacción con la planta hospedera (Castañeda et al., 2018). Estos incluyen mezclas estériles de suelo con perlita, vermiculita, turba, arcilla expandida, corcho o incluso medios hidropónicos (García et al., 2022). La selección del sustrato se basa en su estabilidad estructural, capacidad de retención hídrica y aireación, además de un equilibrio nutricional que no inhiba la colonización. Específicamente, niveles moderados de fósforo (hasta 70 $\mu\text{g/g}$) y nitrógeno (hasta 50 $\mu\text{g/g}$) son ideales, ya que concentraciones elevadas pueden limitar el establecimiento del hongo (Cruz-Crespo et al., 2012).

2.6 Medición del crecimiento micorrízico

El desarrollo de las micorrizas depende de múltiples factores, como el tipo de hongo, la especie vegetal, las condiciones del suelo y el entorno climático (Abud et al., 2008; Usuga Osorio et al., 2008). En general, las micorrizas arbusculares pueden iniciar su colonización semanas después de la inoculación, mientras que su maduración y establecimiento completo pueden tardar varios meses. Por otro lado, las ectomicorrizas, comunes en especies leñosas, demandan periodos de adaptación más prolongados debido a su crecimiento extracelular (Sosa-Rodríguez et al., 2009).

La simbiosis micorrízica se fortalece con el tiempo, generando una relación dinámica que evoluciona conforme el sistema radical y el hongo expanden sus estructuras, mejorando la funcionalidad fisiológica de la planta hospedera (Blancof & Salas, 1997).

Figura 6. *Desarrollo del micelio de hongo micorrízico arbuscular en simbiosis con la raíz de una planta hospedera*



Fuente: adaptado de Sosa-Rodríguez et al. (2009).

TRABAJOS RELACIONADOS

Levanon et al. (2020), comprobaron que es posible predecir estrés abiótico en plántulas de banano (*Musa acuminata*) mediante imágenes RGB y térmicas. Durante dos semanas se capturaron imágenes diarias de plantas sometidas a diferentes tratamientos de agua y fertilización. La termografía permitió distinguir tratamientos con más del 90 % de precisión utilizando redes neuronales. Este estudio no involucró inoculación con HMA, pero demuestra la sensibilidad de la temperatura foliar frente a déficit hídrico.

Biju et al. (2018), midieron la temperatura foliar de banano en condiciones de sequía estacional en campo real. Utilizaron cámara térmica para detectar diferencias entre cultivares tolerantes y sensibles. Las hojas sometidas a déficit hídrico mostraron temperaturas significativamente más elevadas. El estudio confirma la utilidad de la termografía para anticipar respuestas de estrés antes de que haya síntomas visuales.

Srivastava et al. (2013), inocularon plántulas de banana micropropagadas con *Claroideoglossum claroideum* y evaluaron su desarrollo fisiológico. La inoculación aumentó la absorción de nutrientes, actividad enzimática antioxidante y eficiencia fotosintética. Las plantas inoculadas mostraron un vigor superior al control. Aunque no incluyeron termografía, los cambios fisiológicos observados son consistentes con posibles diferencias térmicas en hojas bajo estrés.

Lin et al. (2021) examinaron la expresión genética en plántulas de banana colonizadas por HMA bajo estrés salino y/o patógeno. Reportaron aumentos significativos en la expresión de genes de defensa, mejor absorción de nutrientes y fotosíntesis. Las plantas micorrizadas demostraron mayor tolerancia y vigor en comparación con controles. Aunque no emplearon cámara térmica, su enfoque apoya la hipótesis de que micorrización modula el estado fisiológico de la planta.

Fonseca et al. (2021), han empleado como sustituto parcial o total de los reguladores de crecimiento vegetal en la propagación in vitro de diversos cultivos. Sin embargo, su efecto sobre la embriogénesis somática en banano a gran escala no ha sido evaluado. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de Pectimorf® en el desarrollo de plantas de banano in vitro a partir de embriones somáticos en fase de germinación del cultivar 'FHIA 01' (AAAB), bajo condiciones de escala comercial en la Biofábrica Granma. Los tratamientos incluyeron el uso de Pectimorf® solo (5, 10 y 15 mg l⁻¹) y en combinación con reguladores de crecimiento vegetal (2 mg l⁻¹ de AIA + 0,05 mg l⁻¹ de 6-BAP). Luego de 30 días de cultivo, se

seleccionaron aleatoriamente 60 plantas in vitro (de un total de 200 embriones somáticos por tratamiento, en triplicado). Se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de enraizamiento y supervivencia, número de brotes, hojas y raíces, altura y grosor del pseudotallo (cm), longitud máxima de raíz (cm) y masa seca de la parte aérea y radicular (g). El mejor desarrollo vegetativo se observó con el uso de Pectimorf® solo a 10 y 15 mg l⁻¹ y en combinación con AIA y 6-BAP, lo cual demuestra su potencial como una alternativa valiosa para optimizar la embriogénesis somática en la propagación de banano a gran escala en los laboratorios de biotecnología en Cuba.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

