

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA



Efecto de la aplicación de hongo micorriza arbuscular HMA-
Mycoroot® en el crecimiento de plantas de *Theobroma cacao* L.
(1753) en etapa de vivero, Ucayali, Perú

***Tesis para optar el título de
Ingeniero Agroforestal Acuícola***

PRESENTADO POR:

Bach. Luis Abel Isminio Pardavé

Yarinacocha – Perú

2025

ANEXO 16. ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

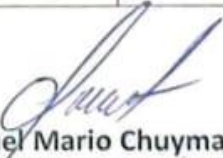
En la sala destinada para la sustentación de la tesis Vicerrectorado de Investigación, Campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en el distrito de Yarinacocha Provincia de Coronel Portillo Ciudad de Pucallpa, a las 11 horas del día trece de junio del 2025, se reunió el Jurado de Tesis presidido por la **Dra. Teresa Alarcón Castillo** e integrado por: **Dr. Ruben Casas Reategui** y **MSc. Manuel Mario Chuyma Tomaylla**, en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: "**Efecto de la aplicación de hongo micorriza arbuscular HMA-Mycoroot® en el crecimiento de plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) en etapa de vivero, Ucayali, Perú**"; cuya responsabilidad corresponde al Bachiller en: Ingeniería Agroforestal Acuícola **Luis Abel Isminio Pardave**, a fin de optar el Título Profesional de **INGENIERO AGROFORESTAL ACUÍCOLA**.

Terminada la sustentación, el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado. Cuya evaluación se consolida según la tabla y parámetros cuantitativos que siguen:

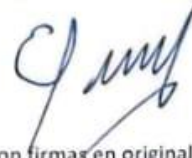
Presidente	Dra. Teresa Alarcón Castillo	<u>26</u>
Miembro	Dr. Rubén Casas Reategui	<u>19</u>
Miembro	MSc. Manuel Mario Chuyma Tomaylla	<u>26</u>
Promedio		<u>24</u>

El Jurado después de deliberar y calibrar los aportes de la tesis y la fundamentación del sustentante, contabilizó el resultado con la tabla cualitativa equivalente sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como bueno, asignándole un calificativo de 24... puntos, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

Siendo las 13 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

 Dra. Teresa Alarcón Castillo Presidente	 Dr. Rubén Casas Reategui Miembro
 MSc. Manuel Mario Chuyma Tomaylla Miembro	

Nombre Asesor: Ing. Dra. Ena Vilma Velazco Castro



Distribución: Integrantes del Jurado de Tesis, tesista y archivo FICA (Todas con firmas en original).



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA

N°102 - 2025

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

La Dirección de Biblioteca Central, hace constar por la presente, que le informe Final (Tesis) titulado:

"Efecto de la aplicación de hongo micorriza arbuscular HMA-Mycoroot® en el crecimiento de plantas de *Theobroma Cacao* L. (1753) en etapa de vivero, Ucayali, Perú".

Cuyo autor es : ISMINIO PARDAVE, LUIS ABEL.

Facultad : FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Profesional : INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA.

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 9%**.

En tal sentido, de acuerdo con los criterios de porcentaje establecido en el **artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO**, aprobada con **RESOLUCIÓN N°164-2021-UNIA-CO**, el cual indica que no se debe superar el 24%. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si está dentro de los límites aceptables de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 17/10/2025

 UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL
DE LA AMAZONÍA - UCAYALI


Dr. Mariano Magdaleno Mendoza Carlos
DIRECTOR DE BIBLIOTECA CENTRAL

La primera universidad intercultural del Perú

DEDICATORIA

De manera infinita a Dios por la salud y las oportunidades alcanzadas, así como a mis padres por darme la vida y el apoyo para así poder aportar en el desarrollo de la sociedad.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, por brindarme la invaluable oportunidad de formarme profesionalmente y desarrollarme como individuo.

A los profesores de la Carrera Agroforestal Acuícola, cuya orientación académica y compartición de conocimientos han sido fundamentales en mi trayecto educativo.

A mi asesora, Dra. Ena Vilma Velazco Castro, por su guía excepcional, confianza en mi trabajo y sus valiosos comentarios y sugerencias que han enriquecido el desarrollo y la conclusión de mi tesis.

A mi coasesor, Ing. Noe Ramírez Flores, investigador en sistemas de producción agronómico – IIAP Ucayali, por brindarme su valioso tiempo, experiencia y dedicación durante la parte experimental de la investigación

ÍNDICE	Pg.
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE CUADROS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Antecedentes de la investigación	14
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Micorrizas.....	16
2.2.2. Tipos de micorrizas.....	16
2.2.3. Clasificación de las micorrizas	16
2.2.4. Principales géneros de hongos micorrícicos arbusculares.....	18
2.2.5. Micorrizas Arbusculares	19
2.2.6. Características generales de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HFMA). 19	
2.2.7. Las micorrizas arbusculares y la nutrición vegetal.....	20
2.2.8. Uso de (HFMA) en la agricultura	20
2.2.9. Nutrientes que afectan y estimulan la micorrización.....	21
2.2.10. Simbiosis planta-hongo.....	21
2.2.11. La simbiosis de la micorriza arbuscular	22
2.2.12. Beneficios de simbiosis micorrízica.....	22
2.2.13. Importancia de los HFMA en plantas	22
2.2.14. Características y beneficios de las micorrizas en el sistema suelo-planta.....	23
2.2.15. Ventajas de los hongos micorrícicos arbusculares	23
2.2.16. Funciones y beneficios de las micorrizas	23
2.2.17. Efecto de los HFMA en el crecimiento de <i>Cacao</i> en vivero.....	24
2.2.18. Reacciones químicas del HFMA en la raíz del <i>Cacao</i> en vivero	24
2.2.19. El rol de las micorrizas arbusculares en la restauración de suelos.....	25

2.2.20.	Inoculación de hongos micorrícicos arbusculares en vivero	25
2.2.21.	Métodos de obtención del inóculo MVA	25
2.2.22.	Plantas para inóculo.	26
2.2.23.	Potencial de la inoculación	26
2.2.24.	Generalidades del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	26
2.2.25.	Clasificación taxonómica del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	28
2.2.26.	Descripción botánica	28
2.2.27.	Tipologías de cultivares.....	29
2.2.28.	Sistemas de propagación del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	29
2.2.29.	Preparación del sustrato para los plantones de Cacao.....	30
2.2.30.	Tipo de sustratos.....	30
2.2.31.	Manejo agronómico del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	30
2.2.32.	Condiciones climáticas para el <i>Theobroma cacao</i> L. (1753).....	31
2.2.33.	Requerimientos de clima y suelo del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753).....	32
2.2.34.	Importancia del cultivo de <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	33
2.2.35.	Vivero de <i>Theobroma cacao</i> L. (1753)	33
2.2.36.	Diseño de la plantación	33
2.2.37.	Instalación y manejo de la plantación	34
2.2.38.	Aspectos que influyen en el desarrollo de los plantones de Cacao	34
2.3.	Definición de términos básicos.	39
III.	MÉTODOS.....	41
3.1.	Ubicación y descripción del área de estudio.....	41
3.2.	Identificación y descripción del material experimental.....	41
3.3.	Procedimientos.....	42
3.3.1.	Etapa de campo	42
3.3.2.	Etapa de vivero	43
3.3.3.	Etapa de Laboratorio	48
3.4.	Población y muestra.....	51
3.4.1.	Población.....	51
3.4.2.	Muestra.....	52

3.4.3. Unidad experimental.....	52
3.5. Tratamientos.....	52
3.6. Variables	53
3.7. Recolección de datos	54
3.7.1. Fuentes de información.....	54
3.7.2. Tipos de Muestreo	56
3.7.3. Técnicas para la Recolección de Datos.....	56
3.8. Procesamiento de los datos	56
3.8.1. Modelo matemático	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1. Condiciones de experimento.....	58
4.2. Aplicación de Mycoroot® sobre el Cacao. (1753) a nivel de vivero.....	59
4.2.1. Altura de planta	59
4.2.2. Área foliar específica	61
4.2.3. Diámetro de tallo	63
4.2.4. Índice de robustez.....	65
4.3. Niveles de colonización de Mycoroot® en las raíces del Cacao.....	68
4.4. Determinación del estado nutricional del Cacao a la aplicación de Mycoroot®	71
V. CONCLUSIONES.....	75
VI. RECOMENDACIONES.....	76
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	77
VIII. ANEXOS	88

ÍNDICE DE CUADROS

En el texto	Pg.
Cuadro 1. Resultados de análisis de suelo agrícola + arena + compost.....	44
Cuadro 2. Definición de población y muestra para la presente investigación	52
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos	53
Cuadro 4. Variables en estudio	53

Cuadro 5.	Datos climáticos durante la etapa de vivero del experimento, año 2023.....	58
Cuadro 6.	Altura de planta en cacao, según la dosis de Mycoroot®	59
Cuadro 7.	Diámetro en tallo en Cacao, según la dosis de Mycoroot®	64
Cuadro 8.	Índice de robustez en Cacao, según la dosis de Mycoroot®	66
Cuadro 9.	Resultados para los Niveles de colonización de Mycoroot®	68
Cuadro 10.	Prueba de Dunn con corrección de Holm para Colonización de Mycoroot®	70
Cuadro 11.	Estado nutricional del Cacao a la última fecha de registros	71

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto	Pg.
Figura 1. Composición sistemática del cacao.....	27
Figura 2. Ubicación del área de estudio	41
Figura 4. Croquis de diseño de la unidad experimental	55
Figura 3. Evolución de la temperatura durante la etapa de vivero	58
Figura 5. Crecimiento en altura de plántones de Cacao durante los días evaluados.....	60
Figura 6. Prueba de Tukey para la variable AFE por efecto Mycoroot, a los 80 días	62
Figura 7. Diámetro de tallo de plántones de cacao durante los días evaluados.	64
Figura 8. Índice de robustez de plántones de cacao durante los días evaluados.....	66
Figura 9. Niveles de colonización de Mycoroot® (%) de cacao a los 80 días	69
Figura 10. Estado nutricional de macronutrientes a 80 días	73
Figura 11. Estado nutricional de micronutrientes a 80 días.....	73
En el anexo	Pg.
Figura 12. Preparación de compost como sustrato	108
Figura 13. Control del compost.....	108
Figura 14. Seleccionar tierra adecuada y traslado de tierra.....	108
Figura 15. Acondicionamiento de tierra.....	109
Figura 16. Almacenamiento de tierra.....	109
Figura 17. Cernido de tierra y compost	109
Figura 18. Preparación de sustrato	109

