

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**

HMA en asociación Plátano-Cacao

AUTOR: Cristhian David González Pinargote

TUTOR: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

El Carmen, agosto del 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 2
		Página II de 29

CERTIFICACIÓN

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

Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación/Examen Complexivo, bajo la autoría del/de la estudiante Cristhian David González Pinargote, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2026 (1), cumpliendo el total de 384 horas, bajo la opción de titulación de **HMA en asociación de plátano cacao**, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es "...".

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, 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, 03 de agosto del 2026

Lo certifico,



Mg. José Sifrido Vivas Cedeño
Docente Tutor(a)
Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:		CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A)		REVISIÓN: 1
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		Página iii de 57

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ EXTENSIÓN EN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

HMA en asociación Plátano-Cacao

AUTOR: Cristhian David González Pinargote

TUTOR: Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg

UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

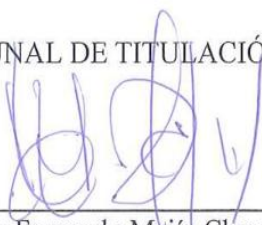
“HMA en asociación de plátano cacao”

AUTOR: Cristhian David González Pinargote

TUTOR: Jorge Sifrido Cedeño Vivas

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIA

TRIBUNAL DE TITULACIÓN



Mg. Kleber Fernando Mejía Chanaluiza
MIEMBRO



Mg. Nexar Vismaar Cobeña Loor
MIEMBRO



PhD. José Randy Cedeño Zambrano
MIEMBRO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Cristhian David González Pinargote** con cédula de ciudadanía **230068542-3**, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión el Carmen, de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autor a tesis titulado **(HMA) en asociación de plátano y cacao**, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total en su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autor están debidamente citados y referenciados.



Cristhian David González Pinargote

AUTOR

«La fortuna favorece a los valientes».
— *Virgilio*

DEDICATORIA

A mis queridos padres

Con profunda gratitud, dedico este logro académico a ustedes, quienes, mediante su esfuerzo incansable, apoyo incondicional y sacrificio constante, hicieron posible que alcanzara esta importante meta. Gracias por ser el pilar fundamental de mi vida y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del trabajo honesto, la perseverancia, la responsabilidad y la humildad. Cada paso alcanzado lleva consigo sus enseñanzas y el amor que siempre me han brindado.

Cristhian David González Pinargote

«El mérito pertenece al hombre que está realmente en la arena y se esfuerza valientemente».

— Theodore Roosevelt

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al **Ing. Jorge Sifrido Vivas Cedeño, Mg.**, por haberme acompañado durante el proceso de titulación con responsabilidad, paciencia y dedicación. Su orientación profesional, sus conocimientos y sus valiosas recomendaciones fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación. Mi gratitud por la confianza depositada en mí y por contribuir significativamente a mi formación académica y profesional.

A mis padres y a toda mi familia, por ser el soporte principal de mi vida. Gracias por sus sacrificios, consejos, comprensión y apoyo incondicional durante cada etapa de mi preparación universitaria. Sus palabras de ánimo me impulsaron a continuar cuando el camino se tornó difícil y me enseñaron que las grandes metas se alcanzan mediante el trabajo, la constancia y la humildad.

Cristhian David González Pinargote

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO I.....	6
MARCO TEÓRICO	6
1.1 Micorrizas y su importancia en el cultivo de cacao.....	6
1.2 Desarrollo micelial	7
1.3 Clasificación y características de las micorrizas	7
1.4 Producción del inóculo micorrízico y selección del sustrato	8
1.5 Establecimiento y evaluación de la simbiosis micorrízica	9
1.6 Generalidades del cacao	10
1.7 Características botánicas y morfológicas del cacao	11
1.8 Cacao Clon CCN-51	12
1.9 Morfología del fruto y etapas fisiológicas del cacao	13
CAPÍTULO II.....	15
TRABAJOS RELACIONADOS.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Ubicación del ensayo.....	17
3.2 Caracterización agroecológica de la zona	17
3.3 Métodos	18
3.3.1 Método empírico	18
3.3.2 Método experimental.....	18

3.3.3	Método bibliográfico	18
3.3.4	Método observacional	19
3.4	Unidad experimental y número de plantas	19
3.5	Diseño de la Investigación.....	20
3.6	Análisis estadístico	20
3.7	Variables de interés	21
3.7.1	Variable independiente	21
3.7.2	Variables dependientes	21
3.8	Tratamiento de los datos.....	22
3.9	Aplicación de los tratamientos en cacao.....	23
3.10	Manejo del experimento	23
3.10.1	Aplicación de los tratamientos	23
3.10.2	Manejo agronómico.....	24
3.10.3	Seguimiento de las plantas	24
3.10.4	Control de la variación experimental.....	25
3.11	Materiales utilizados.....	25
3.11.1	Material vegetal	25
3.11.2	Insumos experimentales	25
3.11.3	Materiales de medición.....	26
3.11.4	Materiales para la aplicación de los tratamientos	26
3.11.5	Materiales para identificación y registro	26
3.11.6	Herramientas para el manejo agronómico	27
3.11.7	Equipos para el procesamiento de datos.....	27
CAPÍTULO IV		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
4.1	Altura de la planta	28
4.2	Número de flores por planta	28
4.3	Número promedio de mazorcas	29

CAPÍTULO IV	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS	XXXV
ANEXOS.....	XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas	7
Tabla 2. Clasificación sistemática del cacao	11
Tabla 3. Características climatológicas de la localidad	17
Tabla 4. <i>Distribución de las plantas de cacao y tamaño de la muestra en el ensayo</i>	19
Tabla 5. Esquema del análisis de varianza para el diseño de bloques completamente al azar	21
Tabla 6. <i>Operacionalización de las variables evaluadas en las plantas de cacao</i>	22
Tabla 7. <i>Altura promedio final de las plantas de cacao según los tratamientos evaluados</i> ...	28
Tabla 8. <i>Número promedio de flores por planta de cacao según los tratamientos evaluados</i>	28
Tabla 9. <i>Número promedio de mazorcas por planta de cacao según los tratamientos evaluados</i>	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras	6
Figura 2. Colonización de la raíz y desarrollo del micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares	9
Figura 3. Características externas de una mazorca madura de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	11
Figura 4. <i>Principales etapas fisiológicas del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)</i>	14
Figura 5. Localización geográfica del área de estudio	17
Figura 6. Croquis de campo y distribución de los tratamientos en el ensayo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) asociado con plátano (<i>Musa AAB</i>).....	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	<i>Esquema del análisis de la varianza de la variable número de mazorcas</i>	XXXV
Anexo 2.	<i>Esquema del análisis de la varianza de la variable número de flores</i>	XXXV

RESUMEN

La investigación evaluó el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el desarrollo agronómico del cacao establecido en asociación con plátano en la Granja Experimental Río Suma. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, para un total de 25 plantas de cacao evaluadas. Los tratamientos fueron: fertilizante NPK 15-15-15 (T1), HMA más fosfato diamónico (T2), HMA (T3), HMA más biochar (T4) y biol (T5). Se registraron la altura de la planta, el número de flores y el número de mazorcas. Los datos se sometieron a análisis de varianza y a la prueba de Tukey al 5 %. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,0001$). T4 presentó los mayores promedios: 181,00 cm de altura, 60 flores y 9,00 mazorcas por planta. T2 ocupó el segundo lugar, con 175,20 cm, 50 flores y 7,20 mazorcas; mientras que T5 registró los valores más bajos, con 166,00 cm, 36 flores y 4,00 mazorcas. Se concluye que la combinación de 200 g de inóculo de HMA y 100 g de biochar por planta favoreció el comportamiento agronómico del cacao durante el periodo evaluado. Debido a que el plátano se mantuvo únicamente como cultivo asociado y no recibió tratamientos diferenciales, los resultados corresponden específicamente a las plantas de cacao.

Palabras clave: *biochar, cacao, hongos micorrízicos arbusculares, nutrición vegetal, Theobroma cacao.*

ABSTRACT

This study evaluated the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the agronomic development of cacao grown in association with plantain at the Río Suma Experimental Farm. A randomized complete block design with five treatments and five replicates was used, for a total of 25 cacao plants. The treatments were NPK 15-15-15 fertilizer (T1), AMF plus diammonium phosphate (T2), AMF alone (T3), AMF plus biochar (T4), and biol (T5). Plant height, number of flowers, and number of pods were recorded. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test at the 5% level. Highly significant differences were found among treatments ($p < 0.0001$). T4 produced the highest means: 181.00 cm in height, 60 flowers, and 9.00 pods per plant. T2 ranked second, with 175.20 cm, 50 flowers, and 7.20 pods, whereas T5 recorded the lowest values, with 166.00 cm, 36 flowers, and 4.00 pods. It is concluded that the combination of 200 g of AMF inoculum and 100 g of biochar per plant improved cacao agronomic performance during the evaluation period. Because plantain was maintained only as an associated crop and did not receive differential treatments, the reported results specifically describe the response of cacao plants.

Keywords: *agronomic performance, arbuscular mycorrhizal fungi, biochar, cacao, plant nutrition.*

INTRODUCCIÓN

Moreno-Bermúdez et al. (2017), indican que los sistemas agroforestales formado por cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa* spp.) constituyen una opción de producción diversificada en las zonas tropicales. En primer lugar, la combinación de los dos cultivos hace uso de los distintos estratos dentro de la plantación, distribuye la producción durante el año, y da sombra temporal al cacao en las primeras fases de su desarrollo (Aggangan et al., 2019). Además, una buena organización espacial puede reducir la competencia entre las especies y potenciar la captación de energía solar, agua y los nutrientes que se encuentran en el suelo

Pacheco-Flores de Valgaz et al. (2022) fue que los hongos micorrícicos arbusculares son miembros de las comunidades microbianas asociadas a las raíces y el suelo en plantaciones de cacao. Mientras, en este caso, estos organismos se encuentran mutuamente dependientes en una asociación simbiótica en que la planta suministra compuestos carbonados al hongo, que en retorno se extiende a través de hifas la red que aumenta el volumen del suelo ocupado por el sistema radicular, o sistema radical (Salazar-Díaz & Tixier, 2021). De forma similar, esta asociación también puede facilitar la absorción de fósforo, agua u otros nutrientes esencialmente inmóviles, especialmente durante los estadios iniciales del desarrollo de la planta.