En el marco del estudio titulado “*Implementación de cámara térmica para evaluar la omisión hídrica en la interacción de HMA-Musa AAB*”, se construyó una cámara térmica de control ambiental con una superficie interna de 78 m² (13 m × 6 m), diseñada específicamente para mantener condiciones microclimáticas homogéneas durante la etapa de establecimiento de plántulas de *Musa AAB* inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). La estructura fue elaborada con pórticos metálicos galvanizados anclados sobre una losa nivelada, con cerramiento en policarbonato alveolar de 8 mm y película agrícola anti-UV, utilizando sellos de neopreno para asegurar la hermeticidad del sistema.

El área destinada a los tratamientos experimentales cinco niveles de riego correspondientes a 100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 12,5 % de la capacidad de campo fue acondicionada con piso de grava fina y geotextil, exclusivamente para facilitar el drenaje controlado del agua y permitir una distribución uniforme de humedad entre las unidades experimentales. Cada tratamiento fue replicado cinco veces bajo un diseño completamente al azar.

El sistema de ventilación se conformó mediante ranuras longitudinales ubicadas en la parte posterior de la cámara, las cuales permitieron la renovación del aire y minimizaron la acumulación de calor excesivo. Asimismo, se instaló un sistema de nebulización para regular la humedad relativa, ajustándola según los requerimientos del ensayo. La temperatura ambiente promedio registrada en el sitio fue de 31 °C, proporcionando condiciones adecuadas para simular estrés hídrico moderado a severo.

Durante los 40 días de duración del ensayo, se monitorearon variables morfológicas y fisiológicas como altura de planta (cm), diámetro del pseudotallo (cm) y número de raíces sanas, con el objetivo de determinar la respuesta del sistema radical y aéreo de las plántulas ante distintos niveles de omisión hídrica en interacción con HMA.

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 construcción de la cámara térmica implicó una inversión total de USD 1.011,30, compuesta mayoritariamente por un servicio técnico integral que incluyó la instalación y el suministro de plástico calibre 8 para una superficie de 12 × 6 m, con un valor de USD 880,00, lo que representa el 87 % del desembolso total. A este monto se sumó la adquisición de material plástico adicional por un valor de USD 131,30, correspondiente al 13 % restante.

El impuesto al valor agregado (IVA) ascendió a USD 131,91, calculado sobre una base imponible de USD 879,39 con una tasa del 15 %. Considerando una superficie útil de 78 m², el costo por metro cuadrado se estimó en USD 12,97, aunque este valor se reduciría a USD 11,28/m² si únicamente se registrara el valor facturado. En resumen, el presupuesto se destinó principalmente a la contratación de un servicio especializado en cubrición y al uso de plástico técnico, en correspondencia con el propósito de establecer un ambiente controlado adecuado para evaluar el comportamiento de *Musa* AAB inoculado con HMA.

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

Para garantizar condiciones experimentales controladas en la evaluación de la omisión hídrica sobre la interacción entre Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y *Musa* AAB, se implementó un conjunto de procedimientos técnicos y estructurales. El diseño contempló tanto la adecuación de infraestructura (cámara térmica), como la preparación precisa del material vegetal, la desinfección, la formulación del sustrato y la inoculación con HMA.

3.2.1 Selección y desinfección del material vegetal

Se seleccionaron colines vigorosos, provenientes de plantas élite del cultivar *Musa* AAB, libres de síntomas fitosanitarios visibles. El protocolo de desinfección consistió en tres fases consecutivas:

- i. Desinfección química inicial: Los colines fueron sumergidos tres veces en una solución fungicida a base de Vitavax®.
- ii. Lavado para eliminación de residuos químicos: Se realizó un triple enjuague con agua hervida previamente enfriada, con el objetivo de remover cualquier residuo del desinfectante que pudiera interferir en la viabilidad del inóculo micorrícico.
- iii. Preparación final para siembra: Posterior al lavado, los colines fueron secados a la sombra y almacenados en condiciones higiénicas hasta su establecimiento en fundas.

3.2.2 Preparación del sustrato e inoculación con HMA

Se diseñó una mezcla orgánica como medio de crecimiento, compuesta por 25 % de cascarilla de arroz (fuente de aireación) y 75 % de tierra enriquecida con HMA (proporcionando el inóculo micorrícico). Esta mezcla fue previamente tamizada para garantizar uniformidad y desinfectada mediante exposición solar prolongada.