Figura 19.	Tamizado de componentes.....	110
Figura 20.	Dosificación de tierra y compost.....	110
Figura 21.	Monitoreo de textura.....	110
Figura 22.	Mezcla de componentes	111
Figura 23.	Homogenizado de sustrato.....	111
Figura 24.	Almacenamiento de sustrato	111
Figura 25.	Esterilización casera de sustrato	112
Figura 26.	Manejo de elementos para esterilizar	112
Figura 27.	Adición de sustrato	112
Figura 28.	Tratamiento de sustrato	112
Figura 29.	Manejo de tiempo y T°	113
Figura 30.	Incremento de temperatura	113
Figura 31.	Incremento de temperatura para esterilizar sustrato	113
Figura 32.	Repetición de operación	114
Figura 33.	Sacado de saco.....	114
Figura 34.	Enfriado de sacos	114
Figura 35.	Enfriamiento por un día.....	114
Figura 36.	Almacenamiento de sacos esterilizados.....	114
Figura 37.	Segunda fase de esterilización en autoclave.....	115
Figura 38.	Acondicionamiento.....	115
Figura 39.	Ubicación antes de esterilizar	115
Figura 40.	Autoclave.....	115
Figura 41.	Esterilización	115
Figura 42.	Sustrato esterilizado	116
Figura 43.	Ubicación de tratamientos	116
Figura 44.	Llenado de bolsas.....	116
Figura 45.	Control de calidad	117
Figura 46.	Evaluación de Mycoroot.....	117
Figura 47.	Evaluación de esporas.....	117
Figura 48.	Procedimiento para esporas.....	117

Figura 49.	Acondicionamiento para evaluación.....	118
Figura 50.	Incubado.....	118
Figura 51.	Observación de esporas	118
Figura 52.	Recuento	118
Figura 53.	Cepas visibles	119
Figura 54.	Vista de condición de Mycoroot	119
Figura 55.	Condición óptima	119
Figura 56.	Medición de operación	120
Figura 57.	Acondicionado de bolsas	120
Figura 58.	Semillas de cacao.....	120
Figura 59.	Vernier para medir h.....	121
Figura 60.	Medición de altura.....	121
Figura 61.	Unidades sometidas a medición	121
Figura 62.	Elección de plantas a examinar	122
Figura 63.	Se dejaron 15 días sin riego.....	122
Figura 64.	Inspección visual.....	122
Figura 65.	Muestras tratamiento T1	123
Figura 66.	Muestras tratamiento T2	123
Figura 67.	Muestras tratamiento T3	123
Figura 68.	Muestras tratamiento T4	123
Figura 69.	Diferencias relativas en tamaño.....	124
Figura 70.	Selección de raíces	124
Figura 71.	Unidad para inspección.....	124
Figura 72.	Preparación de reactivos	125
Figura 73.	Acondicionamientos.....	125
Figura 74.	Conservación de raíz en alcohol 50%.....	125
Figura 75.	Hidróxido de sodio	126
Figura 76.	Pesado de reactivos	126
Figura 77.	Preparacion de reactivos	126
Figura 78.	Medición precisa	126

Figura 79.	Pasos para agregar 10 mL de KHO al 10%.....	127
Figura 80.	Preparado de batería.....	127
Figura 81.	Kit para tinción de raíces	128
Figura 82.	Pasos para la tinción de raíces.....	128
Figura 83.	Batería armada.....	128
Figura 84.	Introducción de batería a baño maría	128
Figura 85.	Pasos para la evaluación de raíces.....	129

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar los efectos de la aplicación de micorrizas Mycoroot® (*Glomus clarun*), asociados al crecimiento de plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) (*T. cacao*) durante la etapa de vivero. Los procedimientos incluyeron la preparación del área experimental, asignación aleatoria de plántulas a grupos experimentales y aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en diferentes dosis, seguidos de evaluaciones de crecimiento, colonización micorrícica y estado nutricional. Los resultados mostraron un aumento significativo en la altura T0, T1, T2 y T3 con 21.97, 22.98, 25.54 y 27.88 respectivamente, el Área Foliar Específica (AFE) mostró una variabilidad entre los tratamientos, siendo T3 el tratamiento con el AFE más alto en promedio, oscilando entre 91 y 233.66 cm²/g, dentro de los rangos permisibles y diámetro del tallo siendo más evidente en T2 y T3, sugiriendo una influencia positiva de estos tratamientos en el desarrollo estructural de los plántulas tratadas con Mycoroot® (*Glomus clarun*). Además, se observó un incremento en los niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en las raíces, siendo el tratamiento T3 el más efectivo. En cuanto al estado nutricional, se registraron incrementos notables en los niveles de nitrógeno, fósforo, calcio y hierro. El T3 (dosis 6 g/L) resultó con mejores diferencias estadísticas. Estos resultados demuestran que la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) promueve una mayor colonización micorrícica en las raíces de plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero, lo que puede tener implicaciones positivas en su crecimiento y desarrollo. En conclusión, la investigación respalda la efectividad de Mycoroot® (*Glomus clarun*) como una estrategia para mejorar el crecimiento de plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) durante la etapa de vivero.

Palabras clave: plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753), vivero, nitrógeno, colonización, estado nutricional

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effects of the application of Mycoroot® (*Glomus clarun*) mycorrhizae, associated with the growth of cocoa plants (*T. Theobroma cacao* L. (1753)) during the nursery stage. The procedures included preparation of the experimental area, random assignment of seedlings to experimental groups and application of Mycoroot® (*Glomus clarun*) at different doses, followed by evaluations of growth, mycorrhizal colonization and nutritional status. The results showed a significant increase in height T0, T1, T2 and T3 with 21.97, 22.98, 25.54 and 27.88 respectively, the Specific Leaf Area (SFA) showed variability between treatments, with T3 being the treatment with the highest AFE in average, ranging between 91 and 233.66 cm²/g, within the permissible ranges and stem diameter being more evident in T2 and T3, suggesting a positive influence of these treatments on the structural development of the seedlings treated with Mycoroot®. In addition, an increase in the colonization levels of Mycoroot® (*Glomus clarun*) in the roots was observed, with the T3 treatment being the most effective. Regarding nutritional status, notable increases were recorded in the levels of nitrogen, phosphorus, calcium and iron. T3 (dose 6 g/L) resulted in better statistical differences. These results demonstrate that the application of Mycoroot® (*Glomus clarun*) promotes greater mycorrhizal colonization in the roots of cocoa seedlings in the nursery, which can have positive implications on their growth and development. In conclusion, the research supports the effectiveness of Mycoroot® (*Glomus clarun*) as a strategy to improve the growth of cocoa plants during the nursery stage.

Keywords: Cocoa seedlings, nursery, nitrogen, colonization, nutritional status

I. INTRODUCCIÓN

En la última década, la producción de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) en Perú ha mostrado un crecimiento sostenido, manteniéndose como el noveno productor mundial de grano y el segundo en cacao orgánico. Más de 100,000 familias agrícolas se dedican a esta actividad en 16 de las 24 regiones del país. Para 2018, la producción nacional alcanzó 135,000 toneladas en 160,000 hectáreas, destacando San Martín, Junín, Ucayali, Cusco, Huánuco, Amazonas y Ayacucho, que representan el 93 % de la producción total (López *et al.*, 2020).

Angulo *et al* (2021), menciona que el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L 1753) ocupa el sexto lugar en importancia económica en Perú, involucrando a más de 138,000 agricultores. En la región amazónica peruana, se encuentran extensas áreas con diversas poblaciones de *Theobroma cacao* L. (1753) cultivadas por agricultores, muchos de los cuales carecen de conocimientos técnicos, especialmente en la etapa inicial de vivero. Esta falta de conocimiento ha dado lugar a plántulas con deficiencias en tamaño y desarrollo del sistema radicular.

En este contexto, es crucial mejorar la calidad de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) durante la fase de vivero mediante estrategias de agricultura sostenible, como la aplicación de hongos formadores de micorrizas (HFMA). Estos hongos mejoran la nutrición mineral, la tolerancia al estrés hídrico, la resistencia a enfermedades y optimizan la absorción de nutrientes del suelo, aumentando la producción y calidad biológica (Pérez *et al.*, 2019).

La investigación propone el uso de micorrizas Mycoroot® durante la etapa de vivero de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753), para mejorar la capacidad de crecimiento, niveles de colonización y absorción de nutrientes; por lo tanto, en esta investigación se ha planteado los siguientes objetivos.

Objetivo general

Determinar los efectos de la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*), en crecimiento de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L 1753) durante la etapa de vivero en la UNIA - 2022.

Objetivos específicos

- Determinar los efectos de la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*), en crecimiento; altura de planta, en área foliar específica, diámetro de tallo e índice de robustez del *Theobroma cacao* L. (1753), durante la etapa de vivero.
- Determinar los niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en las raíces del *Theobroma cacao* L. (1753), durante la etapa de vivero.
- Determinar el estado nutricional del *Theobroma cacao* L. (1753) a la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*), durante la etapa de vivero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel local

Sandoval y García (2019), evaluaron el desempeño de inoculantes puros de hongos micorrízicos arbusculares en *Brachiaria decumbens*, caracterizando esporas de inóculos primarios y monitoreando la respuesta de las plantas durante el período experimental. A los 140 días, se observaron diferencias significativas en colonización y concentración de esporas, destacando T2 (*Acaulospora sp.*) con el mayor porcentaje de colonización (5,25%), evidenciando su potencial para mejorar la salud de las plantas y la fertilidad del suelo, así como para incrementar la eficiencia en la absorción de nutrientes y el crecimiento vegetativo del cultivo.

Bartra (2019), en este estudio se evaluó el efecto de la procedencia de hongos micorrízicos arbusculares (HFMA), niveles de inoculación y fertilización sobre el desarrollo de plantas de *Theobroma cacao L.* en vivero. A los 30 días se observaron diferencias significativas en el diámetro de las plantas, destacando el tratamiento con procedencia AGR 1 (Caserío Milagros). También se encontraron variaciones en altura y diámetro según la dosis de inoculación y el tipo de fertilización. La interacción entre procedencia y fertilización afectó significativamente la altura a los 75 días. Además, ciertos tratamientos mostraron mayor presencia de HFMA, evidenciando la importancia de la especificidad de estos hongos para el desarrollo óptimo del cacao.

Hernández (2016), en su investigación “*Prospección de la densidad de esporas y colonización de micorrizas en Theobroma cacao L. silvestre de Ucayali y Madre de Dios*” se evaluaron 54 muestras, correlacionando densidad de esporas y colonización de HFMA con atributos del suelo. Se hallaron mayores densidades de esporas (120 esporas/g) y colonización (55 %) en Ucayali, asociados a suelos más arcillosos. La colonización se correlacionó con Ca ($r = 0.65$), mientras que la densidad de esporas mostró relación con pH ($r = 0.58$), K ($r = 0.53$), Fe ($r = 0.47$), CIC efectiva ($r = 0.62$) y porcentaje de arcilla ($r = 0.59$). Se concluyó que la densidad de esporas depende principalmente del suelo, y la colonización de factores fisiológicos de la planta, predominando *Glomus sp*

A nivel nacional

Arteaga (2019), en su estudio evaluó la biofertilización de plántulas de *Theobroma cacao L.* en vivero mediante micorrizas arbusculares nativas del Bosque de Huamantanga. La inoculación por sumergimiento de raíces con esporas del género *Glomus* alcanzó una colonización del 80,25 %. Este tratamiento incrementó significativamente la biomasa de raíces y hojas de las plántulas. Además, se registró un aumento altamente significativo en los niveles

de fósforo en el suelo. Los resultados indican que la biofertilización con micorrizas arbusculares nativas mejora el crecimiento y desarrollo de las plántulas en vivero. Esta estrategia constituye una alternativa eficiente y sostenible para la producción inicial de cacao.