Luis-Alaya et al. (2023) también reportaron que las plantas de banano inoculadas con HMA tuvieron una mayor biomasa aérea y radicular, y mayor contenido de fósforo que las plantas sin inocular. En consecuencia, el empleo de estos microorganismos podría complementar el manejo nutricional del banano, y ayudar a la planta a establecerse con mayor potencial para remediar recursos del suelo. Sin embargo, la respuesta de la planta puede diferir en función de las propiedades del suelo, de las condiciones ambientales, de las prácticas agrícolas y de la presencia de comunidades micorrízicas endémicas (Yano-Melo et al., 2003).

Rincón et al. (2021) observaron la presencia de hongos micorrícicos arbusculares en raíces de plantas de banano crecidas en distintos tipos de suelo, si bien los grados de colonización, concentración y diversidad de estos organismos fúngicos radiculares fue distinta entre las regiones muestreadas. A su vez, la precipitación, textura del suelo, contenido de fósforo y las condiciones de labranza son factores que podrían alterar la formación de esta simbiosis. En tal sentido, el análisis de HMA bajo condiciones locales es fundamental para definir los inoculantes más idóneos para el ambiente productivo y para evitar la extensión de

recomendaciones que en su momento no considere las especificidades propias del sistema agrícola.

Moreno-Bermúdez et al. (2017) encontraron que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares aumentó varios parámetros de crecimiento de las plantas de cacao creciendo en suelos ácidos. Por lo tanto, estos microorganismos tienen potencial para ser considerados como bioinoculantes en estrategias de manejo que busquen aumentar la eficiencia de nutrición vegetal y mejorar la vida biológica del suelo. Sin embargo, su eficiencia debe ser determinada experimentalmente ya que puede variar con el tipo de inóculo, la fertilidad inicial, las condiciones del sustrato y las interacciones con otros elementos utilizados para manejar la semilla (Meza, 2023).

Moreno-Bermúdez et al. (2017). señalan que el rendimiento de cacao y plátano en sistemas asociados está condicionado por las interacciones planta-planta, distribución espacial y condiciones de manejo. En consecuencia, la investigación actual se enfoca en determinar el impacto de los hongos micorrízicos arbusculares en la asociación plátano-cacao, teniendo en cuenta sus repercusiones en el establecimiento y comportamiento de las plantas (Camacho-Vera, 2025). Los resultados contribuirán a la generación de información técnica en cuanto al uso de bioinoculantes y al desarrollo de sistemas agrícolas que integran la nutrición vegetal con los procesos biológicos del suelo y la sostenibilidad de sistemas productivos tropicales.

Los cultivos pertenecientes al género *Musa*, entre ellos el plátano y el banano, desempeñan un papel fundamental en las regiones tropicales y subtropicales debido a su importancia económica, alimentaria y social. Además de constituir una fuente básica de carbohidratos para numerosas poblaciones, su producción genera empleo e ingresos para pequeños y medianos agricultores. Moreno-Bermúdez et al. (2017) señalan que estas especies poseen una amplia relevancia productiva; asimismo, de acuerdo con FAOSTAT (2017), durante 2016 la producción mundial de *Musa* spp. superó los 148 millones de toneladas.

Sin embargo, el desarrollo y la productividad de estos cultivos pueden verse afectados por la disponibilidad limitada de agua, especialmente durante las primeras etapas de crecimiento. El déficit hídrico altera procesos fisiológicos como la apertura estomática, la transpiración, la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, lo que puede reflejarse en cambios en la temperatura foliar y en una reducción del crecimiento vegetal (Cedeño-García et al., 2020). Por esta razón, resulta necesario disponer de herramientas que permitan identificar tempranamente las respuestas de las plantas ante condiciones de omisión hídrica.

Aunque existen avances en la selección de genotipos más tolerantes y en la incorporación de microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos 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).

La limitada disponibilidad de fósforo en los suelos tropicales, el uso insuficiente de alternativas biológicas y el manejo inadecuado de la fertilización pueden restringir el establecimiento y desarrollo de los cultivos asociados de plátano y cacao. Además, las condiciones edáficas, la escasa actividad microbiana y la baja eficiencia del sistema radical dificultan la absorción de agua y nutrientes esenciales (Cedeño-García et al., 2020). En esta línea, el no aplicar y evaluar los hongos micorrízicos arbusculares disminuye que se aproveche su potencial para expandir el volumen de suelo explorado por las raíces y beneficiar a la nutrición vegetal.

Como consecuencia, las plantas pueden presentar menor crecimiento, desarrollo radical limitado, deficiencias nutricionales y baja capacidad de adaptación frente a condiciones ambientales adversas. Esta situación podría afectar el establecimiento inicial, la producción de biomasa y el comportamiento agronómico del sistema asociado, incrementando también la dependencia de fertilizantes convencionales. Por ello, es necesario determinar si la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares constituye una alternativa efectiva para mejorar la respuesta de ambos cultivos bajo las condiciones del área de estudio.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto de la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares sobre el crecimiento y comportamiento agronómico de la asociación de plátano y cacao en las condiciones del área de estudio?

JUSTIFICACIÓN

Usuga-Osorio et al. (2008), señalan que las especies de género Musa son susceptibles a la reducción en la disponibilidad de agua, lo que puede comprometer su desarrollo y fisiología, Por otro lado, es preciso analizar las plántulas de Musa AAB bajo omisión hídrica para detectar las distorsiones generadas en las etapas iniciales de crecimiento y definir parámetros técnicos que permitan manejar el cultivo frente a la sequía.

Meza (2023) expresan que las raíces se asocian simbióticamente con los hongos micorrízicos arbusculares y tienen su capacidad de exploración aumentada por un sistema de hifas. Esa asociación microbiana puede favorecer la captación de agua y minerales, mantener estomas activos y asistir al huésped vegetal en su adaptación a condiciones ambientales adversas. Sin embargo, la respuesta obtenida puede ser influenciada por tipo de inoculo, características propias de planta, sustrato y grado de estrés hídrico aplicado.

Caldas-Jaramillo, (2025) afirmó que la termografía infrarroja es aplicable para estimar las alteraciones inducidas en la conductancia estomática a partir de la temperatura superficial de las hojas. Realiza mediciones rápidas, no destructivas y por lo tanto continúa siendo posible el monitoreo de la planta durante su crecimiento. En el caso del plátano, debemos considerar que se pueden utilizar indicadores térmicos para separar plantas con riego normal de plantas bajo estrés hídrico, lo que apoya su uso en el análisis de la condición fisiológica del cultivo

Díaz et al. (2014) Sin embargo, la información sobre las propiedades térmicas de las plántulas de plátano AAB micorrizadas y no micorrizadas durante el estrés por sequía en el campo local aún es escasa. En este sentido se pretende determinar, con el trabajo, si la inoculación con HMA afecta en la respuesta de las plantas a la suspensión del riego y para desarrollar una metodología para la toma y análisis de imágenes térmicas en La Granja Experimental Río Suma. Los resultados servirán de base científica para una mejor comprensión en estudios posteriores y para diseñar prácticas agronómicas que permitan mejorar la adaptación del cultivo a la reducción en la disponibilidad hídrica.

No obstante, sigue siendo limitada la información referente a las propiedades térmicas del comportamiento de plántulas de Musa AAB con y sin inoculación de micorrizas bajo estrés por falta de agua en condiciones de campo local. En este sentido, el trabajo servirá para determinar si la inoculación con HMA influye en la respuesta de las plantas a la suspensión del riego y para establecer un método de captura y análisis de imágenes térmicas en La Granja Experimental Río Suma. Los resultados serán una base científica para investigaciones futuras

y para diseñar prácticas agronómicas que permitan mejorar la adaptación del cultivo a la disminución en la disponibilidad de agua.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares sobre el desarrollo agronómico de la asociación de plátano y cacao en la Granja Experimental Río Suma.

Objetivos específicos

- Comparar el crecimiento de las plantas inoculadas y no inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares.
- Analizar la respuesta nutricional de ambos cultivos ante la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

- La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares no produce diferencias significativas en el desarrollo agronómico de la asociación de plátano y cacao en la Granja Experimental Río Suma.

Hipótesis alternativa

- La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares produce diferencias significativas en el desarrollo agronómico de la asociación de plátano y cacao en la Granja Experimental Río Suma.

CAPÍTULO I

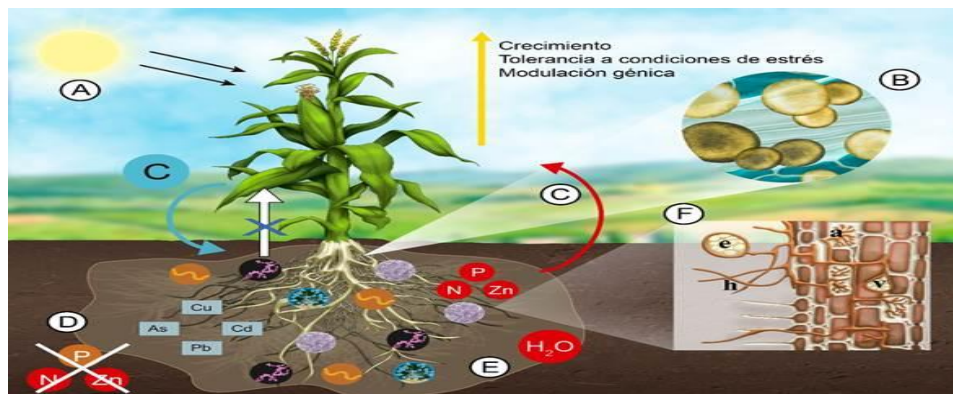
MARCO TEÓRICO

1.1 Micorrizas y su importancia en el cultivo de cacao

Abud et al. (2008) describe las micorrizas como una interacción simbiótica entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas. Proviene de las raíces griegas mykes, que significa hongo y rhiza, que significa raíz. En esta relación el hongo obtiene de la planta un carbono elaborado por fotosíntesis, el cuál es posteriormente transformado por el hongo, mientras que sus hifas se extienden más lejos de donde inicialmente contactan las raíces y ayudan a obtener agua y nutrientes minerales (Usuga Osorio et al., 2008). Aunque esta interacción habitualmente es beneficiosa para ambos organismos, el efecto puede ser variable dependiendo de la especie vegetal, el hongo, la fertilidad del suelo y los factores ambientales. Estructuralmente y funcionalmente las micorrizas no se limitan sólo a los tipos de arbuscos y endomicorrizas (L. I. C. Bernal & Melgarejo, 2017).