Durante el llenado de fundas plásticas, se colocó una dosis estandarizada del sustrato inoculado en cada una, asegurando una distribución homogénea del hongo micorrícico. Las fundas fueron perforadas en la base para permitir el drenaje necesario para el siguiente paso: determinación de la capacidad de campo.

3.2.3 Determinación de la capacidad de campo del sustrato

Este procedimiento resultó fundamental para establecer los niveles de riego correspondientes a cada tratamiento experimental. Se aplicaron incrementos progresivos de 25 mL de agua por gravedad sobre fundas previamente llenadas con sustrato seco. Tras cada aplicación, se permitió que el drenaje se completara por gravedad hasta alcanzar un punto de estabilidad. La diferencia entre el volumen de agua aplicado y el volumen drenado se consideró como el agua retenida por el sustrato, lo que representó su capacidad de campo.

- T1: 200 mL (100 % de capacidad de campo)
- T2: 150 mL (75 %)
- T3: 100 mL (50 %)
- T4: 50 mL (25 %)
- T5: 25 mL (12,5 %)

Estos valores sirvieron como base para definir los cinco niveles de omisión hídrica aplicados en el ensayo.


3.2.4 Implementación de la cámara térmica

Se construyó una cámara térmica de control ambiental con dimensiones de 13 m × 6 m (78 m²), diseñada específicamente para: Estabilizar la temperatura interna, reduciendo la variabilidad térmica durante el ensayo. Regular la humedad relativa del ambiente, evitando fluctuaciones que pudieran afectar el estado hídrico de las plántulas.

Favorecer condiciones homogéneas de desarrollo, esenciales para evaluar el efecto de los diferentes niveles de riego bajo interacción con HMA. La cámara fue fabricada con estructura metálica galvanizada, anclada sobre una losa nivelada, con cerramiento de policarbonato alveolar de 8 mm y película agrícola anti-UV. Para facilitar el drenaje de los tratamientos, se colocó una base de grava fina con geotextil únicamente en la zona experimental donde se distribuyeron las 25 unidades experimentales (5 tratamientos × 5 repeticiones).

La temperatura promedio interna durante el ensayo fue de 31 °C, establecida por ventilación pasiva a través de ranuras longitudinales posteriores. No se emplearon sistemas de sombreado artificial ni ventiladores activos, ya que el diseño de la cámara permitió una renovación natural del aire y un microclima uniforme.

Figura 7. Croquis del sistema de la cámara térmica

<p>Selección de colines</p>	<p>Los colines fueron sumergidos tres veces en una solución fungicida a base de Vitavax® con el fin de eliminar patógenos superficiales sin comprometer los tejidos internos.</p>	
<p>Limpieza y desinfección de los colines</p>	<p>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.</p>	
<p>Enjuague con agua hervida y enfriada</p>	<p>Para evitar que los residuos químicos del fungicida afectaran la viabilidad del inóculo micorrícico, se realizaron tres enjuagues consecutivos con agua hervida previamente enfriada, asegurando la eliminación de residuos tóxicos.</p>	
<p>Preparación del sustrato inoculado</p>	<p>Preparación del sustrato inoculado: Se mezcló un sustrato compuesto por 25 % de cascarilla de arroz y 75 % de tierra y HMA previamente activado. La mezcla fue tamizada y desinfectada por solarización.</p>	

<p>Determinación de la capacidad de campo</p>	<p>En fundas con sustrato seco, se aplicaron 25 mL de agua por gravedad, de manera paulatina, hasta identificar el punto en el que cesaba el drenaje. La diferencia entre el agua aplicada y la drenada se registró como volumen retenido, determinando así la capacidad de campo de cada tratamiento.</p>	
<p>Siembra de colines</p>	<p>Los colines desinfectados fueron sembrados en las fundas, asegurando una correcta verticalidad y profundidad de siembra para favorecer el enraizamiento.</p>	
<p>Manejo hídrico y monitoreo</p>	<p>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.</p>	
<p>Medición de variables</p>	<p>Se realizó el levantamiento de información correspondiente a las variables.</p>	

3.4 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos luego de 40 días de evaluación continua en el marco del experimento titulado “Implementación de cámara térmica para evaluar la omisión hídrica en la interacción de HMA–*Musa* AAB”. Durante este periodo, se monitorearon variables morfológicas clave bajo diferentes niveles de

riego en condiciones controladas de temperatura y humedad, con el objetivo de identificar el efecto combinado del estrés hídrico y la inoculación micorrízica sobre el desarrollo de las plántulas.