Becerra (2022), evaluó el efecto de *hongos micorrízicos arbusculares* (HFMA) en el crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) en campo, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos: tres dosis de HFMA (30, 60 y 90 g/planta) y un testigo, con 96 plantas en total. Los resultados indicaron que todas las dosis de HFMA mejoraron el crecimiento y la producción frente al control, destacando la dosis de 90 g/planta, que alcanzó la mayor altura (70,75 cm). Las dosis de 30 y 60 g también mostraron mejoras significativas, pero sin diferencias entre ellas. El control presentó los menores valores en todas las variables. En conclusión, 90 g/planta de HFMA fue la dosis más efectiva.

Marlo (2017), evaluó el efecto de *hongos micorrízicos arbusculares* (HFMA) nativos en plantas clonales de café en vivero en San Martín, usando 11 tratamientos con 3 repeticiones. Los resultados mostraron mejoras en las características de las plantas inoculadas, destacando el tratamiento T7 (fuente El Dorado A1) con el mayor rendimiento frente al control. Las plantas tratadas presentaron mayor altura, biomasa y desarrollo radicular en comparación con las no inoculadas. El estudio evidenció el potencial de los HFMA nativos para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas de café en vivero, indicando su utilidad como biofertilizante en sistemas de producción sostenibles.

A nivel internacional

Erazo (2013), evaluó la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo vegetal y el estado nutricional de viveros de *Theobroma cacao* L. (1753) y obtuvo mejores resultados en variables de crecimiento vegetal a partir del porcentaje de MA inoculadas con 90 DDI; asimismo, no hubo diferencia significativa en el porcentaje de secado. partes aéreas y radicales, lo que indica una mayor adhesión del injerto en la planta de *Theobroma cacao* L. (1753).

Cruz (2017), en su trabajo, examinó la respuesta del cacao (*Theobroma cacao* L 1753) y Teca (*Tectona grandis* L.f) a la micorrización en etapa de vivero utilizando hongos micorrízicos nativos (HFMA). Los principales resultados mostraron que la micorrización es beneficiosa para el crecimiento de las plantas logrando una respuesta positiva a la acumulación de materia seca y hongos micorrízicos (HFMA). Su tasa promedio de colonización de las raíces de las plántulas oscila entre el 43 % y el 75 %.

De la misma manera, Abarca y Gómez (2020) evaluaron el efecto de la inoculación de micorrizas benéficas Mycoral® en portainjertos de *Theobroma cacao* L. (1753) en etapa de desarrollo vegetativo y por lo tanto determinaron que la dosis más efectiva fue 100 g por planta, ya que mostraron mejores indicadores como altura, número y crecimiento de plantas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Micorrizas

Myco -Ual (2023), describe a las micorrizas como asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de las plantas y hongos del suelo, presentes en la gran mayoría de especies vegetales. Esta relación facilita la absorción de nutrientes y agua, y ha sido clave en la colonización de ambientes terrestres por las plantas. Aunque algunas especies pueden crecer sin hongos, muchas dependen de esta simbiosis para su desarrollo y éxito. La alimentación mediante hongos se denomina *micotrofia*, y en algunos ecosistemas las plantas son *micótrofas* obligadas. La tolerancia a la micorrización varía según la especie y la familia vegetal.

Las micorrizas arbusculares son asociaciones simbióticas entre hongos del suelo y las raíces de las plantas, en las que ambos organismos se benefician: la planta recibe nutrientes minerales y agua del suelo, mientras que el hongo obtiene compuestos carbonados producidos por la fotosíntesis. Esta interacción mejora la fertilidad del suelo, aumenta la tolerancia de las plantas a distintos tipos de estrés y protege frente a patógenos. Además, las micorrizas facilitan un flujo continuo de nutrientes entre el suelo y la planta mediante la colonización del sistema radical y la formación de un micelio externo, convirtiéndose en un componente clave de los sistemas agroecológicos y de la agricultura sostenible (Soto *et al* 2022).

2.2.2. Tipos de micorrizas

Teniendo en cuenta los grupos taxonómicos de los hongos, los cambios morfológicos y sus características estructurales, se han identificado siete tipos de micorrizas, las cuales son: *Ectomicorrizas*, *micorriza arbuscular*, *micorriza de orquídeas*, *micorriza ericoide*, *ectendomicorriza*, *micorriza arbutoide*, *micorriza monotropoide*, donde las más estudiadas son las endomicorrizas, por la manera de colonización tal como lo propone Andrade (2010).

2.2.3. Clasificación de las micorrizas

A continuación, la clasificación de las micorrizas según (Myco -Ual, 2023)

a. Ectomicorrizas

Las ectomicorrizas se caracterizan por formar un manto de micelio alrededor de la corteza de las raíces sin penetrar en las células de la planta. Las hifas se disponen entre las células, formando una red que facilita el intercambio de nutrientes. Este tipo de

micorriza es frecuente en árboles y arbustos de zonas templadas, como hayas, robles y pinos, y los hongos involucrados pertenecen principalmente a *Basidiomycota* y *Ascomycota*.

b. Endomicorizas

Las endomicorizas, especialmente las vesículo-arbusculares (VAM), colonizan la corteza radical de manera intracelular, formando arbúsculos para el intercambio de nutrientes y vesículas como reserva. Se encuentran ampliamente distribuidas en plantas de diversas familias, especialmente en suelos pobres, pastizales y selvas tropicales, y pertenecen al filo *Glomeromycota*.

c. Orquidoides o micorrizas de oville

Estas micorrizas se dan en orquídeas y son esenciales durante las primeras etapas de desarrollo, cuando la planta carece de suficiente fotosíntesis. El hongo forma ovillos dentro de las células que permiten a la plántula obtener nutrientes. En la etapa adulta, muchas orquídeas pueden sobrevivir independientemente del hongo.

d. Ericoides

Son micorrizas sencillas que se forman en raíces finas de plantas de la familia *Ericaceae*. Las hifas penetran las células y forman estructuras compactas sin organización compleja, facilitando la absorción de nutrientes en suelos pobres y ácidos.

e. Ectendomicorizas

Estos hongos combinan características de ectomicorizas y endomicorizas: presentan un manto exterior y también penetran parcialmente en las células de la raíz, aunque no forman vesículas ni arbúsculos. Se encuentran principalmente en plantas con flores y pertenecen a *Basidiomycota* y *Ascomycota*.

f. Arbutoides

Similar a las *ectendomicorizas*, estos hongos forman un manto externo y estructuras que ingresan a las células para establecer rizomas intracelulares, combinando estrategias de penetración y protección.

g. Monotropoides

Se presentan en plantas sin clorofila y algunas orquídeas, donde la planta obtiene nutrientes del hongo. La entrada del hongo a las células es particular y se

diferencia de otros tipos de micorrizas, ya que la simbiosis es más parasitaria que mutualista.

2.2.4. Principales géneros de hongos micorrícicos arbusculares

Sandoval y García (2019), describe los siguientes géneros:

a. *Glomus*

Las hifas de los hongos se transforman en arbúsculos, que lucen como árboles pequeños con troncos delgados que se ramifican, y en vesículas, que suelen ser ovaladas con paredes delgadas. Las hifas que se encuentran en la superficie de la raíz son llamadas supra radicales, mientras que las que se extienden alrededor de la raíz son las extraradicales, proporcionando estabilidad al suelo en aspectos físicos, químicos y biológicos.

b. *Paraglomus*

El crecimiento de las esporas ocurre de la misma manera que en *Glomus*, donde una parte de las hifas se expande como un globo, y a menudo, la materia orgánica se amontona en la parte exterior de la espora.

c. *Acaulospora*

Estos tipos de hongos tienen características como arbúsculos que se parecen a los de *Glomus*, vesículas dentro de las raíces que son muy diversas, algunas redondas con capas delgadas, y muestran lípidos que no forman una línea continua a lo largo de la raíz. Además, sus hifas dentro de las raíces son rectas o en forma de espiral.

d. *Gigaspora*

Este género tiene una particularidad bastante específica: unas células auxiliares con espinas que luego se convierten en hifas más gruesas. Estas células rodean las raíces y son bastante comunes al principio de la colonización, pero su presencia disminuye cuando aumenta la producción de esporas. Sus arbúsculos tienen un eje principal ancho con ramificaciones que se estrechan en los extremos.

e. *Scutellospora*

Este tipo de hongo se distingue por tener arbúsculos más grandes y largos con ramificaciones, además de puntos de entrada e hifas que rodean tanto por fuera como por dentro de la raíz en círculos cerca de esos puntos. Su forma se asemeja a la de la *Gigaspora*.

f. Archaeospora

Todas estas especies producen esporas que surgen de un saco especial llamado *sáculo esporífero* que se desarrolla en un lateral. Sin embargo, la forma en que se forman difiere: algunas lo hacen similar a las especies de Acaulospora, mientras que otras generan una espora a partir de una hifa o "*pedicelo*", al estilo del género *Glomus*.

2.2.5. Micorrizas Arbusculares

Carrillo *et al* (2022), Las micorrizas arbusculares (AM) son asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y los hongos del suelo, en las que la planta recibe nutrientes y agua, y el hongo obtiene carbohidratos. Esta relación, surgida en el Devónico temprano, fue clave para la colonización terrestre de las plantas. Las AM se encuentran en casi todos los ecosistemas y más del 80 % de las plantas las establecen, destacando su importancia ecológica y su papel en la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Los hongos micorrízicos arbusculares forman asociaciones simbióticas entre hongos del género *Glomeromycota* y la mayoría de las plantas, tanto cultivadas como silvestres. Casi todas las especies de plantas pueden convertirse en micorrizas y pueden existir en la mayoría de los hábitats. Aproximadamente el 95% de las especies de plantas conocidas desarrollan de forma natural y continua esta relación simbiótica con los hongos del suelo, puntualizado por Sandoval y García (2019).

2.2.6. Características generales de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HFMA).

Toala (2021), menciona que los hongos micorrízicos arbusculares (HFMA) son simbiontes obligados que requieren asociarse con raíces vivas para completar su ciclo vital, obteniendo de ellas carbono y otros compuestos esenciales. Dentro de la raíz y hacia el suelo, desarrollan estructuras especializadas con funciones simbióticas. Su principal beneficio radica en extender el micelio hacia zonas inaccesibles para las raíces, mejorando la absorción de nutrientes poco móviles, como el fósforo. Esta interacción se basa en la formación de arbuscúlos, que facilitan el intercambio de nutrientes entre hongo y planta. Por ello, los HFMA son considerados biofertilizantes naturales que potencian el crecimiento vegetal.

Robles *et al* (2023), señala que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen simbiosis con cerca del 80% de las especies vegetales, actuando como aliados naturales en la captación de nutrientes y agua. Su presencia favorece el crecimiento y la resistencia de numerosos cultivos, incrementando su rendimiento y capacidad de adaptación en diferentes condiciones de suelo y clima.