La taxonomía actual establece cuatro tipos básicos: ectomicorrizas, micorrizas arbusculares (AM), ericoides y orquidoides. Las ectomicorrizas se extienden en torno a la raíz formando un recubrimiento y penetran en el tejido radicular desarrollando una red de Hartig entre la piel y la corteza sin incursionar en las células corticales. Mientras, las micorrizas arbusculares son una de las asociaciones hongo-planta más comunes entre las plantas terrestres. Su micelio externo, es decir el extensor en el suelo, también crece y examina el suelo en busca de nutrientes, generalmente de fósforo pero además puede realizar la captación de nitrógeno, zinc, cobre y más elementos minerales (Carrillo-Salcedo., et al 2022). Esta función es especialmente importante para ser aplicada a sistemas de agricultura tropical en donde las deficiencias de fósforo son comunes.

Figura 1. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras



Fuente: tomado de Usuga Osorio et al (2008).

1.2 Desarrollo micelial

El micelio de los hongos micorrízicos arbusculares extiende una red de hifas que se extiende desde la raíz más allá en el perfil del suelo, aumentando la superficie de exploración y promoviendo la vinculación funcional entre la planta y el suelo edáfico (Molina et al., 2005). Además, las hifas ayudan a tejer juntas las partículas del suelo, y tienen un papel en la formación y la estabilidad de los agregados que podría afectar a la estructura, el aire y la retención de humedad (Sosa-Rodríguez et al., 2009). A nivel experimental, se ha demostrado que los agregados son más estables en suelos con actividad micorrízica, en función de la longitud y densidad de micelio externo (Molina et al., 2005).

Bravo & Henry (2015) cuentan que las plantas colonizadas por hongos micorrízicos arbusculares pueden exhibir una mayor capacidad de adaptación a ambientes hostiles como resultado de la mejora de la captación de agua y nutrientes, el control del intercambio gaseoso y la inducción de mecanismos antioxidantes. Adicionalmente, la asociación micorrízica puede desencadenar respuestas defensivas que permitan a la planta estar lista para determinados patógenos; no obstante, este beneficio es específico para la especie, hongo, el tipo de suelo y el estrés del ambiente (Molina et al., 2005).

1.3 Clasificación y características de las micorrizas

Las micorrizas presentan diferencias estructurales, funcionales y ecológicas que permiten clasificarlas en distintos grupos. Entre las formas más representativas se encuentran las endomicorrizas y las ectomicorrizas, cuya distinción se basa principalmente en la ubicación del micelio, el grado de penetración en los tejidos radicales, la formación de estructuras externas y el tipo de planta hospedera (L. I. C. Bernal & Melgarejo, 2017). Estas características determinan la manera en que cada asociación participa en la absorción de nutrientes, la adaptación de las plantas y el funcionamiento del suelo. La Tabla 1 resume las principales diferencias entre ambos tipos de micorrizas.

Tabla 1. Características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas

Característica	Endomicorrizas	Ectomicorrizas
Grupo fúngico predominante	Principalmente hongos del filo <i>Glomeromycota</i>	Principalmente hongos de los filos <i>Basidiomycota</i> y <i>Ascomycota</i>
Ubicación del micelio	Se desarrolla tanto entre las células como en el interior de las células corticales de la raíz	Se distribuye entre las células de la raíz, sin penetrar en las células corticales

Formación de manto fúngico	No forman un manto visible alrededor de la raíz	Forman una cubierta o manto de hifas alrededor de las raíces
Tipo de reproducción	Predomina la reproducción asexual mediante esporas resistentes	Pueden presentar reproducción sexual y asexual
Especificidad con la planta hospedera	Generalmente baja, debido a que pueden asociarse con numerosas especies vegetales	Suele ser mayor y depende de la compatibilidad entre el hongo y la especie hospedera
Hospederos frecuentes	Se encuentran en árboles, arbustos, cultivos agrícolas y plantas herbáceas	Se asocian principalmente con especies forestales y árboles leñosos
Distribución ecológica	Son comunes en ecosistemas tropicales y en suelos con baja disponibilidad de nutrientes	Predominan en bosques templados y en suelos con mayor acumulación de materia orgánica

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

1.4 Producción del inóculo micorrízico y selección del sustrato

Los hongos micorrízicos arbusculares necesitan establecer contacto con raíces vivas para completar su desarrollo, debido a que son simbioses obligados. Por esta razón, su multiplicación suele realizarse mediante plantas hospederas cultivadas en medios que permiten la formación de hifas, esporas y fragmentos radicales colonizados (Abud et al., 2008; Usuga Osorio et al., 2008). Para este propósito pueden emplearse mezclas de suelo, arena, compost, turba, perlita o vermiculita, cuya proporción debe ajustarse según la especie vegetal utilizada y las condiciones de propagación del inóculo (Cruz-Crespo et al., 2012).

La elección del sustrato debe considerar su porosidad, capacidad de retención de humedad, drenaje, estabilidad física y ausencia de organismos contaminantes (Sánchez et al., 2016). Un medio excesivamente compacto limita la aireación de las raíces, mientras que uno con poca retención de agua puede afectar la supervivencia de la planta hospedera y el crecimiento del micelio. Los materiales como la perlita, la vermiculita y la turba han sido evaluados como componentes de medios para la producción de inóculos, aunque su efectividad depende de la combinación utilizada y del manejo de la humedad (Cruz-Crespo et al., 2012).

La disponibilidad de nutrientes también influye en el establecimiento de la simbiosis. En particular, una elevada concentración de fósforo puede reducir la colonización radical, debido a que la planta disminuye su dependencia del mecanismo micorrízico cuando puede obtener este elemento directamente del suelo (Blancof & Salas, 1997). Sin embargo, no existe

una concentración universal de fósforo o nitrógeno aplicable a todas las especies, puesto que la respuesta cambia según la planta hospedera, el hongo, el tipo de sustrato y las condiciones experimentales. Por ello, no es recomendable afirmar que 70 µg/g de fósforo y 50 µg/g de nitrógeno constituyen valores ideales para todos los sistemas de producción micorrízica (García et al., 2022).

1.5 Establecimiento y evaluación de la simbiosis micorrízica

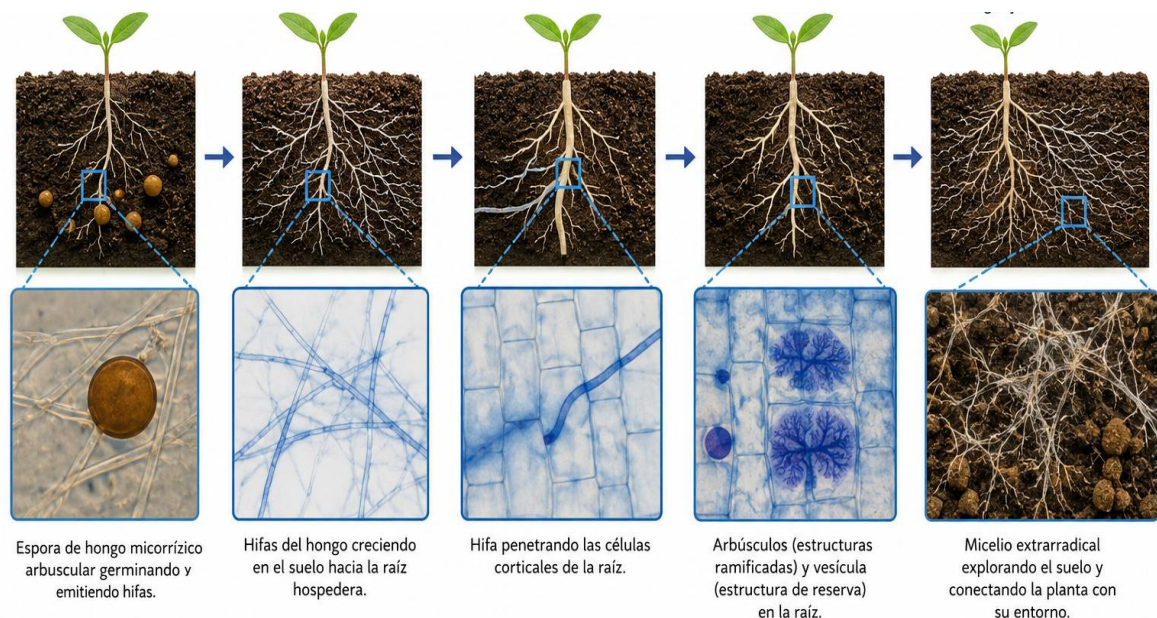
El establecimiento de la asociación micorrízica comienza cuando los propágulos viables del hongo entran en contacto con las raíces de una planta susceptible. Posteriormente, las hifas penetran en la corteza radical y forman estructuras especializadas, principalmente arbuscúlos, donde se produce el intercambio de nutrientes y compuestos carbonados entre ambos organismos (Cruz-Crespo et al., 2012). La velocidad y magnitud de este proceso no son constantes, ya que dependen de la especie de hongo, la compatibilidad con la planta, la fertilidad del suelo, la humedad, la temperatura y las prácticas agronómicas aplicadas (Bernal et al., 2022).

La evaluación del desarrollo micorrízico no debe basarse únicamente en el tiempo transcurrido desde la inoculación. Para comprobar la presencia del hongo se recolectan raíces finas, las cuales son aclaradas y teñidas con el propósito de observar al microscopio estructuras como hifas, arbuscúlos y vesículas. Este procedimiento permite diferenciar una raíz realmente colonizada de otra que únicamente estuvo en contacto con el inóculo (Sánchez et al., 2016).

El nivel de asociación puede presentarse como un porcentaje de colonización de raíces. Una de las técnicas más usadas es colocar los segmentos de raíces teñidos sobre una cuadrícula y anotar la presencia o ausencia de estructuras fúngicas en cada punto de intersección. La proporción de puntos colonizados con respecto al número total de puntos le da un valor cuantitativo del desarrollo del hongo en el sistema radical (Camacho-Vera, 2025).

En el cultivo de cacao, esta valoración resulta útil para determinar si los tratamientos con HMA consiguieron colonizar las raíces y si dicha colonización se relacionó con la emisión de brotes, flores y mazorcas. No obstante, una mayor colonización no implica automáticamente un mayor crecimiento vegetal, por lo que sus resultados deben analizarse junto con las variables agronómicas, las condiciones del suelo y el manejo aplicado.