3.4.1 Omisión hídrica

La tabla 8 muestra que existe una relación directa entre el volumen de riego aplicado y la capacidad de retención hídrica del sustrato evaluado bajo condiciones de cámara térmica. A los 40 días, el tratamiento con riego al 100 % de la capacidad de campo (CC) retuvo 150 mL, lo que representó la mayor disponibilidad de agua en el sustrato. En contraste, el tratamiento al 12,5 % de la CC retuvo apenas 18,75 mL, evidenciando una limitación significativa en la humedad disponible para las raíces. Estos resultados confirman que la omisión hídrica genera diferencias cuantificables en la disponibilidad de agua retenida, y por tanto, en las condiciones fisiológicas que enfrenta la plántula durante su desarrollo. La cámara térmica permitió observar con precisión esta evolución, dado que mantuvo controlado el microclima, eliminando variabilidad ambiental externa.

Estos datos respaldan la importancia de calibrar los niveles de riego en función de la capacidad de campo, especialmente cuando se investiga la interacción con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cuya efectividad puede verse afectada por déficit hídrico prolongado.

Tabla 8. *Volumen aplicado y volumen retenido a los 40 días por tratamiento de omisión hídrica en plántulas de Musa AAB bajo cámara térmica*

Tratamiento	Porcentaje de riego respecto a la CC (%)	Volumen aplicado (mL)	Volumen retenido a los 40 días (mL)
T1	100 %	200	150
T2	75 %	150	112,5
T3	50 %	100	75
T4	25 %	50	37,5
T5	12,5 %	25	18,75

Diversas investigaciones muestran que la colonización micorrízica mejora la eficiencia del uso del agua en plantas de banano bajo estrés (Wonglom et al., 2024). Estas simbiosis contribuyen a optimizar la absorción hídrica y nutricional mediante redes hifales que expanden la zona explorada del suelo. En el presente estudio, la clara

disminución del volumen retenido en tratamientos con menor riego (por ejemplo, 18,75 mL en el tratamiento de 12,5 % CC) demuestra que bajo condiciones de omisión hídrica severa, incluso la presencia de HMA puede no ser suficiente para garantizar la retención de humedad necesaria para el desarrollo óptimo.

Este comportamiento concuerda con lo descrito por Xiao et al. (2023), quienes reportaron que aunque la inoculación mejora la tolerancia al estrés hídrico, su efectividad disminuye cuando el déficit es extremo y prolongado.

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

Dado que el p-valor fue de 0,0616, esto indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5 % ($\alpha = 0,05$) entre los tratamientos. Sin embargo, existe una tendencia marcada en la disminución progresiva de la altura conforme se reduce el nivel de riego (Tabla 9).

Tabla 9. *Altura promedio (cm) de plántulas de Musa AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	27,25	a
T2 75 % de la capacidad de campo	24,01	a
T3 50 % de la capacidad de campo	21,57	a
T4 25 % de la capacidad de campo	18,75	a
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	11,89	a
P-valor		0,0616
CV (%)		33,57

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

Medina, (2003), observó que la inoculación con HMA (Mycoral®) en plátano ‘Curare Enano’ aceleró significativamente el crecimiento inicial, permitiendo alcanzar la meta comercial de 25 cm en menor tiempo respecto al testigo. Esta similitud refuerza el papel de los HMA como biofertilizantes eficaces en etapas tempranas del desarrollo vegetativo, al mejorar la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y zinc.

Cedeño-Zambrano et al. (2022), reportaron diferencias altamente significativas en altura de planta y perímetro del pseudotallo del plátano ‘Barraganete’, asociadas a una fertilización edáfica eficiente y al manejo adecuado del riego

3.4.3 Diámetro del tallo (mm) de plántulas de *Musa* AAB

Los resultados obtenidos en el presente estudio, mostrados en la Tabla 10, indican que el tratamiento T1 (riego al 100 % de la capacidad de campo) registró el mayor diámetro de tallo promedio con 20,03 mm, significativamente superior ($p = 0,0001$) a los demás tratamientos. En contraste, T4 (25 %) y T5 (12,5 %) presentaron valores de 17,13 mm y 17,04 mm respectivamente.

Tabla 10. Diámetro de tallo (mm) de plántulas de *Musa* AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	20,03	a
T2 75 % de la capacidad de campo	19,71	b
T3 50 % de la capacidad de campo	19,70	b
T4 25 % de la capacidad de campo	17,13	b
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	17,04	b
P-valor		0,0001
CV (%)		21,45

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

No obstante, a pesar de la limitación hídrica, T4 y T5 (con inoculación de HMA) mantuvieron valores relativamente estables y superiores a lo esperado en condiciones de déficit, lo que sugiere que la simbiosis micorrízica contribuyó positivamente a la absorción de nutrientes esenciales, como fósforo y magnesio, y a la mejor adaptación fisiológica en etapas tempranas (Meza, 2023).