2.2.7. Las micorrizas arbusculares y la nutrición vegetal

Los hongos micorrícicos desempeñan un papel vital en el bienestar de las plantas, mejorando la absorción de nutrientes y su resistencia a diversos factores estresantes. Esta asociación simbiótica enriquece la calidad del suelo y promueve la diversidad vegetal y la productividad del ecosistema. Las micorrizas aumentan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, especialmente el fósforo, que es escaso en muchos suelos. Sin embargo, el contenido excesivo de fósforo puede inhibir esta asociación en entornos donde no es un recurso limitante. (Saparrat, Ruscitti, y Arango, 2020).

2.2.8. Uso de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) en la agricultura

El uso de fertilizantes demanda alta cantidad de energía, acentuando el agotamiento de recursos y el daño ambiental. Los hongos micorrícicos arbusculares en la agricultura pueden ayudar a mitigar estos problemas, ofreciendo una alternativa más sostenible para mantener niveles de productividad agrícola necesarios para alimentar a una población mundial en crecimiento (Méndez, 2021).

A pesar del enorme potencial que tiene el uso de HFMA, su utilización raramente se ha aplicado en la agricultura de gran escala. Toala, (2021), menciona cuatro razones principales:

1. La manera en que las plantas crecen cuando son colonizadas por hongos micorrícicos arbusculares depende de la combinación específica entre la planta y el hongo. Esto significa que la respuesta de una planta a diferentes tipos de estos hongos puede variar ampliamente, desde tener un efecto positivo hasta uno negativo en su producción.
2. Es crucial garantizar la inoculación efectiva con hongos micorrícicos arbusculares beneficiosos debido a la especificidad de la unión planta-hongo. En los suelos agrícolas, hay comunidades naturales de estos hongos, algunos podrían no ser beneficiosos y colonizar las plantas. Para prevenir esto, se deben introducir aislamientos competidores o realizar la inoculación antes de que los hongos nativos se establezcan en el campo.
3. La efectividad del inoculante de hongos micorrícicos arbusculares depende de las condiciones específicas del suelo. Por ejemplo, un inoculante diseñado para suelos templados podría no ser efectivo en regiones tropicales debido a factores como el aluminio tóxico, el pH bajo o la presencia de minerales específicos.
4. La producción comercial de inoculantes de hongos micorrícicos arbusculares es complicada y costosa debido a la dificultad de aislar estos hongos del suelo, lo que requiere mucho trabajo. Se necesitan expertos para confirmar su identidad y determinar su beneficio para especies de plantas específicas en ambientes particulares. El desafío

radica en que estos hongos solo se multiplican en simbiosis con la planta, lo que implica una intensa mano de obra y la necesidad de invernaderos a gran escala.

Wilches *et al* (2022), Los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) se utilizan para mejorar la absorción de nutrientes y la movilidad de minerales en las plantas, optimizando su crecimiento y productividad. Se ha evidenciado que favorece la altura de planta, diámetro de tallo, contenido de clorofila, absorción de nutrientes específicos y materia seca. Además, pueden reducir hasta en un 50 % la necesidad de fertilización química, haciendo el cultivo más eficiente y sostenible.

2.2.9. Nutrientes que afectan y estimulan la micorrización

a. El Fósforo (P)

Pérez (2018), menciona que la micorriza arbuscular desempeña un papel vital al suministrar fósforo a las plantas, contrarrestando su inmovilidad en el suelo. Aunque se agregue fósforo soluble, este tiende a formar compuestos inmóviles como fosfato cálcico. La disponibilidad depende de factores del suelo, incluyendo la fijación inorgánica con cationes como Fe^{3+} , Al^{3+} o Ca^{2+} y la formación de complejos organofosforados. Además, los aniones fosfato se difunden lentamente hacia las raíces, limitando su absorción.

b. El Nitrógeno (N)

Los HFMA no tienen un papel directo en la absorción de nitrógeno, pero mejoran la capacidad de fijación de nitrógeno en las leguminosas. La mayoría de las plantas colonizadas se benefician de esta simbiosis, lo que aumenta el crecimiento, la absorción de nutrientes y la fijación de nitrógeno atmosférico como lo indica Toala (2021). Además, la inoculación de HFMA muestra beneficios en plantas con bajos niveles de fósforo en el suelo, mientras que los fertilizantes nitrogenados afectan negativamente esta simbiosis (Bartra, 2019).

2.2.10. Simbiosis planta-hongo.

Vásquez (2022), ha manifestado que el hongo se une a la raíz formando arbusculos para aumentar el contacto. Las hifas son cortas y dicotómicas. Las vesículas son estructuras de almacenamiento en los extremos de las hifas.

Las hifas externas se dividen en tres tipos: infecciosas, absorbentes y fértiles. La colonización hifal puede ser de tipo *Arum* o *París*. En *Arum*, las hifas crecen intercelularmente con arbusculos en la corteza de la raíz; en *París*, crecen como arbusculos dentro de las células, formando rizos.

2.2.11. La simbiosis de la micorriza arbuscular

Está formado por las raíces de más del 80% de las especies de plantas terrestres y del orden de hongos *Zygomycetes*.

Trejo *et al* (2021), indican que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman simbiosis con las raíces del cacao, aumentando la absorción de nutrientes, mejorando la eficiencia en el uso del agua, la asimilación de carbono y la arquitectura radical, lo que favorece el crecimiento y la productividad del cultivo. La efectividad de esta simbiosis depende de la especie de cacao, del tipo de HMA y de las condiciones del suelo. La introducción de HMA en plantaciones de cacao puede optimizar la fertilidad de suelos degradados y, al interactuar con bacterias fijadoras de nitrógeno, mejora el suministro de fósforo y nitrógeno, promoviendo un desarrollo más vigoroso y saludable de las plantas.

2.2.12. Beneficios de simbiosis micorrízica

El interés en los hongos micorrízicos está creciendo debido a su capacidad para aumentar la absorción de nutrientes esenciales como fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, zinc y magnesio; tal como lo indica Toala (2021). El autor asevera que mejoran el transporte y la absorción de agua en las plantas, y ayudan a prevenir ataques de patógenos al estimular los mecanismos de defensa bioquímicos. Las ventajas de las simbiosis con HFMA para las plantas incluyen:

- a. Aumentan el área explorada por las raíces
- b. Reduce el estrés abiótico (sequía, salinidad, metales pesados)
- c. Producen hormonas vegetales
- d. Promueven la absorción de nutrientes de las plantas, principalmente fósforo y oligoelementos, especialmente elementos fijos como cobre, zinc y hierro.
- e. Producen *glomalina*, que mejora la estructura del suelo al unirse a las partículas del suelo.
- f. Inducen protección contra ciertos patógenos del suelo.

2.2.13. Importancia de los HFMA en plantas

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representa una estrategia relevante en la agricultura al favorecer el ciclaje y reciclaje de nutrientes, optimizando la nutrición del cultivo y reduciendo la dependencia de fertilizantes y enmiendas químicas. Estos hongos establecen una simbiosis con la planta basada en el intercambio de carbohidratos por nutrientes, lo que permite mejorar la absorción incluso en condiciones de baja disponibilidad (Wilches, 2019).

2.2.14. Características y beneficios de las micorrizas en el sistema suelo-planta

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que mejoran la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, incrementan la resistencia de las plantas al estrés y a patógenos, y favorecen la conservación del suelo. Su aplicación en especies nativas representa una estrategia biotecnológica para la recuperación de suelos y el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, reduciendo la dependencia de fertilizantes y promoviendo un manejo más eficiente de los recursos (Carrillo *et al*, 2022).

2.2.15. Ventajas de los hongos micorrízicos arbusculares

Los hongos micorrízicos son comunes en muchos suelos, incluidos los agrícolas, y su uso en agricultura puede mejorar la eficiencia del agua, reducir el uso de fertilizantes químicos y sustancias contaminantes, y proporcionar servicios ecológicos como la formación de islas de recursos y la promoción de la diversidad vegetal. Además, actúan como bioinoculantes al facilitar la absorción de nutrientes esenciales y proteger a las plantas contra patógenos. Es crucial seleccionar las especies de micorrizas adecuadas para una simbiosis exitosa, considerando la infectividad según el huésped, lo que favorece el crecimiento de las plantas en los agroecosistemas micorrízicos. (Sandoval y García, 2019).

2.2.16. Funciones y beneficios de las micorrizas

Delgado y Gutiérrez (2022), indican que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) cumplen funciones esenciales y aportan múltiples beneficios en los sistemas agrícolas. Favorecen la tolerancia a factores de estrés abiótico, mejorando la capacidad de las plantas para resistir sequías, salinidad y otras condiciones adversas. Estimulan el crecimiento vegetal y con ello incrementan la productividad de los cultivos. También participan en el biocontrol de plagas, reduciendo la dependencia de agroquímicos. Contribuyen a la mejora de la calidad del suelo, optimizando su estructura y fertilidad. Además, facilitan la absorción y acumulación de metales pesados, ayudando a la fitorremediación. Finalmente, los HMA tienen un papel en la mitigación del cambio climático, al promover suelos más saludables y resilientes que sostienen la seguridad alimentaria.

Las plantas micorrizadas ofrecen funciones y beneficios clave en los ecosistemas. Una de ellas es la bioacumulación de metales pesados como plomo, arsénico, cobre y cadmio, contribuyendo a la recuperación de suelos contaminados. También facilitan la transferencia de nutrientes entre plantas mediante las conexiones miceliarias. El intercambio de nutrientes se da en la periferia de la raíz gracias a estructuras como las hifas extrarradicales, el manto micelial y la red de *Hartig*, reguladas por la actividad enzimática. La colonización genera cambios morfológicos en las raíces, optimizando la absorción y el transporte de nutrientes. Además, esta interacción favorece la expresión de genes en planta y hongo, mejorando la adaptación a condiciones de estrés (Carrillo *et al* 2022).

2.2.17. Efecto de los HFMA en el crecimiento de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero

Pacheco y Barcos (2022), afirmaron que las micorrizas arbusculares HFMA es una simbiosis mutua entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas. Estas asociaciones son beneficiosas tanto para los hongos como para las plantas, mejoran la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y brindan otros beneficios al crecimiento de las plantas. Aunque las reacciones químicas específicas pueden ser complejas y variar dependiendo de la especie involucrada, se describen algunas de las interacciones químicas y procesos asociados con las micorrizas arbusculares en las raíces del *Theobroma cacao* L. (1753) en un ambiente de vivero.

Leblanc y Márquez (2014), mencionan que la asociación simbiótica con hongos micorrízicos arbusculares (HFMA) aporta beneficios clave al cultivo de *Theobroma cacao* L. (1753). Favorece la absorción de nutrientes esenciales, especialmente fósforo, en suelos pobres. Incrementa la tolerancia al estrés abiótico, como sequía y salinidad, mejorando la supervivencia y crecimiento en condiciones adversas. Estimula el desarrollo radicular, generando un sistema más extenso y eficiente en la captación de agua y nutrientes. Además, brinda protección frente a patógenos del suelo, resguardando las raíces de enfermedades.