Figura 2. *Colonización de la raíz y desarrollo del micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares*



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

1.6 Generalidades del cacao

Huamaní-Yupanqui et al. (2012) señalan que el cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie originaria de las regiones tropicales húmedas de América del Sur, especialmente de la cuenca amazónica, donde las condiciones de temperatura, precipitación y humedad favorecieron su desarrollo. Debido a sus propiedades alimenticias y a su valor cultural, el cacao fue aprovechado por diferentes pueblos ancestrales como fuente de energía, producto de intercambio y componente de ceremonias tradicionales (Gómez & Albeiro, 2022).

El nombre del género *Theobroma* procede del griego y puede traducirse como “alimento de los dioses”, expresión que refleja la importancia atribuida al cacao por las civilizaciones precolombinas. Aunque durante mucho tiempo se consideró que su domesticación se había originado exclusivamente en Mesoamérica, los estudios sobre su diversidad genética han permitido reconocer al alto Amazonas, particularmente a territorios de Ecuador, Perú y Colombia, como una región fundamental para el origen y diversificación de la especie (López & Gil Rivero, 2017).

Andrade-Almeida et al. (2019), mencionan que la pulpa mucilaginoso del fruto fue utilizada para elaborar bebidas refrescantes y preparaciones fermentadas destinadas a celebraciones comunitarias. Asimismo, las semillas adquirieron un elevado valor comercial y llegaron a emplearse como medio de intercambio en distintas rutas comerciales. Estos usos fortalecieron la presencia del cacao en las actividades económicas, sociales y religiosas de las poblaciones indígenas de las regiones andina y amazónica (López & Gil Rivero, 2017).

Figura 3. *Características externas de una mazorca madura de cacao (Theobroma cacao L.)*



1.7 Características botánicas y morfológicas del cacao

Barazarte et al., (2008) ubican al cacao dentro del género *Theobroma* y la familia *Malvaceae*, la cual comprende diferentes especies de interés agrícola y forestal. Dentro de este grupo, *Theobroma cacao* L. destaca por su importancia económica y por el uso de sus semillas como materia prima para la industria alimentaria. No obstante, la clasificación de los materiales cultivados puede resultar compleja debido a la amplia variabilidad genética y a las diferencias observadas en sus estructuras vegetativas y reproductivas (Gómez & Albeiro, 2022).

López & Gil-Rivero, (2017) describen al cacao como una especie perenne de porte arbóreo que puede alcanzar alturas cercanas a 20 m cuando crece de manera natural o bajo sombra abundante. Sin embargo, en los sistemas de producción comercial su altura suele mantenerse entre 5 y 8 m mediante prácticas de poda y manejo de la copa. Sus hojas son simples, alternas y de borde entero; durante las primeras etapas de desarrollo pueden presentar tonalidades rojizas, moradas o verde claro, las cuales cambian progresivamente hasta adquirir una coloración verde más intensa (Gómez & Albeiro, 2022).

Quiñonez-Cedeño (2024) indican que las flores del cacao son pequeñas, hermafroditas y se originan directamente en el tronco y en las ramas principales, característica conocida como cauliflora. Los frutos, denominados mazorcas, presentan variaciones en forma, tamaño, textura y color según el material genético. En su interior contienen una pulpa mucilaginosa que recubre generalmente entre 20 y 40 semillas de forma ovalada o aplanada, mientras que la longitud de la mazorca puede aproximarse a 30 cm.

Tabla 2. *Clasificación sistemática del cacao*

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Espermatophyta
Clase	Angiospermae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i>

Fuente: Tomado de Quiñonez-Cedeño,(2024).

1.8 Cacao Clon CCN-51

Arias et al. (2022) reportan que el CCN-51 (Colección Castro Naranjal 51) fue originado en Ecuador por el ingeniero agrónomo Homero Castro Zurita a través de un proceso de selección y mejoramiento en el cantón Naranjal, provincia del Guayas. El nombre del material hace referencia al nombre del cultivador, al lugar donde se originó y al número en el rang de selección. Se reproduce por vía vegetativa, sobre todo por injerto, con la finalidad de mantener las características genotípicas del material elegido (Rosas-Patiño et al., 2025).

Los estudios genéticos han demostrado que la base del CCN-51 era principalmente a partir de los materiales IMC-67 e ICS-95. Se habló tradicionalmente de un material llamado "Canelo" también incluido en su genealogía; no obstante, los estudios moleculares confirmaron una aporta caracterizada por los grupos genéticos Iquitos, Criollo y Amelonado (Anecacao, 2018). En consecuencia, el CCN-51 debe ser considerado como un producto de ingeniería genética de materiales complejos y no sólo como un simple cruce entre cacao Criollo y Forastero (Puentes-Páramo et al., 2014).

Este clon se ha difundido ampliamente en Ecuador y otros países productores por su precocidad, adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, elevada capacidad productiva y menor susceptibilidad a determinadas enfermedades en comparación con algunos materiales tradicionales (Puentes-Páramo et al., 2014). No obstante, su comportamiento depende del manejo agronómico, la fertilidad del suelo, las condiciones climáticas y la presión de los patógenos; por tanto, no resulta correcto considerarlo resistente a todas las enfermedades que afectan al cacao (López & Gil-Rivero, 2017).

En cuanto a la calidad, las almendras del CCN-51 presentan características físicas, químicas y sensoriales diferentes a las del cacao Nacional fino de aroma. Generalmente, el CCN-51 muestra una mayor intensidad de acidez, amargor y astringencia cuando el beneficio

poscosecha es inadecuado (Rosas-Patiño et al., 2025). Sin embargo, la fermentación, el presecado y el secado controlado pueden favorecer la formación de un perfil sensorial más equilibrado. Por esta razón, los materiales CCN-51 y Nacional deben cosecharse, fermentarse y almacenarse por separado para conservar su identidad y evitar mezclas que alteren la calidad comercial de los lotes (Álvarez et al., 2002).

En la presente investigación, el clon CCN-51 constituye el material vegetal de interés debido a que la plantación tenía más de 18 meses de establecimiento y se encontraba en la transición entre el crecimiento vegetativo y el inicio de la fase reproductiva. En consecuencia, el conteo de brotes, flores y mazorcas permite valorar la respuesta inicial de las plantas frente a la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares y los demás tratamientos agronómicos considerados (Álvarez et al., 2002)..

1.9 Morfología del fruto y etapas fisiológicas del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) atraviesa una secuencia de cambios morfológicos y fisiológicos desde la germinación de la semilla hasta la maduración de las mazorcas. El reconocimiento de estas etapas facilita la planificación de las prácticas agronómicas, debido a que las necesidades de agua, nutrientes, sombra y manejo fitosanitario varían según el estado de desarrollo de la planta. Las imágenes siguientes permiten observar la forma externa de una mazorca completa y la evolución del cultivo durante sus principales fases (Torres et al., 2016)..

La primera etapa corresponde a la germinación, proceso que comienza cuando la semilla absorbe agua y activa su metabolismo. Posteriormente, la cubierta seminal se abre y emerge la radícula, la cual dará origen al sistema radical. A continuación, durante la fase de plántula, se desarrollan el tallo inicial, las primeras hojas verdaderas y las raíces secundarias. En este periodo, la planta es especialmente sensible a las variaciones de humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes (Álvarez et al., 2002)..

Durante el crecimiento vegetativo, el cacao incrementa su altura, diámetro del tallo, número de hojas y ramificaciones. En esta etapa se consolida la estructura de la copa y se forman nuevos brotes, cuya cantidad puede emplearse como indicador del vigor de la planta. El crecimiento vegetativo está condicionado por el material genético, la fertilidad del suelo, la disponibilidad hídrica, el nivel de sombra y las prácticas de manejo implementadas.

La floración comienza con la formación de cojines florales sobre el tronco y las ramas principales, característica conocida como cauliflora (García & Moreta, 2013). Las flores del

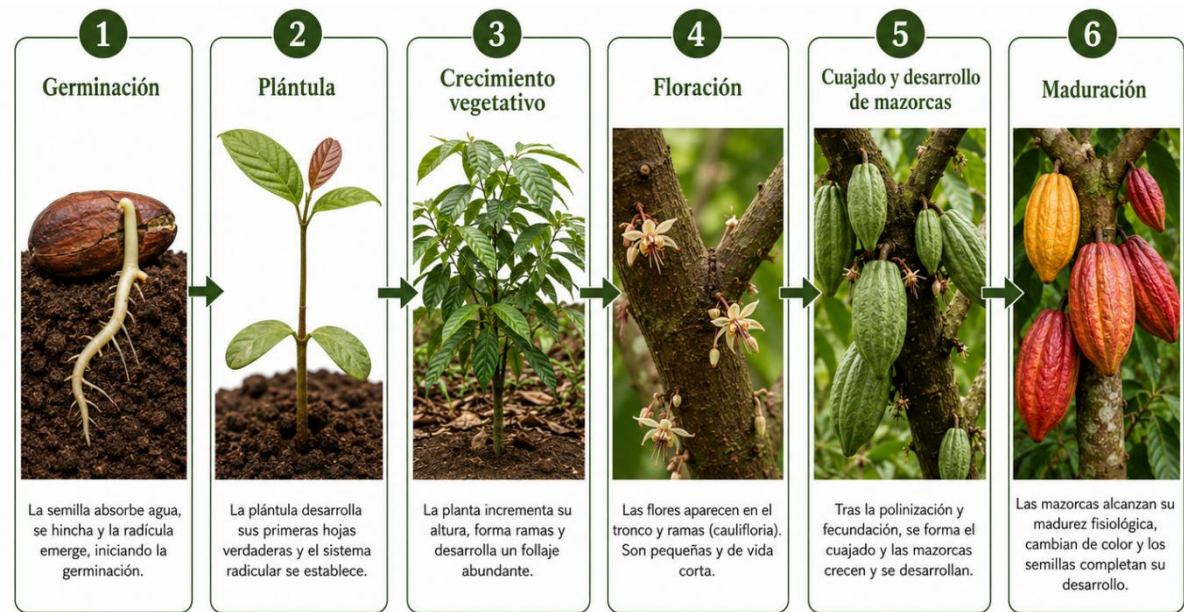
cacao son pequeñas, hermafroditas y de corta duración. No todas las flores llegan a ser polinizadas ni forman frutos, debido a que el éxito reproductivo depende de la actividad de los insectos polinizadores, las condiciones ambientales y el estado fisiológico de la planta (Tamayo-Ramírez et al., 2022).