Esto concuerda con lo descrito por Jaizme-Vega & Pinochet, (1997), quienes reportaron que la inoculación con *Glomus aggregatum* incrementó el diámetro del pseudotallo en banano, comparado con el testigo no micorrizado.

Asimismo, los valores registrados en este estudio (17–20 mm) se aproximan a los resultados de Sánchez-Urdaneta et al. (2022), quien reportó diámetros de $18,37 \pm 6,90$ mm a los 58 días después de siembra (dds) y de $21,97 \pm 8,42$ mm a los 65 dds en plátano ‘Barraganete’. La diferencia puede atribuirse, en parte, a la metodología de medición; mientras que Sánchez-Urdaneta realizó las mediciones a 5 cm de la superficie del suelo.

3.4.4 Área foliar de plántulas de *Musa* AAB

A los 40 días de evaluación, el área foliar promedio de las plántulas de *Musa* AAB tratadas con HMA presentó valores que oscilaron entre 255,01 y 265,87 cm². El tratamiento con riego al 12,5 % de la capacidad de campo (T5) obtuvo el mayor promedio (265,87 cm²), mientras que el tratamiento con riego completo (T1) alcanzó 255,01 cm². No se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0872$), agrupándose todos en la misma categoría (“a”) según la prueba de Tukey al 5 %. (Tabla 11).

Tabla 11. Área foliar de plántulas de *Musa* AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Área foliar cm ²	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	255,01	a
T2 75 % de la capacidad de campo	259,31	a
T3 50 % de la capacidad de campo	255,89	a
T4 25 % de la capacidad de campo	256,32	a
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	265,87	a
P-valor		0,0872
CV (%)		22,2 %

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

Investigaciones previas, como las de Hidalgo et al. (2006), han señalado que la inoculación con *Glomus* spp. en *Musa* AAA puede mejorar el índice de área foliar en etapas tempranas. Aunque los valores obtenidos en este estudio son relativamente homogéneos, el leve incremento en T5 podría indicar una respuesta adaptativa más eficiente frente al estrés moderado, lo cual también fue reportado por Medina (2003) en *Musa* ‘Curare Enano’ inoculado con HMA bajo condiciones similares de manejo en vivero.

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

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 0,0602$; CV = 15,24 %). El mayor peso promedio se observó en T2 (28,61 g), seguido de T3 (27,7 g), mientras que el valor más bajo fue en T1 (25,7 g). Todos los tratamientos compartieron la misma letra estadística, indicando igualdad estadística en el análisis (Tabla 12).

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

Tratamientos	Peso de las raíces (g)	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	25,7	a
T2 75 % de la capacidad de campo	28,61	a
T3 50 % de la capacidad de campo	27,7	a
T4 25 % de la capacidad de campo	27,19	a
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	26,67	a
P-valor		0,0602
CV (%)		15,24 %

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

Bravo & Henry (2015), reportan que, en etapas iniciales, la respuesta del sistema radicular a la micorrización puede ser más estable frente a variaciones hídricas, siempre que las condiciones microclimáticas sean controladas. Por tanto, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de que los HMA contribuyen a mitigar el estrés hídrico, aunque se requiere un mayor tiempo de exposición para evidenciar diferencias significativas en el peso radicular (Cusme, 2021).

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

El número de raíces de plántulas de *Musa AAB* tratadas con HMA no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, se observaron variaciones numéricas: T1 (riego al 100 %) alcanzó el valor más alto (30,10 raíces), mientras que T5 (riego al 12,5 %) mostró el más bajo (26,07 raíces). Todos los tratamientos compartieron la misma letra estadística, indicando que la omisión hídrica no afectó significativamente esta variable durante el periodo de evaluación (Tabla 13).

Tabla 13. *Número de raíces de plántulas de Musa AAB (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica*

Tratamientos	Número de raíces	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	30,10	a
T2 75 % de la capacidad de campo	28,61	a
T3 50 % de la capacidad de campo	28,27	a
T4 25 % de la capacidad de campo	27,99	a
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	26,07	a
P-valor		0,0701
CV (%)		12,40

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

La similitud estadística entre tratamientos en cuanto al número de raíces sugiere que las plántulas lograron mantener un desarrollo radicular constante, posiblemente por la acción moduladora de los HMA frente al estrés hídrico. Esto concuerda con lo reportado por Cusme, (2021), quienes señalan que la simbiosis micorrícica mejora la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, estabilizando la formación de raíces incluso en condiciones limitantes. Asimismo, estudios de Molina et al. (2005), resaltan que los beneficios de los HMA pueden manifestarse más notablemente con el tiempo, lo que podría explicar la falta de significancia en esta etapa inicial.