2.2.18. Reacciones químicas del HFMA en la raíz del *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero

Trejo *et al* (2021), Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) cumplen un rol clave en el intercambio de nutrientes con las plantas, favoreciendo especialmente la absorción de fósforo del suelo. En esta simbiosis, las plantas aportan compuestos orgánicos producto de la fotosíntesis, mientras que los hongos amplían la capacidad de absorción de nutrientes. Además, los HMA liberan enzimas como la fosfatasa ácida, que solubiliza el fósforo en formas orgánicas o insolubles, facilitando su disponibilidad. Este proceso optimiza la nutrición vegetal, mejora la eficiencia del uso de recursos y promueve un crecimiento más saludable y sostenible de las plantas.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HFMA) facilitan la absorción de nutrientes y agua mediante redes de hifas que amplían la superficie radicular. Tal como lo afirma Pacheco y Barcos (2022) al indicar que esta estructura incrementa la eficiencia en la captación de recursos del suelo. Además, la simbiosis micorrízica estimula los mecanismos de defensa de las plantas, reforzando su resistencia frente a patógenos y enfermedades del suelo. Asimismo, influye positivamente en la microbiota edáfica, favoreciendo una mayor diversidad microbiana. Todo ello contribuye al crecimiento, vitalidad y salud integral de las plantas en distintos ecosistemas agrícolas y naturales.

2.2.19. El rol de las micorrizas arbusculares en la restauración de suelos degradados

Valdés *et al* (2020), menciona que el suelo es esencial para la vida en la Tierra, proporcionando nutrientes, humedad y soporte a la vegetación, microorganismos y fauna. Su salud es crucial para la agricultura al favorecer el enraizamiento, suministrar nutrientes y permitir el acceso al oxígeno. Sin embargo, la actividad humana y el cambio climático pueden provocar su degradación, manifestada en la pérdida de vegetación y la reducción de la productividad agrícola. Esto se acompaña de cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como de una mayor demanda de agua y una mayor vulnerabilidad a la erosión. La degradación del suelo es un problema global que amenaza la seguridad alimentaria y genera pérdidas económicas. Los indicadores químicos, físicos y biológicos se utilizan para evaluar su calidad, lo que permite medir su funcionalidad y capacidad productiva.

2.2.20. Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en vivero.

Sandoval y García (2019), manifiestan que el uso de hongos micorrízicos para el cultivo de plántulas en etapa de vivero puede considerarse una práctica obligatoria en vivero, lo cual es una opción económica y ecológicamente justificada, incrementando el valor nutricional y la calidad del cultivo, impulsando así la producción y contribuyendo así a una producción más sostenible. y menos dependiente de los insumos.

2.2.21. Métodos de obtención del inóculo MVA

Todos los métodos de propagación de hongos micorrízicos se inician con la obtención de esporas a partir del suelo de un lugar específico o de una colección previamente establecida. El inóculo puede estar conformado por una especie única o por un consorcio, y las soluciones nutritivas empleadas en el mantenimiento de las plantas deben mantener niveles bajos de fósforo, a fin de favorecer una colonización eficiente y una esporulación rápida y abundante (Bécquer *et al* 2021).

a. Propagación *in vitro*

Estos microorganismos requieren raíces para su desarrollo, por lo que se emplean raíces transformadas mediante la inserción del plásmido *Ri T-DNA* de *Agrobacterium rhizogenes*, Sandoval y García (2019), afirman que estimula el crecimiento y la ramificación. Dichas raíces, cultivadas en un medio especial (M) y en oscuridad por 2 a 4 meses, generan esporas e hifas abundantemente colonizadas; sin embargo, este método presenta un alto riesgo de contaminación por bacterias y otros hongos.

b. En arcilla expandida

Sisalima y Capa (2023), describen que la producción de inóculo de MVA consiste en colonizar plantas huésped con un hongo seleccionado, utilizando semillas esterilizadas en arena con material fúngico. Tras semanas en condiciones controladas, las raíces se colonizan, luego se trasplantan a macetas con arcilla esterilizada y se estimula la esporulación. El inóculo final, compuesto por raíces micorrízicas y suelo con micelio y esporas, se almacena en lugar fresco y seco. Este método es económico y sencillo, pero requiere manejo cuidadoso para evitar contaminación con patógenos.

c. Cultivo aeropónico

Cotrina y Carreño (2019), describen a este método como un sistema en el que las plantas colonizadas por MVA se suspenden en una niebla de nutrientes sin tierra, favoreciendo una colonización rápida y abundante. Este método permite producir inóculo eficiente de *Glomus* en 12–15 semanas. Luego, las raíces se cortan, se aíslan las esporas mediante tamizado y se muelen hasta obtener un producto limpio, uniforme y denso.

2.2.22. Plantas para inóculo.

El procedimiento botánico tiene la ventaja de proporcionar un inóculo actualizado que contiene una variedad de especies viables representativas del hábitat muestreado, lo cual es importante en regiones áridas donde algunas especies de hongos micorrízicos, como las especies comunes, han reportado poco o ningún reporte esporulación. Si el manejo se diseña correctamente, las plantas son las mejores herramientas para comprender mejor el papel de los hongos micorrízicos y su posible aplicación a cultivos económicamente importantes (Torres, 2010).

2.2.23. Potencial de la inoculación.

Según lo manifestado por Sandoval y García (2019), la inoculación puede ser útil cuando la calidad del suelo es mala, el número de micorrizas naturales es bajo, las plantas responden muy bien a las micorrizas y/o el medio está total o parcialmente esterilizado. La mayor viabilidad económica de la inoculación es para cultivos (árboles y hortalizas) que requieren una etapa de semillero o vivero, donde los costos de inoculación son menores y se puede mantener y desarrollar la colonización de raíces con hongos introducidos.

2.2.24. Generalidades del *Theobroma cacao* L. (1753)

El cacao (*Theobroma cacao* L. 1753), es un cultivo de gran importancia económica en el Perú y a nivel mundial. Perú destaca como uno de los principales productores y proveedores

de *Theobroma cacao* L. (1753) aromático, además de ser el segundo productor de *Theobroma cacao* L. (1753) orgánico a nivel global. Las provincias amazónicas, especialmente Bagua y Utcubamba, son importantes productoras de *Theobroma cacao* L. (1753), conocido localmente como "cacao amazónico peruano" debido a su distintivo aroma. Por lo tanto, comprender las comunidades microbianas beneficiosas presentes en el suelo y su relación con las plantas es fundamental para este cultivo. (Llanos *et al.*, 2023).



Figura 1. Composición sistemática del *Theobroma cacao* L. (1753)

Fuente: MasScience (2023)

Tal como se aprecia en la Figura 1, el *Theobroma cacao* L. (1753) es un árbol de hasta 12 m de altura con follaje *semicaducifolio*. Sus hojas son redondeadas o en forma de corazón, con pecíolos de 14 a 27 cm y extremos puntiagudos. Las inflorescencias son *cimosas*, con flores pentámeras, hermafroditas y simétricas. El fruto, o mazorca, es una baya polimorfa de 10 a 35 cm de largo, 7 cm de ancho y 200–1000 g de peso, con colores que varían de púrpura a amarillo. La raíz principal es pivotante, acompañada de raíces secundarias superficiales. Las semillas son ovales, ligeramente achatadas, de 20–50 mm de largo, 12–16 mm de ancho y 7–12 mm de grosor. Este sistema radicular extenso favorece la absorción de nutrientes y la estabilidad del árbol.

Vallejos *et al.*, (2022), menciona que el *Theobroma cacao* L. (1753) es un cultivo clave para la economía en Perú y otros países, pero su sostenibilidad se ve afectada por el uso excesivo de fertilizantes químicos. Los hongos micorrízicos arbusculares (HFMA) pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes, restaurar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes, contribuyendo a una producción más sostenible. Además, estos hongos fortalecen la salud de las raíces, aumentan la absorción de agua y minerales, y favorecen un crecimiento más vigoroso de las plantas, lo que puede incrementar la productividad y reducir los impactos ambientales negativos asociados a la agricultura intensiva.

Noboa, (2019), menciona que el árbol de *Theobroma cacao* L. (1753) tiene un aspecto distintivo: a pesar de no ser muy alto, generalmente alcanza entre 10 y 20 metros de altura. Su tronco presenta una corteza rugosa de color marrón grisáceo, comúnmente cubierta de líquenes y hongos de diversos colores, típicos de la selva tropical. Las hojas maduras son grandes y brillantes, mientras que las jóvenes son suaves y de color rojo, volviéndose verdes y duras a medida que maduran. Debido a que el *Theobroma cacao* L. (1753) retiene tanto las hojas jóvenes como las maduras, ambos tipos pueden encontrarse en el mismo árbol.

López *et al* (2020), afirma que el cultivo del *Theobroma cacao* L. (1753) comenzó con pueblos indígenas de México y América Central, quienes consumían la bebida amarga llamada *xocoatl*. En 1550, los españoles añadieron azúcar y vainilla, lo que permitió que el chocolate y la demanda de sus semillas se difundieran globalmente.

2.2.25. Clasificación taxonómica del *Theobroma cacao* L. (1753)

IICA (2017) menciona la clasificación taxonómica del *Theobroma cacao* L. (1753):

Reino	:	Vegetal
Subreino	:	<i>Tracheobionta</i>
División	:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	:	<i>Dilleniidae</i>
Orden	:	<i>Malvales</i>
Familia	:	<i>Esterculiaceae</i>
Subfamilia	:	<i>Byttnerioideae</i>
Tribu	:	<i>Theobromeae</i>
Género	:	<i>Theobroma</i>
Especie	:	<i>Theobroma cacao</i> L. (1753)

2.2.26. Descripción botánica.

Quevedo *et al* (2020), afirma que el cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) es una especie cultivada en regiones comprendidas entre los 20° de latitud Norte y Sur, con su mayor diversidad genética localizada en América, especialmente en México, Ecuador, Brasil, Venezuela y Perú. Se reconocen tres grandes genotipos: Criollos, Forasteros amazónicos y Trinitarios, que presentan variabilidad en características morfológicas y productivas. En Ecuador, considerado uno de los principales centros de diversidad y domesticación temprana del cacao, se han hallado evidencias arqueológicas de más de 3500 años que demuestran su cultivo y aprovechamiento.

López *et al* (2018), *Theobroma cacao* L. 1753, es un árbol de porte medio que puede alcanzar hasta 10 m de altura. Sus hojas son simples, de forma lanceolada a oval y con nervaduras pinnadas. Produce inflorescencias en forma de cima decasiforme que emergen directamente del tronco y de las ramas, con flores hermafroditas. El fruto, conocido como mazorca, es una drupa de aspecto elipsoidal u ovalado que contiene de 30 a 40 semillas con cubierta coriácea. Estas características morfológicas permiten identificarlo como una especie de gran valor agrícola y económico

2.2.27. Tipologías de cultivares

Los cacaos “*criollos*” tienen características de sabor suave y aromático, pero es muy susceptible a enfermedades y bajo rendimiento; el fruto es delgado, con una punta distintiva, curvada y afilada y una superficie verde, delgada y rugosa con manchas que parecen salpicaduras de color rojo a morado intenso. Alrededor de 10 surcos profundos; sus granos de *Theobroma cacao* L. (1753) son grandes, gruesos, de forma casi redonda, los cotiledones son blancos o de color pobre, bajos en taninos y ricos en aroma y sabor, por lo que estos granos de *Theobroma cacao* L. (1753) te brindan un chocolate de alta calidad (Trinidad, 2017).