Después de la polinización y fecundación se inicia el cuajado y desarrollo de las mazorcas. En esta fase, los frutos jóvenes aumentan progresivamente de tamaño y acumulan los compuestos necesarios para la formación de las semillas (Quiñonez-Cedeño, 2024). Sin embargo, algunas mazorcas pueden detener su crecimiento o marchitarse como resultado de procesos fisiológicos naturales, limitaciones nutricionales, enfermedades o condiciones ambientales desfavorables (Suárez et al., 2025).

Finalmente, durante la maduración, las mazorcas alcanzan su tamaño definitivo y presentan cambios de coloración que dependen del clon o variedad. En el interior, las semillas completan su desarrollo y permanecen rodeadas por una pulpa mucilaginosa (Gómez & Albeiro, 2022). La identificación adecuada de esta etapa permite determinar el momento oportuno de la cosecha, evitando recolectar frutos inmaduros o excesivamente maduros. La duración de cada fase puede variar según el genotipo, las condiciones climáticas y el manejo agronómico aplicado (Suárez et al., 2025).

Figura 4. Principales etapas fisiológicas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Fuente: Elaboración propia mediante representación gráfica.



Nota. Elaboración propia del autor

CAPÍTULO II

TRABAJOS RELACIONADOS

El presente trabajo tuvo como objetivo la obtención e identificación de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.). Se seleccionaron cinco sistemas, localizados en fincas en la región central del trópico húmedo ecuatoriano, provincia de Los Ríos, en los cantones Quevedo y Valencia: fincas La Represa, La Propiedad, La Unión, Fátima y Mi Recuerdo. Se recogieron muestras de suelo y raíces en la estación seca de junio a diciembre 2009. Los siguientes fueron los géneros de hongos micorrízicos arbusculares encontrados: *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, y *Scutellospora*. En cada sitio muestreado, el género con mayor representatividad en número de esporas por gramo de suelo fue *Glomus*, y el menor número de esporas fue para *Gigaspora*. También se determinó el porcentaje de colonización micorrízica ya existente en T. cacao y el mayor porcentaje de densidad de colonización se localizó en las muestras tomadas de las fincas Mi Recuerdo y La Unión, siendo la menor proporción la obtenida de la finca La Propiedad (Prieto-Benavides et al., 2012).

El suelo en que se cultiva el cacao en el Ecuador concentra un sin número de microorganismos benéficos para las plantas aún no estudiados; entre ellos, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que por medio de la simbiosis mutualista están muy relacionados con la adaptación y desarrollo del cultivo de cacao. Esta investigación tuvo por objetivo aislar y detectar la ocurrencia de HMA en tres fincas productoras de cacao orgánico bajo sistema agroforestal y una finca bajo manejo convencional o química en plantas de 1-10 y 11-20 años de edad, provenientes de cantón Vinces-Ecuador. Se tomaron muestras de suelo para el análisis de parámetros físico-químicos (textura, humedad de suelo, pH, contenido de P), densidad de esporas, caracterización morfológica de HMA, y muestras de raíces para determinar el porcentaje de micorrización. Los resultados revelaron que las plantas de 1-10 años de edad de la finca I obtuvieron los mejores resultados con 80,7% del porcentaje de micorrización y 159 esporas/ 100 g de suelo; mientras que la finca IV en plantas de 1-10 años de edad, mostraron los valores más bajos con 36,0% del porcentaje de micorrización y 37 esporas/ 100 g de suelo, no obstante, la textura del suelo, pH y concentración de fósforo de las cuatro fincas fueron similares. A nivel espora de HMA se distinguieron los géneros *Acaulospora*, *Claroideoglomus*, *Funneliformis* y *Pacispora*. Concluyendo que la diversidad de HMA en el suelo puede ser favorecida bajo sistemas agroforestal ligada al cultivo (Pérez-Díaz

et al., 2023).

El cadmio (Cd) presente en los suelos constituye una limitación importante para la producción de cacao en el Perú. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares procedentes de distintas provincias de la Amazonía peruana sobre la absorción de cadmio y el crecimiento de plantas de cacao en vivero. Para ello, semillas germinadas fueron inoculadas con 1 500 esporas de diferentes consorcios de HMA y establecidas en un sustrato compuesto por arena y suelo agrícola en proporción 1:2, bajo dos niveles de cadmio: 0 y 5 mg kg⁻¹. Se evaluaron la altura de las plantas, el área foliar, el porcentaje de colonización radical, el desarrollo del micelio y la concentración de cadmio tanto en el suelo como en los tallos de las plántulas. Los resultados mostraron que el consorcio procedente de la provincia de Mariscal Cáceres favoreció principalmente la altura y el área foliar, mientras que el consorcio de Lamas logró una mayor disminución del cadmio en el suelo y en los tejidos del tallo. En conclusión, la diversidad de HMA asociada con el cacao puede constituir una alternativa biológica para inmovilizar el cadmio y, al mismo tiempo, mejorar el desarrollo inicial de las plantas (Vallejos-Torres et al., 2022).

Vallejos-Torres et al. (2022) evaluaron el efecto de dos cantidades de esporas de hongos micorrízicos arbusculares, aplicadas con diferentes frecuencias, sobre plantas de cacao Nacional en etapa productiva. El estudio se desarrolló durante siete meses en una plantación ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, donde los árboles se encontraban establecidos a una distancia de 4 × 4 m. Para el experimento se utilizó un diseño completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, en los que se combinaron dosis de 17 600 y 35 200 esporas aplicadas una sola vez, mensualmente o cada tres meses, además de un tratamiento control. El inóculo se incorporó en forma de corona, aproximadamente a 30 cm de la base del árbol y en la zona de mayor presencia de raíces superficiales. Los resultados mostraron que los tratamientos no generaron diferencias significativas en el número de flores, el cuajado, la cantidad de frutos ni el índice de mazorca; sin embargo, sí influyeron en el peso de los frutos y las semillas, las dimensiones de las mazorcas, el número de semillas, la producción y el rendimiento. En particular, la aplicación mensual de 17 600 esporas presentó los valores más favorables en las variables productivas. En conclusión, la frecuencia de aplicación desempeñó un papel relevante en la respuesta del cultivo, mientras que el incremento de la dosis no aseguró mejores resultados; por ello, la inoculación mensual con 17 600 esporas se consideró una alternativa con potencial para fortalecer el manejo orgánico y la productividad del cacao Nacional en la Amazonía ecuatoriana.

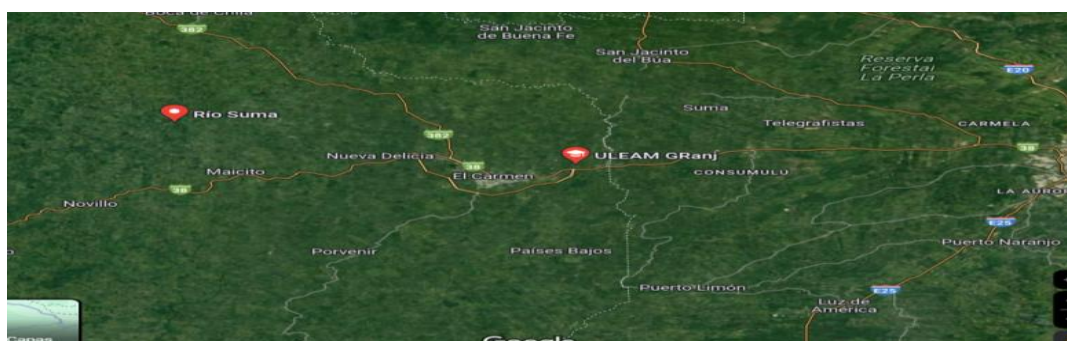
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del ensayo

La investigación se desarrollará en la Granja Experimental Río Suma, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. La unidad experimental se ubica aproximadamente a 249 m s. n. m. y presenta condiciones de trópico húmedo, con una temperatura media cercana a 24 °C y una precipitación anual aproximada de 2 806 mm. Estos antecedentes locales han sido reportados en investigaciones agronómicas efectuadas en la misma granja (Caldas-Jaramillo, 2025).

La ubicación definitiva del ensayo deberá representarse mediante un mapa elaborado a partir de coordenadas verificadas en campo con un receptor GNSS o un dispositivo de geolocalización. La figura incluirá el punto del experimento, la escala, el norte geográfico, la fuente cartográfica y la fecha de consulta, evitando utilizar coordenadas procedentes de otra finca o localidad.

Figura 5. Localización geográfica del área de estudio



3.3 Métodos

3.3.1 Método empírico

Se utilizó un enfoque empírico para recabar información de primera mano sobre la respuesta de las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a los tratamientos en condiciones de campo. La obtención de datos incluyó mediciones periódicas del crecimiento vegetativo, observaciones del estado general de las plantas y pruebas de colonización micorrízica. A fin de mantener la homogeneidad en el muestreo, en cada repetición se tomó una planta de cacao, lo que dio un total de cinco plantas por tratamiento y 25 plantas para todo el experimento. La existencia de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en las raíces del cacao que nos permite evaluar esta interacción bajo distintas prácticas de manejo (Murillo, 2011; Vera, 2014).

3.3.2 Método experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, para un total de 25 unidades experimentales. La distribución en bloques permitió controlar la variación natural del terreno, mientras que la asignación aleatoria de los tratamientos dentro de cada bloque redujo la posibilidad de sesgo en la comparación (Zambrano, 2023).

Fueron 55 plantas las que se asignaron a cada tratamiento y de ellas se recogieron los datos de cinco plantas (una por repetición) con la finalidad de medirlas. Esta distribución permitió obtener cinco observaciones independientes por tratamiento y evitó tomar como repeticiones individuales a las plantas que se encontraban dentro de la misma unidad experimental. La colocación aleatoria de los tratamientos dentro de cada bloque hizo posible comparar los efectos de los tratamientos y reducir la variación del suelo.

3.3.3 Método bibliográfico

identificaron una diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociada con cultivos de cacao bajo diferentes prácticas de producción. A partir de este antecedente, el método bibliográfico comprendió la búsqueda, selección y análisis de artículos científicos, tesis, libros especializados e informes técnicos relacionados con los HMA, la nutrición del cacao, el crecimiento vegetal y los sistemas asociados de cacao y plátano. La revisión permitió construir las bases teóricas, definir las variables, organizar los tratamientos y contrastar los resultados obtenidos en el ensayo con investigaciones anteriores (Camacho-Vera, 2025).