3.4.7 Número de hojas de plántulas de *Musa AAB*

El número promedio de hojas en las plántulas de *Musa AAB* a los 40 días varió entre 3,3 y 3,5 hojas por planta, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0902$). El tratamiento con riego al 75 % de la capacidad de campo (T2) presentó el mayor promedio (3,5 hojas), mientras que los tratamientos T3 y T4 reportaron el menor valor (3,3 hojas) (Tabla 14).

Tabla 14. Número de hojas de plántulas de *Musa AAB* (cv. Barraganete) tratadas con HMA en cámara térmica

Tratamientos	Número de hojas	
T1 riego al 100 % de la capacidad de campo	3,4	a
T2 75 % de la capacidad de campo	3,5	a
T3 50 % de la capacidad de campo	3,3	a
T4 25 % de la capacidad de campo	3,3	a
T5 12,5 %. de la capacidad de campo	3,4	a
P-valor		0,0902
CV (%)		8,78

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5 % ($p \leq 0,05$).

Aunque no se detectaron diferencias estadísticas, el mantenimiento del número de hojas en todos los tratamientos puede estar relacionado con el efecto beneficioso de la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), que pudo favorecer la absorción de fósforo y agua incluso en condiciones de menor humedad (Cusme, 2021). Según Garzón (2016), la micorrización contribuye al mantenimiento del metabolismo foliar y la integridad funcional de la planta durante estrés moderado. Esto explicaría la estabilidad fisiológica reflejada en el número de hojas, incluso en los tratamientos con riegos al 25 % o 12,5 % de la capacidad de campo.

APÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La implementación de la cámara térmica resultó efectiva para generar condiciones microclimáticas estables y controladas, permitiendo simular distintos niveles de omisión hídrica en el desarrollo temprano de plántulas de *Musa AAB* (cv. Barraganete). Esta herramienta facilitó la evaluación precisa de variables fisiológicas y morfológicas, demostrando su utilidad como sistema complementario en estudios de interacción suelo-planta-microorganismo bajo condiciones de estrés abiótico.
- La interacción de los Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) con plántulas de *Musa AAB* bajo omisión hídrica no evidenció diferencias estadísticas significativas en variables como peso y número de raíces durante el periodo evaluado. No obstante, se observaron tendencias numéricas favorables en tratamientos con riego parcial, lo cual sugiere que los HMA contribuyeron a una respuesta radicular estable frente al déficit hídrico moderado. Estos resultados respaldan el papel de los HMA como agentes atenuadores del estrés hídrico, aunque se recomienda ampliar el tiempo de evaluación para confirmar efectos significativos en etapas posteriores del desarrollo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la duración del ensayo en futuras investigaciones para permitir una expresión más evidente de los efectos de la simbiosis micorrícica sobre variables morfológicas y fisiológicas en *Musa AAB*, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico prolongado.
- Es aconsejable incorporar mediciones fisiológicas adicionales, como potencial hídrico, temperatura foliar y eficiencia fotosintética, que permitan una caracterización más integral de la respuesta de las plántulas al déficit hídrico y a la actividad de los HMA en ambientes controlados.

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.
- Álvarez, E., Ceballos, G., Gañán, L., Rodríguez, D., González, S., & Pantoja, A. (2013). Producción de material de siembra limpio en el manejo de las enfermedades limitantes del plátano. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Publicación CIAT*, 384.
- 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.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fidia G.
- Aristizábal, M. (2010). Efecto de la frecuencia de fertilización con nitrógeno y potasio sobre el crecimiento, producción y severidad de las Sigatocas del plátano (*Musa AAB*) Dominico Hartón. *Revista Agronomía*, 18(1), 19-28.
- Belalcázar-Carvajal, S. (2005). *El Cultivo Del Plátano En Altas Densidades De Siembra* (Programa de Plátano y Banano, Armenia, Quindío, Colombia 13). INSTITUTO COLOBIANO AGROPECUARIO, 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.
- Biju, S., Fuentes, S., & Gupta, D. (2018). The use of infrared thermal imaging as a non-destructive screening tool for identifying drought-tolerant lentil genotypes. *Plant physiology and biochemistry*, 127, 11-24.
- Blanco, F., & Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 21(1), 55-67.
- Blanco, F. A., & Salas, E. A. (1997). Micorrizas En La Agricultura: Contexto mundial E Investigación realizada En Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 55-67.
- Bravo, C., & Henry, C. (2015). *Integración de micorrizas y nutrición temprana con fósforo sobre el desarrollo, vigor y calidad de plántulas de banano (Musa AAA) en fase de aclimatación* [Tesis de Grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabí.
- Bravo-Cedeño, E. A. (2022). *Biorreguladores para la macro propagación de plantas de plátano de exportación, en condiciones de cámara térmica*. [Thesis, Universidad Laica