Los cacaos “*forasteros*” domina actualmente la producción mundial y el comercio de alimentos; el fruto es ovalado, corto, de color verde a amarillo cuando está maduro, con una superficie lisa y una piel gruesa de color marrón. Sus granos son pequeños y planos, y su color varía del morado oscuro al lavanda según el contenido de taninos. Se cree que la enorme biodiversidad de la especie se basa en este tipo de *Theobroma cacao* L. (1753) (IICA, 2017).

Los *Theobroma cacao* L. (1753)s “*trinitarios*” es resultado generados como consecuencia de la hibridación de criollos por forasteros; estas especies de *Theobroma cacao* L. (1753) son genética y morfológicamente muy heterogéneas, con plantas caracterizadas por un crecimiento vigoroso, frutos verdes o pigmentados y colores de semillas que van del morado oscuro al rosa, y actualmente representan aproximadamente el 15% de la producción mundial; sus granos y crepes Todos los granos de *Theobroma cacao* L. (1753) son valorados en el mercado por su calidad (Maldonado, 2022).

2.2.28. Sistemas de propagación del *Theobroma cacao* L. (1753).

El *Theobroma cacao* L. (1753) se puede propagar de dos formas: sexual (mediante semillas) y asexual (mediante esquejes, acodos e injertos). En primer lugar, se utilizan semillas de plantas, por lo que es necesario conocer las características de las plántulas para poder tratarlas adecuadamente. La reproducción asexual se produce a través de la parte vegetativa de la planta y no cambia la composición genética, ya que la nueva planta tiene todas las

características de la planta madre. Sin embargo, algunos factores como el clima, el suelo o las plagas y enfermedades pueden cambiar el fenotipo de la planta (Rada, 2023).

Damiano, (2021), indica que la propagación sexual, tiene desafíos en la producción debido a la *alogamia* y la complejidad floral del *Theobroma cacao L. (1753)*, lo que puede resultar en variaciones en los frutos. Esto se puede mitigar mediante semillas mejoradas obtenidas a través de cruces selectivos. Por otro lado, la propagación asexual es el método preferido por su facilidad y economía, ya que utiliza partes vegetativas de la planta madre y preserva sus características genéticas. Es crucial considerar los factores ambientales antes de la propagación para facilitar la adaptación y evitar el estrés en las nuevas plantas.

2.2.29. Preparación del sustrato para los plántones de *Theobroma cacao L. (1753)*

Maldonado (2022), menciona que la calidad del sustrato es esencial para el cultivo de *Theobroma cacao L. (1753)* en viveros, compuesto por tierra, arena y materia orgánica, que brinda soporte y protección a las raíces. Debe garantizar ventilación, retención de agua y buen drenaje, con pH óptimo entre 5,5 y 6,5. Se recomienda una mezcla de 50% tierra de calidad, 25% materia orgánica (*vermicompost*) y 25% arena, libre de patógenos y malezas, asegurando estructura estable y adecuada absorción de nutrientes.

2.2.30. Tipo de sustratos

a. Sustrato natural

Según Damiano (2021), el sustrato natural se toma de 10 centímetros de tierra suelta, que es de color casi blanco o negro y contiene materia orgánica beneficiosa para el desarrollo de las plantas. Este tipo de sustrato se encuentra en las montañas o purmas, así como en ríos y arroyos.

b. Sustrato especial

El sustrato especial es una mezcla de tierra, arena y fertilizante artificial. Esta mezcla conviene realizarla si se desea aumentar el contenido de nutrientes de las plantas para un buen rendimiento y un buen desarrollo (Damiano, 2021).

2.2.31. Manejo agronómico del *Theobroma cacao L. (1753)*

Cuadros *et al* (2010), señalan que afirman que el manejo agronómico del *Theobroma cacao L. (1753)* requiere climas cálidos y húmedos, con 25–29 °C, 1400–3000 mm de precipitación bien distribuida y humedad relativa del 70–80 %. La luminosidad óptima es del 40–50% en siembra y 60–75 % en producción. Se cultiva desde el nivel del mar hasta 1200 m.s.n.m., siendo ideal entre 500–1200 m. Los suelos deben ser profundos (0,6–1,5 m), bien

drenados, con pH 5,5–7,0, >3 % de materia orgánica y textura franco a franco arcilloso o arenoso.

2.2.32. Condiciones climáticas para el *Theobroma cacao* L. (1753).

a. Precipitación

Es necesaria una cantidad suficiente de agua para el desarrollo de los procesos fisiológicos del *Theobroma cacao* L. (1753). Dado que las precipitaciones varían mucho de una región a otra, se convierten en un factor que determina las diferencias en el manejo de los cultivos. Las precipitaciones anuales en el *Theobroma cacao* L. (1753) oscilan entre 1600 y 2500 mm distribuidos durante todo el año. Si las precipitaciones superan los 2600 mm, afectará la producción de cultivos (Benito, 2010).

b. Temperatura

La temperatura en vivero es un factor determinante para el adecuado desarrollo del cacao, ya que influye directamente en su crecimiento y adaptación inicial. El rango ideal se encuentra entre 15 y 32 °C, siendo 25 °C el óptimo para favorecer la germinación, el establecimiento y el vigor de las plántulas. Mantener condiciones térmicas adecuadas en esta etapa asegura un buen desarrollo radicular y foliar, incrementando la probabilidad de éxito en el trasplante al campo definitivo (Francisco *et al* 2023).

c. Viento

El cacao es un cultivo sensible a vientos fuertes, los cuales reducen el área foliar y dañan las hojas, afectando su rendimiento. Aunque se utilicen cortinas rompevientos, estas pueden ser insuficientes frente a velocidades elevadas. La planta requiere ambientes de baja incidencia de viento, temperaturas estables y alta humedad relativa. Estas condiciones favorecen el crecimiento vegetativo y la producción de frutos de calidad. Por ello, su adaptación depende de un microclima protegido y equilibrado. (Garay *et al*, 2024).

d. Altitud

El *Theobroma cacao* L. (1753) crece mejor en zonas tropicales desde el nivel del mar hasta los 800 metros sobre el nivel del mar. Pero en latitudes cercanas al Ecuador, las plantaciones normalmente pueden desarrollarse a alturas de entre 1.000 y 1.400 metros. En las plantaciones de *Theobroma cacao* L. (1753), la altitud es un factor secundario frente a los factores climáticos y edáficos (Damiano, 2021).

e. Luminosidad

La luz es esencial para la fotosíntesis y el desarrollo del cacao, tradicionalmente visto como tolerante a la sombra; sin embargo, estudios demuestran su plasticidad para aclimatarse a alta intensidad lumínica. Clones evaluados mantienen eficiencia fotosintética y estabilidad del fotosistema II sin fotoinhibición, lo que mejora la asimilación de carbono y el rendimiento, aunque la respuesta varía según el genotipo, la nutrición y el manejo agronómico. (Osorio *et al* 2023).

f. Humedad relativa (HR)

La humedad relativa óptima para la productividad del *Theobroma cacao L. (1753)* está entre el 70% y el 80%. Utilizando estos datos, las plantaciones se pueden colocar junto a otras especies de árboles altos para mantener la humedad relativa en el rango ideal. Esto debe tenerse en cuenta en el sistema de cultivo y el bosque debe podarse cada año para no dañar las plantaciones de *Theobroma cacao L. (1753)* y así no crear un microclima que favorezca el crecimiento de plagas y enfermedades. (Llamo, 2023).

2.2.33. Requerimientos de clima y suelo del *Theobroma cacao L. (1753)*

El crecimiento, desarrollo y rendimiento de *Theobroma cacao L. (1753)* dependen en gran medida de las condiciones ambientales y del suelo donde se cultivan. Factores climáticos como la temperatura, las precipitaciones, el viento y la radiación solar influyen directamente en procesos fisiológicos clave, incluyendo la nutrición, la floración y la fructificación, los cuales son determinantes importantes para la productividad del cultivo. (Garay *et al*, 2024).

a. Clima

La temperatura influye significativamente en el crecimiento y la floración de *Theobroma cacao L. (1753)*, siendo óptima entre 15°C y 30°C, idealmente 25,5°C. La sequía y vientos fuertes afectan negativamente su desarrollo, mientras que la alta humedad favorece el crecimiento, pero puede aumentar el riesgo de enfermedades fúngicas. La falta de sombra junto con vientos intensos también provoca caída prematura de hojas y flores (Llamo, 2023).

b. Suelo

El suelo es un sistema estructurado con propiedades biológicas activas que se forma en la capa superior de la corteza terrestre. Las rocas están expuestas a factores meteorológicos (frío, calor, lluvia, oxidación, hidratación, etc.) y forman fragmentos de roca (Rosas, 2021).

La productividad de *Theobroma cacao* L. (1753) depende de suelos con propiedades físicas, químicas y biológicas óptimas, preferiblemente profundos, ricos en materia orgánica y bien drenados. Se recomienda cobertura vegetal para proteger raíces superficiales. Aunque puede adaptarse a distintos suelos, los rendimientos disminuyen en suelos de baja calidad, mejorándose mediante manejo adecuado (Noboa, 2019).

2.2.34. Importancia del cultivo de *Theobroma cacao* L. (1753)

H Pastor *et al* (2022), indica que el cacao constituye una alternativa agrícola viable frente a cultivos ilícitos como la coca, impulsando el desarrollo económico y social desde la década de 1990. Su cultivo favorece la conservación y utilización de recursos genéticos, mediante colecciones de germoplasma y la preservación de variedades nativas en áreas protegidas o menos manejadas. El uso de clones e híbridos mejorados, como el CCN51, ha permitido incrementar la productividad y reducir la susceptibilidad a plagas y enfermedades, fortaleciendo la competitividad del sector y la investigación académica, desarrollo e innovación en cacao.

2.2.35. Vivero de *Theobroma cacao* L. (1753)

Según Llamo (2023), la construcción del vivero busca favorecer el desarrollo inicial de *Theobroma cacao* L. (1753) al proporcionar temperatura, humedad y sombra adecuadas, así como controlar la germinación de semillas y la producción de plántulas en cantidad y calidad. Es fundamental contar con agua de riego y suelo bien drenado, seleccionar semillas híbridas o clones para mayor eficiencia comercial, y ubicar el vivero con acceso a transporte y riego. Además, el área debe estar desmalezada y nivelada, regando regularmente durante sequías o lluvias ligeras para evitar encharcamientos.