3.3.4 Método observacional

El método observacional se aplicó como complemento a método empírico a fin de hacer un registro sistemático de las características visibles de las cinco plantas de cacao escogidas en cada tratamiento. Se evaluó el vigor vegetativo, producción y retención de hojas, existencia de signos de deficiencias nutricionales, daños por plagas o enfermedades, y cualquier variación asociada a los tratamientos. La vigilancia permaneció con las mismas 25 plantas a través de la duración del estudio, con tarjetas de campo y códigos de identificación consistentes en bloque, tratamiento, y repetición. También en la evaluación de la colonización micorrizica, bajo procedimiento izologico estándar fueron observadas las raíces para determinar la presencia de estructuras de hongos en los segmentos radiculares (F. Arias, 2012).

3.4 Unidad experimental y número de plantas

Las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) se encontraron establecidas a una distancia de 3 m entre plantas y 3 m entre hileras, equivalente a una densidad aproximada de 1 111 plantas por hectárea. Esta distribución proporcionó a cada planta una superficie teórica de 9 m² y permitió mantener un espacio adecuado para el crecimiento de la copa, la circulación del aire y la realización de las labores agronómicas. La distancia empleada se encuentra dentro de los arreglos comúnmente utilizados en plantaciones de cacao y sistemas agroforestales.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 11 plantas de cacao. Debido a que cada tratamiento contó con cinco repeticiones, se asignaron 55 plantas por tratamiento, resultado de multiplicar las 11 plantas de cada unidad experimental por las cinco repeticiones. En los cinco tratamientos se dispuso de una población total de 275 plantas de cacao. Considerando una superficie teórica de 9 m² por planta, cada unidad experimental ocupó aproximadamente 99 m². Sin embargo, el área definitiva de cada parcela deberá comprobarse mediante el croquis del ensayo, debido a que puede variar por la forma de distribución de las 11 plantas, las calles, los bordes y las áreas de separación entre tratamientos.

Para la toma de datos se seleccionó una planta de cacao por cada repetición. En consecuencia, se evaluaron cinco plantas por tratamiento y 25 plantas en todo el experimento. Las plantas seleccionadas se localizaron en el área útil de las parcelas, se identificaron mediante códigos permanentes y se mantuvieron como unidades de observación durante todas las evaluaciones. Las plantas de plátano (*Musa* AAB) permanecieron como componente asociado y recibieron un manejo agronómico uniforme durante el desarrollo del ensayo.

Tabla 4. Distribución de las plantas de cacao y tamaño de la muestra en el ensayo

Concepto	Cálculo	Resultado
Distancia entre plantas de cacao	$3 \times 3 \text{ m}$	9 m ² por planta
Plantas por unidad experimental	Dato del ensayo	11
Superficie teórica por unidad	$11 \times 9 \text{ m}^2$	99 m ²
Repeticiones por tratamiento	Dato del diseño	5
Plantas por tratamiento	11×5	55
Número de tratamientos	Dato del diseño	5
Población total de cacao	55×5	275
Plantas evaluadas por tratamiento	1 por repetición $\times$ 5	5
Muestra total	5 tratamientos $\times$ 5 plantas	25

3.5 Diseño de la Investigación

La investigación tuvo un carácter cuantitativo, experimental y de campo, ya que se aplicaron cinco tratamientos a las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) establecidas en asociación con plátano (*Musa AAB*). Se utilizó un diseño de bloques al azar completos (DBCA), con cinco tratamientos y cinco repeticiones, totalizando 25 unidades experimentales (L. I. C. Bernal & Melgarejo, 2017). Los bloques controlaron la variabilidad del terreno y los tratamientos se asignaron aleatoriamente dentro de los bloques. Cada unidad experimental estaba compuesta por 11 plantas de cacao, de este modo cada tratamiento contó con 55 plantas y la población total del experimento fue de 275 plantas.

Para la medición se eligió una planta representativa de cada unidad experimental, siendo así que se tomaron cinco plantas por tratamiento y 25 plantas para todo el estudio. Las mismas plantas fueron marcadas y muestreadas a lo largo del período experimental. El plátano se mantuvo como cultivo asociado y fue manejado agronómicamente igual para todos los tratamientos, ya que estos se aplicaron únicamente a el cacao.El modelo estadístico para el diseño fue:

Donde:

- Y_{ij} : respuesta observada en el tratamiento i y bloque j .
- μ : media general del experimento.
- T_i : efecto del tratamiento i .
- B_j : efecto del bloque j .
- ε_{ij} : error experimental.

3.6 Análisis estadístico

Los cinco tratamientos para cada especie fueron evaluados y analizados a través de un análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. La

repetición fue la unidad de análisis, la cual fue representada por la planta seleccionada dentro de la unidad experimental respectiva. Por lo tanto, se tomaron cinco observaciones independientes por cada tratamiento y 25 observaciones para el ensayo completo.

Cuando el análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5 % de nivel de significancia ($p \leq 0,05$). Se verificaron los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas antes del análisis. La información fue procesada mediante el programa estadístico InfoStat.

Tabla 5. Esquema del análisis de varianza para el diseño de bloques completamente al azar

Fuente de variación	Fórmula	Grados de libertad
Bloques	(r-1)	4
Tratamientos	(t-1)	4
Error experimental	((t-1)(r-1))	16
Total	(tr-1)	24

3.7 Variables de interés

3.7.1 Variable independiente

- T1: fertilizante NPK.
- T2: hongos micorrízicos arbusculares más fosfato diamónico.
- T3: hongos micorrízicos arbusculares.
- T4: hongos micorrízicos arbusculares más biochar.
- T5: Biol.

3.7.2 Variables dependientes

- **Número de brotes nuevos**

Se llevó el conteo de los brotes vegetativos que cada planta de cacao producía en el periodo considerado. También se tomaron en cuenta sólo los nuevos brotes visibles y diferenciados de otros ya existentes.

- **Número de flores**

Se anotó el número total de flores en el tronco y en las ramas principales de cada individuo recogido. El recuento también se realizó de manera periódica en las mismas plantas,

tratando de minimizar en la medida de lo posible evitar registrar flores ya observadas en anteriores valoraciones

- **Número de mazorcas**

Se contó con el número de mazorcas producidas en cada planta evaluada, sin importar su grado de madurez. Para facilitar la interpretación de los resultados, las mazorcas sanas se separaron de las con daños visibles, abortadas o con síntomas de enfermedad.

- **Diámetro del tallo**

Se midió el diámetro del tallo en un punto fijo previamente marcado, utilizando un calibrador. La medición se realizó en el mismo lugar durante todas las evaluaciones y se expresó en milímetros.

- **Altura de la planta**

La altura de las plantas se midió con una cinta desde de la superficie del suelo hasta el ápice principal de la planta. Los datos están dados en centímetros.

3.8 Tratamiento de los datos

Los tratamientos se aplicaron únicamente a las plantas de cacao. Cada tratamiento estuvo representado por 55 plantas distribuidas en cinco repeticiones; para el registro de las variables se consideraron cinco plantas por tratamiento. La cantidad aplicada se expresó por planta, excepto en el tratamiento con Yambiol, cuya dosificación se preparó por bomba de aplicación.

Tabla 6. *Operacionalización de las variables evaluadas en las plantas de cacao*

Tratamiento	Dosis y descripción aplicada al cacao	Plantas asignadas	Plantas muestreadas
T1	50 g de fertilizante NPK 15-15-15 por planta; dos aplicaciones	55	5
T2	200 g de inóculo con HMA + 50 g de fosfato diamónico 12-40-0 por planta	55	5
T3	200 g de inóculo con HMA por planta	55	5
T4	200 g de inóculo con HMA + 100 g de biochar por planta	55	5
T5	Biol a razón de 1 L por bomba; tres aplicaciones	55	5

Nota. En la versión definitiva debe indicarse la capacidad nominal de la bomba empleada en T5, porque la

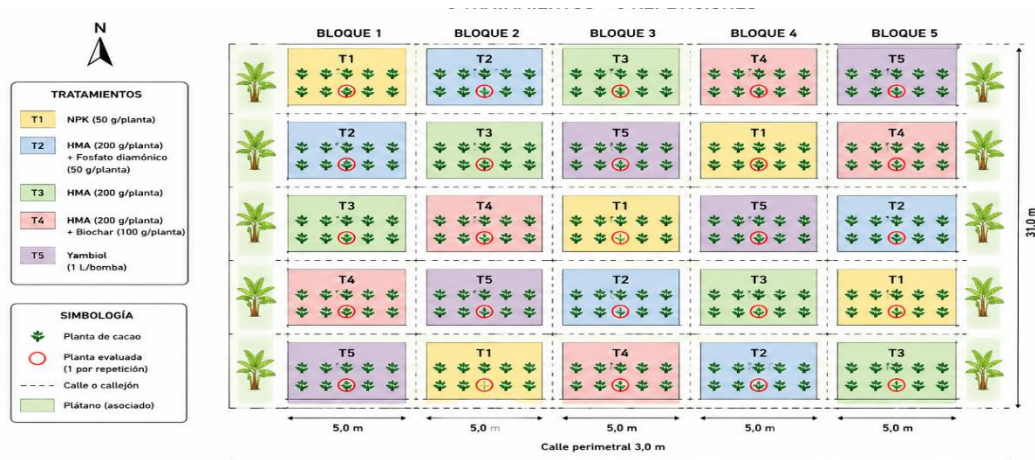
expresión «1 L por bomba» no permite reproducir la concentración si no se conoce el volumen total de agua.

3.9 Aplicación de los tratamientos en cacao

La aplicación de los tratamientos se realizó de forma individual en cada planta de cacao, de acuerdo con la distribución aleatoria establecida en el diseño experimental. Los insumos sólidos se colocaron en la zona radical de la planta, respetando la dosis correspondiente y evitando la mezcla entre unidades experimentales.

En T1 se suministró el fertilizante NPK 15-15-15 en dos momentos del periodo experimental. En T2 se combinaron el inóculo de HMA y el fosfato diamónico; en T3 se aplicó únicamente el inóculo micorrízico; y en T4 se incorporaron el inóculo y el biochar. En T5 se preparó la solución de biol y se efectuaron tres aplicaciones con el equipo utilizado en campo. El plátano no recibió HMA, fertilización diferencial, biochar ni biol como parte de los tratamientos. Su manejo fue igual en todas las parcelas, de modo que funcionó únicamente como cultivo asociado y no como unidad de evaluación principal.