- Eloy Alfaro De Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5136>
- Castañeda, J. H. V., Sabaleta, E. L., Hernández, M. K. B., Meza, S. N. V., & Sánchez, L. M. Q. (2018). Comparación de sustratos en la propagación sexual y asexual del árbol de la quina (*Cinchona officinalis*). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(3), 77-85.
- Castaño, Á. M., Aristizábal, M., & González, H. (2012). REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL PLÁTANO DOMINICO- HARTÓN (*Musa AAB SIMMONDS*) EN LA REGIÓN SANTÁGUEDA (PALESTINA, CALDAS). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(2), 331-338.
- Cedeño-García, G., Guzmán Cedeño, Á., Zambrano Lucero, H., Vera Macías, L., Valdivieso López, C., & López Álava, G. (2020). Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 483-492.
- Cedeño-Zambrano, J. R., García-Párraga, J. V., Solórzano-Cobeña, C. M., Jiménez-Flores, L. A. J., Ulloa-Cortazar, S. M., López-Mejía, F. X., Avellán-Vásquez, L. E., Bracho-Bravo, B. Y., Sánchez-Urdaneta, A. B., Cedeño-Zambrano, J. R., García-Párraga, J. V., Solórzano-Cobeña, C. M., Jiménez-Flores, L. A. J., Ulloa-Cortazar, S. M., López-Mejía, F. X., Avellán-Vásquez, L. E., Bracho-Bravo, B. Y., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2022). FERTILIZACIÓN CON MAGNESIO EN PLÁTANO ‘BARRAGANETE’ (*MUSA AAB*) ECUADOR. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8-19. <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.01>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A., & Juárez-López, P. (2012). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.03>
- 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>
- Daza-Ponce, H. A. (2023). *Producción de hijuelos de banano variedad “moquicho” con y sin dominancia apical al cormo en tres sustratos, en camara térmica, Tingo María. 1*, 12-20.
- Díaz, A., Cortinas, H. M., Valadez, J., & Peña del Río, M. de los Á. (2014). Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 62, 56-68.
- Fonseca, E. L. V., Batista, R. M. G., Herrera, A. M., & Castro, A. R. S. (2019). Alternativas nutricionales eficientes en banano orgánico en la provincia El Oro, Ecuador. *Revista*

Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 2(1), Article 1.

- Fonseca, V. G., García, M. B., Avalos, D. M. R., & García-Águila, L. (2021). Utilización del Pectimorf® en el desarrollo de plantas in vitro procedentes de embriones somáticos cv. De banano 'FHIA 01' (*Musa* AAAB). *Biotecnología Vegetal*, 21(4), 220-228.
- Fuertes-Alcívar, A., Álvarez-Cedeño, J., López-Bózquez, J., & Pincay-Ronquillo, W. (2025). Dosis de bencil amino purina en la propagación vegetativa de dos variedades de plátano (*Musa* AAB Simmonds). *MQRInvestigar*, 9(1), e50-e50.
- García, G. A. C., Macías, L. V., Cedeño, S. del R. V., Álava, G. L., Chávez, J. C., & García, G. C. (2022). Macropropagación y calidad de plántulas de plátano (*Musa* AAB Simmonds) en función de sustratos y tamaño de brotes. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(2), 108-118.
- García, G. C., Villacorta, H. S., Chávez, J. C., & García, G. C. (2016). Potencial de enraizamiento en agua y vigor de plántulas de banano obtenidas en cámara térmica. *La Técnica*, 16, 6-15.
- 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.
- González, J. E., González, A. B., & García, G. C. (2022). Efectos del tamaño de corno y bencilaminopurina sobre la proliferación del plátano en dos ambientes de propagación. *Revista Ciencia y Agricultura*, 19(1), 45-60.
- 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=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Hernández, Y., Marín, M., & García, J. (2007). Respuesta en el rendimiento del plátano (*Musa* AAB cv. Hartón) en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. Parte I. Crecimiento y producción. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(4), 607-626.
- Hidalgo, M., Tapia, A., Rodríguez, W., & Serrano, E. (2006). Efecto de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del banano (*Musa* sp. AAA, cv. Valery). *Agronomía Costarricense*, 30(1), 35-41.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/

Am_2013.pdf.