2.2.36. Diseño de la plantación

Rosas (2021), menciona que en el Perú las prácticas de espaciamiento de plantas varían de una región a otra e incluso dentro de la misma región. La distancia óptima para el *Theobroma cacao* L. (1753) es aquella en la que el rendimiento por unidad de superficie sea alto y sostenible. En general, se suele utilizar una distancia de 3m x 3m. Esta densidad nos permite instalar 1.111 plantas en sitio con diseño cuadrado o 1.287 plantas con diseño desfasado.

a. Sombra temporal

La sombra temporal en los cultivos de cacao se utiliza como estrategia para proteger las plantas durante las etapas críticas de su desarrollo, aprovechando

su condición umbrófila. Esta sombra, proporcionada por especies asociadas de rápido crecimiento, ayuda a regular la radiación y la temperatura, mejorando el desempeño fisiológico y reduciendo la transpiración excesiva. Además, en condiciones de alta radiación y limitaciones hídricas, los sistemas de sombra temporal actúan como medida de adaptación que contribuye a mantener el estatus hídrico de los árboles, favoreciendo su crecimiento y productividad antes de establecer sistemas agroforestales permanentes. (Ordóñez *et al* 2021).

b. Sombra permanente

Los árboles maderables como caoba, cedro, laurel, etc. También se pueden utilizar como sombra permanente en los bordes del jardín. La especie arbórea más utilizada en los territorios de selva es la guaba (*Inga edulis*) y el espaciamiento entre plantas más utilizado es de 8 m x 8 m lo que determina 156 plantas por hectárea (Damiano 2021).

2.2.37. Instalación y manejo de la plantación

Según Rosas (2021), a partir del trasplante a campo definitivo se inicia diversos trabajos de cultivo como: control de malezas, fertilización, remoción temporal de sombra, desmalezado, poda, manejo de sombra, trasplante, control de plagas y enfermedades. Se recomienda realizar un agujero de 40 x 40 x 40 cm sombra temporal para plátanos, 30 x 30 x 30 cm para *Theobroma cacao* L. (1753). La tierra extraída del hoyo durante la siembra debe mezclarse con abono, estiércol bien descompuesto o materia orgánica superficial y devolverse al hoyo. Es importante separar los primeros 10 cm de tierra y colocarla en el fondo del hoyo.

2.2.38. Aspectos que influyen en el desarrollo de los plántones de *Theobroma cacao* L. (1753)

a. Selección de sustratos y contenedores

Selección de Sustratos: La elección adecuada del sustrato es crucial para el crecimiento óptimo de los plántones de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero. Según García *et al.* (2019), la composición física y química del sustrato incide directamente en el desarrollo inicial de las plántulas. Los autores señalan que la combinación de materiales orgánicos como compost o fibra de coco con perlita o vermiculita puede mejorar la retención de agua y nutrientes, promover un crecimiento saludable de las raíces y un intercambio óptimo de gases (García *et al.*, 2019).

Además, estudios recientes han resultado la importancia de la estructura porosa del sustrato en el desarrollo radicular de *Theobroma cacao* L. (1753). Según Martínez y Torres (2020), Una aireación adecuada es esencial para evitar

problemas de pudrición de las raíces y estimular el desarrollo de las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)* en el vivero. Por lo tanto, una combinación de materiales que proporcionen una porosidad y un drenaje adecuados es fundamental para el éxito del cultivo de plántulas de *Theobroma cacao L. (1753)*.

Selección de Contenedores: El tipo de recipiente utilizado en el vivero también juega un papel crucial en el desarrollo inicial de las plántulas de *Theobroma cacao L. (1753)*. Según Perea *et al.* (2018), los contenedores que permiten un buen desarrollo radicular, como bolsas de polietileno perforadas o contenedores de tamaño adecuado, estimulan el crecimiento inicial de las plántulas al proporcionar suficiente espacio para un desarrollo de raíces sanas y vigorosas (Perea *et al.*, 2018).

La elección del recipiente puede influir en la regulación de la temperatura del sustrato y proteger contra las fluctuaciones ambientales. Estudios realizados por Ramírez y Gómez (2021) sugieren que los contenedores con propiedades aislantes, como los fabricados con materiales orgánicos, mantienen una temperatura más constante en el sustrato. Esto favorece el crecimiento uniforme de las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)* y reduce el estrés causado por cambios bruscos de temperatura.

Elegir el sustrato y el recipiente adecuados es fundamental para el crecimiento inicial de las plántulas de *Theobroma cacao L. (1753)* (Rodríguez *et al.*, 2020). Sustratos con buenas propiedades físicas y químicas, como la capacidad de retener agua y nutrientes, tiene un impacto significativo en la supervivencia inicial de las plántulas.

b. Manejo de la luz y temperatura

Según estudios recientes, la luz juega un papel fundamental en la fotosíntesis de las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)*. Investigaciones realizadas por García *et al.* (2020) indican que una exposición suficiente a la luz en la etapa de vivero aumenta el rendimiento de biomasa y mejora la calidad de las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)*.

En relación con la temperatura, estudios como el de Martínez y Gómez (2018) han demostrado que los estudios de *Theobroma cacao L. (1753)* son sensibles a los cambios de temperatura, especialmente en las primeras etapas de su crecimiento. Una temperatura óptima entre 25-30°C promueve el crecimiento de plántulas sanas en viveros de plántulas, mientras que las temperaturas extremas pueden afectar

negativamente su desarrollo, retrasando el crecimiento e incluso causando daños permanentes.

Además, la interacción entre la luz y la temperatura es un factor a considerar. Investigaciones como las de Pérez y Rodríguez (2019) han señalado que el crecimiento óptimo de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) requiere de un equilibrio adecuado entre luz y temperatura. Combinar suficiente luz con una temperatura óptima maximiza la fotosíntesis y el desarrollo de las plántulas en el vivero.

La calidad y cantidad de luz incide directamente en el crecimiento de las plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero. Los niveles óptimos de luz y la temperatura adecuada son importantes para el desarrollo de la fotosíntesis y el establecimiento de un sistema radicular fuerte (Adegbola *et al.*, 2019).

c. Nutrición y riego

Nutrición de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero: La nutrición juega un papel vital en el desarrollo saludable de los plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) durante la etapa de vivero. Según Rodríguez *et al.* (2019), los requerimientos nutricionales de estos plantones incluyen una adecuada dosis de macronutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio, junto con micronutrientes como calcio, magnesio y zinc, para asegurar un crecimiento óptimo.

El estudio de Pérez y Gutiérrez (2020), destacaron la importancia del nitrógeno en el desarrollo inicial de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753), ya que este nutriente es esencial para la síntesis de proteínas y el crecimiento de nuevas estructuras. Se ha demostrado que la aplicación controlada de fósforo y potasio mejora significativamente las características de crecimiento y desarrollo de raíces y brotes.

Riego y su impacto en el crecimiento de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753): El riego adecuado es otro factor clave para el crecimiento exitoso de los plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) en los viveros. De acuerdo con los hallazgos de Pérez-Gil *et al.* (2021), un adecuado suministro de agua es fundamental para mantener un equilibrio hídrico óptimo en las plántulas, para evitar la desecación del sustrato y el exceso de humedad.

Investigaciones como la de Sánchez y Vargas (2017) han subrayado lo importante de programar riegos regulares según las necesidades específicas de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753), teniendo en cuenta factores como la edad de la planta, el tipo de suelo y las condiciones ambientales.

El riego controlado previene la saturación del suelo y promueve el pleno desarrollo de raíces y hojas. (García *et al.*, 2019), fortaleciendo así la resistencia de las plántulas a enfermedades y estrés hídrico.

d. Control de enfermedades y plagas

Según estudios recientes se establece que, la presencia de enfermedades como la *moniliasis* (*Moniliophthora roreri*) y la *escoba de bruja* (*Moniliophthora perniciosa*) pueden afectar significativamente la producción de *Theobroma cacao* L. (1753). Estos patógenos pueden propagarse fácilmente en las condiciones de las perreras si no se toman las medidas de control adecuadas (Pérez, 2018).

El manejo integrado de plagas en las plantaciones de *Theobroma cacao* L. (1753) implica una combinación de diferentes estrategias. Por ejemplo, prácticas culturales como seleccionar semillas sanas y garantizar un drenaje adecuado en el sustrato pueden reducir la propagación de enfermedades (Fister *et al.*, 2018). Además, el uso de métodos de control biológico, como el uso de hongos antagonistas o bacterias beneficiosas, ha demostrado ser eficaz para controlar patógenos específicos en las plantaciones de *Theobroma cacao* L. (1753) (Aime *et al.*, 2018).

Además, se debe considerar la importancia de las prácticas fitosanitarias para prevenir la introducción y propagación de plagas y enfermedades en las fincas de *Theobroma cacao* L. (1753). La capacitación de técnicos en manejo integrado de plagas y la implementación de protocolos de bioseguridad son aspectos esenciales para asegurar la producción de plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) libres de patógenos (Fister *et al.*, 2018).

La protección vegetal integrada es esencial para evitar pérdidas en las plantaciones de *Theobroma cacao* L. (1753). Las estrategias preventivas, como la aplicación de fungicidas y las prácticas sanitarias adecuadas, son esenciales para mantener sus plantas saludables (Bartley y Speirs, 2019).

e. Establecimiento de sistemas radiculares

El desarrollo del sistema radicular de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) en la etapa de plántula es un factor importante que afecta el crecimiento del *Theobroma cacao* L. (1753) y el rendimiento posterior. La morfología y eficiencia del sistema radicular están estrechamente relacionadas con factores como la calidad del sustrato, la disponibilidad de nutrientes, el riego adecuado y otros aspectos del manejo ambiental y cultural (Adu-Gyamfi *et al.*, 2020).

Importancia de los sistemas radiculares en *Theobroma cacao* L. (1753): El sistema radicular del *Theobroma cacao* L. (1753) es el principal responsable de la absorción de agua y nutrientes y juega un papel crucial en el establecimiento temprano de los plantones.

Investigaciones como las realizadas por Adu-Gyamfi *et al.* (2020) han destacado que un sistema radicular bien desarrollado contribuye significativamente a la resistencia de las plantas a condiciones adversas como la sequía y las enfermedades del suelo.

Factores que influyen en el desarrollo radicular: La calidad del sustrato es un factor determinante para el desarrollo radicular de las plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero.

Investigaciones de Pérez *et al.* (2019) señalan que la composición y estructura física del sustrato y la disponibilidad de nutrientes son elementos esenciales para el crecimiento óptimo de las raíces en las primeras etapas de desarrollo.

Además, la tecnología de riego juega un papel crucial en el desarrollo de un sistema radicular saludable del *Theobroma cacao* L. (1753). De acuerdo con Smith y Jones (2018), un riego equilibrado evita el exceso y la falta de agua; favoreciendo así un crecimiento radicular suficiente y una distribución uniforme de las raíces en el sustrato.