Figura 6. Croquis de campo y distribución de los tratamientos en el ensayo de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con plátano (*Musa AAB*)



3.10 Manejo del experimento

3.10.1 Aplicación de los tratamientos

Tratamientos fueron aplicados solo para las plantas de cacao. Las plantas de banano se mantuvieron como componente asociado y fueron manejadas uniformemente, es decir, no se aplicaron diferenciales de rhizobión microsférica de hongos, fertilizantes, biochar o biol.

Los tratamientos fueron distribuidos de la siguiente manera:

- **T1:** aplicación de 50 g de fertilizante NPK 15-15-15 por planta, realizada en dos ocasiones.
- **T2:** aplicación de 200 g de inóculo con hongos micorrízicos arbusculares más 50 g de fosfato diamónico 12-40-0 por planta.
- **T3:** aplicación de 200 g de inóculo con hongos micorrízicos arbusculares por planta.
- **T4:** aplicación de 200 g de inóculo con hongos micorrízicos arbusculares más 100 g de biochar por planta.
- **T5:** aplicación de biol a razón de 1 L por bomba, efectuada en tres ocasiones.

Los insumos sólidos se pesaron individualmente de acuerdo con la dosis establecida para cada planta. Durante su distribución se evitó trasladar materiales entre parcelas, con el propósito de prevenir la mezcla de tratamientos.

3.10.2 Manejo agronómico

Los trabajos de mantenimiento fueron los mismos para todas las parcelas experimentales. No hubo parcelas que recibiesen prácticas agrícolas especialmente beneficiosas o perjudiciales para la respuesta de un tratamiento dado. Así las diferencias entre las plantas observadas se podían atribuir principalmente a los productos y dosis que fueron aplicados.

La gestión consistió en la limpieza del área alrededor de cada planta, eliminación de maleza competidora y monitoreo ocasional de la salud general de la planta. El mismo criterio se usó para la poda o eliminación de partes vegetales en todas las parcelas, sin modificar desigualmente el número de hojas, ramas o brotes de las plantas sometidas a ensayo. La disponibilidad de agua se mantuvo constante para todos los tratamientos. Si se tenía que hacer alguna aplicación fitosanitaria, esta se efectuaba de la misma manera y se anotaban la fecha, el producto, la dosis y el por qué se usaba.

3.10.3 Seguimiento de las plantas

Cinco plantas por tratamiento fueron monitoreadas periódicamente para determinar sus desarrollo vegetativo y reproductivo. Seguimiento: Recuento de brotes, flores y mazorcas, medida de altura y diámetro del tallo, número de hojas activas. Las brotaciones se contabilizaron cuando hubo crecimiento visible y se pudieron distinguir de las estructuras anteriores. Para el número de flores se tuvieron en cuenta las estructuras que cuelgan del tronco y de las ramas principales. En el recuento de mazorcas, han tenido en cuenta la cantidad de frutos que se han establecido en una planta individual.

Las mediciones se hicieron en las mismas plantas a lo largo del experimento. A cada sesión asistieron los mismos evaluadores y se usaron los mismos criterios de medición para todas las mediciones, siempre que fue posible, se realizaron las evaluaciones en similares horarios. 1.9.4 Registro de información Los datos fueron registrados en tarjetas de campo, las cuales estaban identificadas con el tratamiento, bloque, repetición, planta y fecha de evaluación. La información fue posteriormente transferida a una base de datos electrónica para la revisión y análisis estadísticos.

También se confeccionó una bitácora de ensayo en la que se anotaron aplicación de tratamientos, labores agronómicas, observaciones fitosanitarias y cualquier suceso que pueda haber influido en el desarrollo de la planta. El manejo del plátano asociado fue similar en toda la zona experimental. No fue utilizado como un medio para diferenciar tratamientos, ni tampoco como una unidad básica de análisis.

3.10.4 Control de la variación experimental

Para minimizar las fuentes de error, los tratamientos fueron asignados al azar dentro de cada bloque, y las actividades de manejo se llevaron a cabo homogéneamente. Los instrumentos de medición de la altura y el diámetro fueron inspeccionados antes de cada día de trabajo. La identificación permanente de las plantas fue asimismo utilizada para evitar cambios involuntarios en las unidades de observación. La unidad estadística fue cada repetición y representaba la planta escogida dentro de la correspondiente unidad experimental. Por lo tanto, se disponía de cinco observaciones independientes por tratamiento, aunque cada tratamiento estaba compuesto por 55 plantas de cacao.

3.11 Materiales utilizados

Para el desarrollo del experimento en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociadas con plátano (*Musa* AAB), se utilizarán los siguientes materiales, insumos y equipos:

3.11.1 Material vegetal

- 275 plantas de cacao establecidas en campo.
- Plantas de plátano utilizadas como cultivo asociado.
- 25 plantas de cacao seleccionadas para las evaluaciones.

3.11.2 Insumos experimentales

- Fertilizante mineral NPK 15-15-15.
- Fosfato diamónico 12-40-0.

- Inóculo de hongos micorrízicos arbusculares.
- Biochar.
- Biol.
- Agua para la preparación y aplicación de los tratamientos.
- Productos fitosanitarios, cuando sean necesarios.

3.11.3 Materiales de medición

- Balanza digital para pesar los fertilizantes, el inóculo y el biochar.
- Calibrador o pie de rey para medir el diámetro del tallo.
- Cinta métrica para medir la altura de las plantas.
- Recipientes graduados para medir el biol y el agua.
- Receptor GNSS o dispositivo de geolocalización para registrar las coordenadas del ensayo.

3.11.4 Materiales para la aplicación de los tratamientos

- Bomba de aplicación.
- Baldes y recipientes plásticos.
- Vasos o jarras graduadas.
- Palas pequeñas.
- Guantes de trabajo.
- Mascarilla.
- Botas de caucho.
- Ropa de protección.

3.11.5 Materiales para identificación y registro

- Estacas para delimitar las unidades experimentales.
- Etiquetas plásticas para identificar las plantas.
- Cinta de señalización.
- Marcadores permanentes resistentes al agua.
- Tarjetas de campo.

- Cuaderno o bitácora experimental.
- Formularios para el registro de datos.
- Cámara fotográfica o teléfono móvil.

3.11.6 Herramientas para el manejo agronómico

- Machete.
- Azadón.
- Rastrillo.
- Tijeras de poda.
- Pala.
- Carretilla.
- Herramientas para el control manual de arvenses.

3.11.7 Equipos para el procesamiento de datos

- Computadora.
- Hoja de cálculo electrónica.
- Programa estadístico InfoStat.
- Impresora, cuando sea necesaria para los formularios de campo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de la planta

La evaluación final sobre la altura de las plantas de cacao indicó diferencias significativas entre los tratamientos simulados ($p < 0.0001$). En el tratamiento T4, correspondiente a la introducción de hongos micorrízicos arbusculares más biochar, se obtuvo la mayor altura promedio (181,00 cm). T2, formado por HMA + fosfato diamónico, ocupó el segundo lugar con 175,20 cm. Los tratamientos T3 y T1 dieron lugar a la media de 172,00 y 168,80 cm respectivamente. El valor más bajo fue para T5 que corresponde a la aplicación de biol y fue de 166,00 cm. La altura y los tratamientos empleados son los designados para el experimento de cacao.

Tabla 7. *Altura promedio final de las plantas de cacao según los tratamientos evaluados*

Tratamiento	Altura promedio (cm)	Tukey
T1 (NPK 15-15-15)	168,8	cd
T2 (HMA + fosfato diamónico)	175,2	b
T3 (Hongos micorrízicos arbusculares)	172	bc
T4 (HMA + biochar)	181	a
T5 (Biol)	166	d
Media general	172,6	
C.V. (%)	25,26%	
Valor p	<0,0001	

Nota. Medias con letras distintas presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 %.

El tratamiento T4, compuesto por 200 g de HMA más 100 g de biochar por planta, alcanzó la mayor altura, con 181,00 cm, y fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos. La tendencia coincide parcialmente con Cuadros & Gómez (2011), quienes reportaron incrementos en parámetros de crecimiento de cacao inoculado con HMA en suelos ácidos.

4.2 Número de flores por planta

Tabla 8. *Número promedio de flores por planta de cacao según los tratamientos evaluados*

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre los tratamientos para el número de flores por planta de cacao ($p < 0,0001$). El tratamiento T4, compuesto por HMA más biochar, alcanzó el mayor promedio con 60 flores por planta y fue estadísticamente superior a los demás tratamientos. Le siguieron T2, con 50 flores, y T3, con 45 flores. Los menores resultados correspondieron a T1 y T5, con 40 y 36 flores por planta, respectivamente. El coeficiente de variación de 33,42 % refleja una baja variabilidad experimental.

Tratamiento	Número de flores por planta	
T1 (NPK 15-15-15)	40	d
T2 (HMA + fosfato diamónico)	50	b
T3 (Hongos micorrízicos arbusculares)	45	c
T4 (HMA + biochar)	60	a
T5 (Biol)	36	e
Media general	46,2	
C.V. (%)	33,42	
Valor p	< 0,0001	

Nota. Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey al 5 %.

Vera (2014) aplicaron 0, 5 y 10 t ha⁻¹ de fertilizante orgánico elaborado con estiércol caprino y residuos de cacao. Obtuvieron 23,00; 32,03 y 30,03 estructuras florales por planta, respectivamente, sin diferencias significativas. Este resultado difiere del avance, donde T4 fue estadísticamente superior, lo que demuestra que el aumento numérico de flores no siempre representa un efecto significativo del tratamiento.

Cuadros & Gómez, (2011) aplicaron ácido fúlvico, extracto de algas, aminoácidos y citoquininas por vía foliar en cacao CCN-51. La combinación de aminoácidos más citoquininas presentó los mayores resultados, con 107 cojines florales, 15 flores por cojín, 12 flores abiertas y tres frutos cuajados.

4.3 Número promedio de mazorcas

Se determinaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos para el número de mazorcas por planta ($p < 0,0001$). T4 presentó el mayor promedio, con 9,00 mazorcas, y superó estadísticamente a los demás tratamientos. T2 alcanzó 7,20 mazorcas y no fue diferente de T3, que registró 6,00 mazorcas. T1 produjo 5,00 mazorcas y presentó un comportamiento estadísticamente similar a T3 y T5. El menor promedio correspondió al biol, con 4,00 mazorcas por planta. La investigación contempla el conteo periódico de flores y mazorcas en cinco plantas por tratamiento.