- Jaizme-Vega, M., & Pinochet, J. (1997). *Growth response of banana to three mycorrhizal fungi in Pratylenchus goodeyi infested soil*.
- Levanon, S., Markovich, O., Gozlan, I., Bakhshian, O., Zvirin, A., Honen, Y., & Kimmel, R. (2020). *Abiotic stress prediction from rgb-t images of banana plantlets*. 279-295.
- 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.
- Mandeville, P. (2012). Diseños experimentales. *CIENCIA-UANL*, 15(57), 151-155.
- 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>
- 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.uleam.edu.ec/handle/123456789/4652>
- Molina, M., Mahecha, L., & Medina, M. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(2), 162-175.
- Moreno-Bermúdez, L. J., Reyes, M., Rodríguez, M., Kosky, R. G., Roque, B., & Chong-Pérez, B. (2017). Respuesta de cultivares de *Musa* spp. Al estrés hídrico in vitro inducido con polietilenglicol 6000. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIX(2), 75-85.
- Murillo, J. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Recuperado el*, 2.
- Nava-Luzardo, J. C., & Jaramillo Aguila, E. E. (2022). Biorreguladores del Crecimiento en la Reproducción de Plántulas de Banano (*Musa AAA*) en Cámara Térmica, Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 45(3).
- Quiceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *UGciencia*, 20(1), 48-54.
- Rengifo-Galeano, L. M., & Gómez Betancur, D. (2017). *Diseño de cámara térmica automatizada para la producción de Colino de plátano* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/9220>
- Sánchez-Urdaneta, A. B., Zambrano, J. R. C., Chica, S. T. E., Vasquez, L. E. A., Urdaneta, D. del C. S., & Batista, R. M. G. (2022). Emergencia y crecimiento inicial de hijos de plátano 'Barraganete' (*Musa aab*), en el Carmen, Ecuador. *Revista Científica*

Agroecosistemas, 10(1), 59-64.

- 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>
- Silva-Arero, E. A., Cardona, W. A., Bolaños-Benavides, M. M., & Morales-Osorno, H. (2022). Inyección de nutrientes: Una técnica eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo de plátano (*Musa* AAB. *Agronomía Mesoamericana*, 48192-48192.
- Sosa, L., & Nava, C. (1984). Efecto del material de propagación sobre la producción de plátano (*Musa* AAB, subgrupo plátano cv Harton) en el sur del lago de Maracaibo. *Fruits*, 39(2), 94-99.
- Sosa-Rodríguez, T., Sánchez, J., Melgarejo, L. M., & Muñoz, M. (2009). Efecto de la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre plántulas de caucho. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 31-46.
- Srivastava, N., Jerome, A., Srivastava, S. K., Ghosh, S. K., & Kumar, A. (2013). Bovine seminal PDC-109 protein: An overview of biochemical and functional properties. *Animal Reproduction Science*, 138(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.02.008>
- Usuga Osorio, C. E., Castañeda Sánchez, D. A., & Franco Molano, A. E. (2008). Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (HMA) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano)(*Musaceae*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4279-4290.
- Vantighem, M., Merckx, R., Stevens, B., Hood-Nowotny, R., Swennen, R., & Dercon, G. (2022). The potential of stable carbon isotope ratios and leaf temperature as proxies for drought stress in banana under field conditions. *Agricultural Water Management*, 260, 107247.
- 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%20y%20Comparaci%20de%20Metodolog%20ad as%20Multicriterio%20%28AHP%20y%20Fuzzy%20Logic%29%20en%20la%20Selecci%20....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wonglom, P., Ruangwong, O.-U., Poncheewin, W., Arikrit, S., Riangwong, K., & Sunpapao, A. (2024). Trichoderma-bioenriched vermicompost induces defense response and promotes plant growth in Thai rice variety “Chor Khing”. *Journal of Fungi*, 10(8), 582.

- Xiao, X., Liao, X., Yan, Q., Xie, Y., Chen, J., Liang, G., Chen, M., Xiao, S., Chen, Y., & Liu, J. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth, water status, and nutrient uptake of *Cinnamomum migao* and the soil nutrient stoichiometry under drought stress and recovery. *Journal of Fungi*, 9(3), 321.
- 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. Selección y preparación de colines de Musa AAB (cv. Barraganete)



Anexo 2. Procedimiento de enjuague de colinos con agua estéril tras desinfección con fungicida Vitavax®



Anexo 3. Llenado y organización de las 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	12,40

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
RPT	33,14	6	5,52	1,65	0,1781
TRT	29,83	4	7,46	2,22	0,0701
Error	80,57	24	3,36		
Total	143,54	34			

Anexo 7. 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	15,24

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
RPT	236,09	6	39,35	0,81	0,5738
TRT	111,2	4	27,8	0,57	0,0602
Error	1168,68	24	48,7		
Total	1515,97	34			