Tabla 9. *Número promedio de mazorcas por planta de cacao según los tratamientos evaluados*

Tratamiento	Número de mazorcas por planta	Tukey
T1 (NPK 15-15-15)	5	cd
T2 (HMA + fosfato diamónico)	7,2	b
T3 (Hongos micorrízicos arbusculares)	6	bc
T4 (HMA + biochar)	9	a
T5 (Biol)	4	d
Media general	6,24	
C.V. (%)	11,78	
Valor p	< 0,0001	

Nota. Medias con letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey al 5 %.

Vera (2014) encontraron que la fertilización aumentó el rendimiento estimado de 2 260 a 2 930 kg ha⁻¹ debido principalmente a una mayor producción de mazorcas durante la cosecha principal; sin embargo, el efecto sobre el número total de frutos no fue constante durante toda la evaluación. El resultado coincide parcialmente, ya que la respuesta productiva puede depender de la época y del estado fisiológico de las plantas.

Puentes-Páramo et al. (2014) aplicaron fertilizantes NPK mediante riego por goteo y obtuvieron 59,49 mazorcas por árbol al año con 125 % de la dosis recomendada, valor 21,05 % superior al control. Este resultado coincide con la tendencia observada en T4 y T2, donde los tratamientos con mayor aporte nutricional produjeron más mazorcas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los resultados evidenciaron que las plantas de cacao inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares presentaron un mejor comportamiento agronómico que las plantas no inoculadas. El tratamiento T4, conformado por 200 g de HMA más 100 g de biochar por planta, alcanzó los valores más altos, con 181,00 cm de altura, 60 flores y 9,00 mazorcas por planta. En contraste, los tratamientos sin HMA, T1 y T5, registraron menores valores de crecimiento y producción.
- La respuesta agronómica observada en el cacao mostró que los tratamientos con HMA, especialmente T4 y T2, presentaron mayores valores de altura, floración y formación de mazorcas que los tratamientos con NPK y biol. Esta tendencia sugiere un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles por parte de las plantas inoculadas. Sin embargo, la respuesta nutricional no puede confirmarse únicamente mediante variables de crecimiento, debido a que se requieren análisis foliares y del suelo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la combinación de 200 g de hongos micorrízicos arbusculares más 100 g de biochar por planta, debido a que el tratamiento T4 presentó los mayores valores de altura, número de flores y número de mazorcas en las plantas de cacao.
- Es conveniente realizar nuevas evaluaciones durante un periodo más prolongado para comprobar si la respuesta favorable del tratamiento T4 se mantiene en etapas posteriores y se refleja en el rendimiento y la calidad de las mazorcas.
- Se sugiere determinar el porcentaje de colonización micorrízica en las raíces mediante técnicas de aclarado, tinción y observación microscópica, con la finalidad de confirmar que las diferencias agronómicas estuvieron relacionadas con el establecimiento efectivo de los HMA.

REFERENCIAS

- 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.
- Aggangan, N. S., Cortes, A. D., & Reaño, C. E. (2019). Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101347.
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002). Morfología de los frutos y características físico-químicas del Mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 52(4), 497-506.
- Andrade-Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G., & Ureña Peralta, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- Anecacao. (2018). *Sector exportador de cacao*. Asociación nacional de exportación de cacao. <http://www.anecacao.com/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Arias, A. A. A., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en Cacao CCN-51. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 72-79.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fidia G.
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 58(1), 64-70.
- 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.
- Bernal, M. Á., Bejarano, L. D., Henao, S. Z., & Pastrana, E. J. C. (2022). Evaluación de dos técnicas de decoloración en raíces para determinación de simbiosis micorrícica en banano (*Musa spp.*). *Temas agrarios*, 27(2), 385-396.
- Blancof, F. A., & Salas, E. A. (1997). MICORRIZAS EN LA AGRICULTURA: CONTEXTO MUNDIAL E INVESTIGACION REALIZADA EN COSTARICA. *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.
- Caldas Jaramillo, C. I. (2025). *Hongos micorrízicos arbusculares en la productividad del cultivo de plátano, fase vivero*. [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Camacho-Vera, B. B. (2025). *Implementación de cámara térmica para evaluar la interacción de HMA con plántulas de Musa AAB*. [Tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/8793>
- 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.
- 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>
- Cuadros, G. A., & Gómez, R. (2011). Asociación simbiótica entre hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): Efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Ciencia y Tecnología*

Agropecuaria, 12(1), 77-85. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:217

- 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.
- 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, S. V., & Moreta, F. A. (2013). Optimización y aprovechamiento del residuo (exudado del mucílago) de la almendra fresca del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la elaboración de vinagre. *Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales*, (4), 7-19.
- Gómez, G., & Albeiro, N. S. (2022). *Evaluación del potencial antioxidante de los compuestos fenólicos obtenidos de la fermentación del mucilago del cacao (Theobroma cacao)*. [Tesis de Grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7580>
- 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
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta agronómica*, 61(4), 339-344.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.

- López, S. E., & Gil Rivero, A. E. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao* L.(Malvaceae)" cacao". *Arnaldoa*, 24(2), 609-618.
- Luis-Alaya, B., Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Evaluation of the presence of arbuscular mycorrhizae and cadmium content in the plants and soils of cocoa plantations in San Martin, Peru. *Diversity*, 15(2), 246.
- 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>
- 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.
- Pacheco Flores de Valgaz, A., Naranjo-Morán, J., Reyes Román, G., Oviedo-Anchundia, J., Ratti Torres, M., & Barcos-Arias, M. (2022). Discovering the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with two cultivation practices of *Theobroma cacao*. *Diversity*, 14(8), 651.
- Pérez-Díaz, A., Aranda-Azaharez, R., Rivera-Espinosa, R. A., Bustamante-González, C. A., & Pérez-Suarez, Y. (2023). Indicadores de calidad para posturas microinjertadas de *Theobroma cacao* inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. *Agronomía Mesoamericana*, 51102-51102. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51102>
- Prieto-Benavides, O. O., Belezaca-Pinargote, C. E., Mora-Silva, W. F., Garcés-Fiallos, F. R., Sabando-Ávila, F. A., & Cedeño-Loja, P. E. (2012). Identificación de hongos

- micorrízicos arbusculares en Sistemas Agroforestales con cacao en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 233-239.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212012000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99-106.
- Quiñonez-Cedeño, A. N. (2024). *Obtención de ácido acético a base del fermento natural del mucílago de cacao* [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13212>
- Rincón, C., Droh, G., Villard, L., Masclaux, F. G., N'guetta, A., Zeze, A., & Sanders, I. R. (2021). Hierarchical spatial sampling reveals factors influencing arbuscular mycorrhizal fungus diversity in Côte d'Ivoire cocoa plantations. *Mycorrhiza*, 31(3), 289-300.
- Rosas-Patiño, G., Sánchez-Castillo, V., & Patiño-Torres, C. (2025). Respuesta del cacao (*Theobroma cacao*) clon CCN-51 a la fertilización en condiciones agroclimáticas del Trapecio Amazónico Colombiano. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 28(1).
- Salazar-Díaz, R., & Tixier, P. (2021). Individual-based analysis of interactions between plants: A statistical modelling approach applied to banana and cacao in heterogeneous multistrata agroecosystems in Talamanca, Costa Rica. *European Journal of Agronomy*, 127, 126295.
- Sánchez, M. R., Hernández, Y. M., Rodríguez, J. M. D., González, J. S., & Rodríguez, J. A. C. (2016). Evaluación de diferentes cepas de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones inundadas del suelo. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 67-75.
- 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.
- Suárez, Y. V. B., Vallejo, M. N. O., Moína, H. L. B., & Freiré, G. E. L. (2025). Proceso fermentativo para bebidas de bajo grado alcohólico a partir del mucílago de cacao: Innovación y sostenibilidad en el aprovechamiento de subproductos. *Ciencia y Educación*, 6(6.1), 60-70.
- Tamayo-Ramírez, J. F., Michell Carmona-Rojas, L., & Urrea-Trujillo, A. I. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K⁺) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de *Theobroma cacao* L. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121.
- Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodríguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V., & Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 7(1), 51-58.
- 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.
- Vallejos-Torres, G., Ruíz-Valles, R., María, C. E. C.-S., Gaona-Jiménez, N., & Marín, C. (2022). Una alta diversidad de hongos micorrízicos arbusculares influye en la absorción de cadmio y crecimiento vegetal del cacao. *Bioagro*, 34(1), 75-84. (World). <https://doi.org/10.51372/bioagro341.7>
- 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%3%b3n%20y%20Comparaci%3%b3n%20de%20Metodolog%3%ad
as%20Multicriterio%20%28AHP%20y%20Fuzzy%20Logic%29%20en%20la%20Sel
ecci%3%b3n....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yano-Melo, A. M., Saggin Jr, O. J., & Maia, L. C. (2003). Tolerance of mycorrhized banana (Musa sp. Cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agriculture, ecosystems & environment*, 95(1), 343-348.

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.uleam.edu.ec/handle/123456789/6409>

ANEXOS

Anexo 1. Esquema del análisis de la varianza de la variable número de mazorcas

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	0,0781
TRT	29,83	4	7,46	2,22	0,0001
Error	80,57	24	3,36		
Total	143,54	34			

Anexo 2. Esquema del análisis de la varianza de la variable número de flores

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso De Raíces	35	0,23	0	33, 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			



Tesis Cristiam Gonzalez Compilatium

ID : 49fc5b62623b4171cd559bd6c1e2d09bf5084ccc

7%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : Tesis Cristiam Gonzalez Compilatium.txt
Tamaño del archivo original : 6,5 MB
Número de palabras : 9337

Depositante : JORGE VIVAS CEDEÑO
Fecha de depósito : 2 de agosto de 2026
Tipo de carga : Interface
Fecha de fin de análisis : 2 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

3%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

5%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos

4%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

<1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Fuentes de similitudes (sección 2/2)



Similitudes

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

3%

Fuente principal detectada

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones
1	 "Implementación de cámara térmica para evaluar la omisió... #e5357b Viene de de mi biblioteca	2%	
2	 Identificación de hongos micorrízicos arbúsculares en Sistemas... www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212012000200...	<1%	
3	 IDENTIFICACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN... www.redalyc.org/pdf/437/43724664002.pdf	<1%	