El desarrollo temprano de un sistema radicular sano es fundamental para el crecimiento futuro del árbol del *Theobroma cacao* L. (1753). Técnicas como la poda de raíces y el trasplante adecuado pueden marcar una gran diferencia a la hora de desarrollar un sistema de raíces fuerte (Anim-Kwapong *et al.*, 2020).

f. Genética y selección de variedades

Según investigaciones recientes (Smith *et al.*, 2020), la diversidad genética del *Theobroma cacao* L. (1753) puede afectar significativamente la adaptabilidad de las plántulas a diferentes condiciones ambientales y su resistencia a las enfermedades. La selección de variedades con perfiles genéticos específicos puede mejorar la capacidad de los plantones para resistir plagas y enfermedades, como señalan Johnson *et al.* (2018).

En relación con el crecimiento en vivero, los estudios de Jones y Smith (2019) han demostrado que algunas variedades de *Theobroma cacao* L. (1753) tienen características genéticas que promueven un crecimiento vigoroso en las primeras etapas. Además, seleccionar plantas con características específicas, como mayores

rendimientos y resistencia a condiciones adversas, puede aumentar significativamente los rendimientos en el futuro. (García *et al.*, 2021).

Comprender la genética del *Theobroma cacao* L. (1753) y una cuidadosa selección de cultivares en la etapa de vivero son factores clave para mejorar la calidad, la resiliencia y el rendimiento de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753), contribuyendo así a la sostenibilidad del cultivo (Pérez *et al.*, 2022).

La selección de variedades resistentes y adaptados localmente puede tener un impacto significativo en la productividad y la tolerancia al estrés de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) en los viveros (Opoku *et al.*, 2020). Una selección genética adecuada puede mejorar la capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales y biológicas.

2.3. Definición de términos básicos.

- a. **Concentración de Mycoroot® (*Glomus clarun*)**: Corresponde a la concentración o densidad de inóculo de hongos micorrícicos arbusculares (HFMA) presentes en un sustrato o solución nutritiva. Estos hongos establecen una relación mutualista con las raíces de las plantas, favoreciendo la absorción de nutrientes y fortaleciendo su tolerancia frente a condiciones desfavorables (Esquivel *et al.*, 2021).
- b. **Altura de planta**: Se refiere a la medida vertical desde la base de la planta hasta su punto más alto. Es una medida comúnmente utilizada para evaluar el crecimiento vertical de una planta y puede ser indicativa de su salud y desarrollo.
- c. **Área foliar específica**: Es una medida que describe la superficie total de las hojas de una planta en relación con su masa o peso seco. Se calcula dividiendo el área total de las hojas por su peso seco. Esta medida es importante en la fisiología vegetal ya que está relacionada con la eficiencia en la captación de luz, la transpiración y otros procesos metabólicos. (Bembibre, 2022).
- d. **Diámetro de tallo**: El diámetro de tallo se refiere al grosor o espesor del tallo de una planta, medido generalmente en la parte más gruesa del tallo. Es una medida importante para evaluar la robustez y la capacidad de soporte de la planta, así como su capacidad para transportar agua y nutrientes. (Bartra, 2019).
- e. **Colonización de raíces**: Maldonado (2022), refiere al grado en que las raíces de una planta están colonizadas por organismos beneficiosos, como hongos

micorrícicos u otras bacterias simbióticas. Esta medida es importante en la evaluación de la salud y el rendimiento de las plantas, ya que una mayor colonización puede estar asociada con una mejor absorción de nutrientes y una mayor resistencia a enfermedades.

- f. ***Estado nutricional de Theobroma cacao L. (1753) en vivero:*** Requiere sustratos fértiles, con buena textura, materia orgánica y pH óptimo de 5.5–6.5. Un balance adecuado de macro y micronutrientes evita deficiencias que afectan fotosíntesis, raíces y hojas. El análisis químico del sustrato y evaluaciones foliares permiten detectar limitaciones y aplicar correctivos. Una nutrición adecuada asegura plántulas vigorosas y productivas en el trópico húmedo. (Francisco *et al*, 2023).

III. MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Vivero Forestal, de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia localizado en la carretera a San José km 0.6. Se sitúa en las coordenadas UTM: 18L 544858mN y 9077199mE; a una altitud de 146 metros sobre el nivel del mar (msnm), región de Ucayali, Perú.

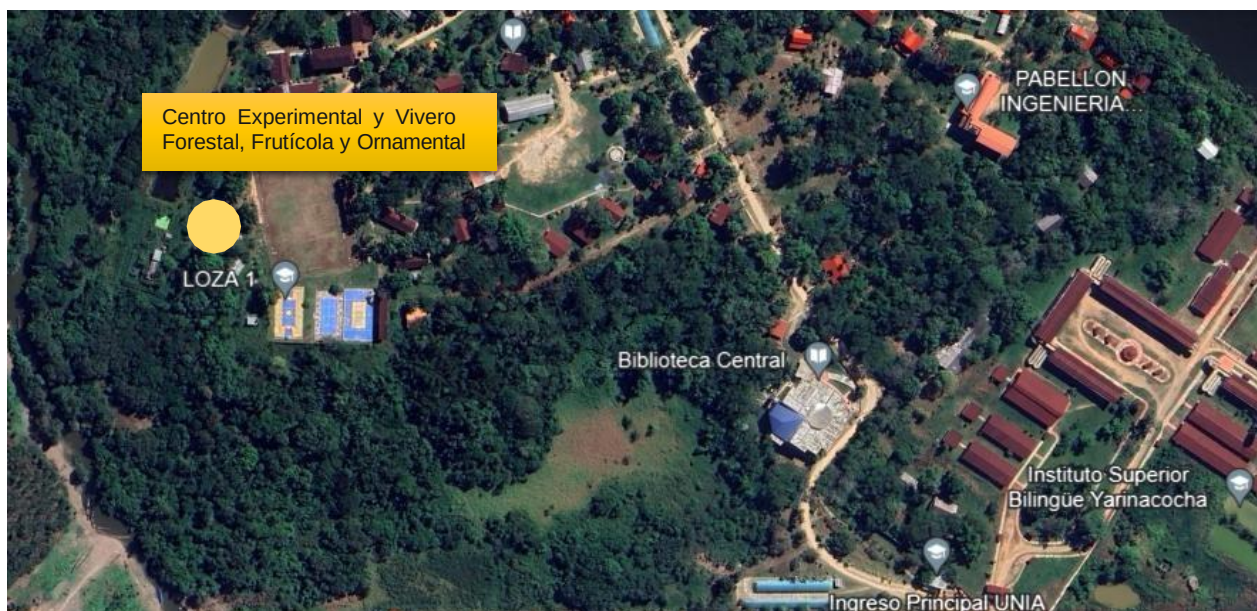


Figura 2. Ubicación del área de estudio

Fuente: Localización satelital Google Earth (2023)

La región presenta una temperatura media anual de 26.5°C, proporcionando un entorno cálido y propicio para el cultivo de *Theobroma cacao* L. (1753). La humedad relativa se mantiene en un nivel significativo del 82.4%, contribuyendo a un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas. Además, la precipitación pluvial media anual alcanza los 1773 mm (Panduro *et al*, 2023).

3.2. Identificación y descripción del material experimental

Los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753), utilizados en el estudio germinaron a partir de semillas seleccionadas por su productividad y resistencia a plagas y enfermedades para esto se utilizó el cacao amarillo (criollo), provenientes de la Estación Experimental del INIA en Pucallpa. La siembra se realizó en el Centro Experimental y Vivero Forestal, Frutícola y Ornamental de la UNIA, ubicado en el campus universitario del distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo.

En el presente experimento, se utilizaron plántones jóvenes de cacao con una altura promedio de 14 cm, en su etapa inicial de crecimiento. Estos plántones fueron seleccionados específicamente para evaluar su respuesta a los tratamientos experimentales aplicados.

3.3. Procedimientos

3.3.1. Etapa de campo

a. Selección de plantas madre

La selección inicial se realizó identificando plantas madre con alto potencial productivo, caracterizadas por una producción superior a 50 frutos por ciclo, frutos con un peso promedio de 500 gramos y una tasa de germinación mayor al 90%. Estas plantas, adaptadas a suelos con pH entre 5.5 y 6.5 y con un contenido de materia orgánica superior al 3%, mostraron vigor, uniformidad y resistencia a plagas clave del cultivo, como el barrenador del fruto, con una incidencia menor al 5% (Bartra, 2019).

b. Selección de mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753)

Según la metodología de Bartra (2019), se iniciaron de las plantas madre seleccionadas, eligiéndose mazorcas provenientes de un total de 200 individuos, priorizando aquellas que presentaban sanidad, desarrollo completo y ausencia de daños físicos. Este proceso aseguró que el material seleccionado mantuviera las características agronómicas deseadas para el experimento.

c. Obtención de semillas

A partir de las mazorcas seleccionadas, se extrajeron las semillas destinadas a la instalación del experimento. Se priorizó la obtención de semillas con madurez fisiológica óptima, libres de daños mecánicos y con alto potencial de germinación, garantizando así la calidad y viabilidad del material de siembra.

d. Selección de área experimental

El vivero de la Universidad Intercultural de la Amazonia fue elegido como área experimental por su accesibilidad y por ofrecer condiciones apropiadas para las labores culturales necesarias en el manejo de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753). Antes de iniciar el experimento, se efectuó una limpieza exhaustiva para eliminar malezas y residuos, asegurando un entorno óptimo para el desarrollo de los plantones. Posteriormente, se llevó a cabo la marcación y delimitación precisa de las parcelas experimentales, siguiendo el diseño planificado (ver anexo 9, figuras 13 al 43).

e. Georreferenciación del Área Experimental

La georreferenciación del Área Experimental (AE) se realizó utilizando un GPS, registrando con precisión sus coordenadas geográficas para asegurar su identificación y facilitar futuras referencias o replicaciones del estudio.

f. Medición de humedad relativa

La humedad relativa se midió utilizando un termohigrómetro digital de precisión, ubicado a nivel de la *canopia* de los plantones dentro del vivero, evitando la exposición directa al sol para garantizar lecturas confiables. El instrumento fue calibrado previamente siguiendo las especificaciones del fabricante. Las mediciones se realizaron tres veces al día (mañana, mediodía y tarde) para captar las variaciones diarias y registrar un promedio representativo. Este método permitió monitorear las condiciones microclimáticas del vivero, esenciales para evaluar el efecto del ambiente en el desarrollo de los plantones de *Theobroma cacao* L. (1753), durante el experimento.

3.3.2. Etapa de vivero

Según Bartra (2019), esta etapa comprende una serie de fases, hasta alcanzar un crecimiento adecuado que asegure la supervivencia y adaptación en condiciones de campo. Durante este proceso se busca optimizar factores como sustrato, riego, fertilización y control sanitario, lo que asegura una formación vigorosa y uniforme de las plantas destinadas a la producción. Del autor mencionado se ha considerado las siguientes operaciones:

a. Preparación de sustrato

El sustrato se preparó utilizando una mezcla compuesta por:

- ✓ 40% de tierra agrícola
- ✓ 30% de arena
- ✓ 30% de compost

Garantizando un adecuado drenaje, aireación y aporte de nutrientes para el desarrollo de las plántulas. Los componentes fueron tamizados con una malla metálica de un cuarto (1/4) de pulgada para asegurar la homogeneidad y posteriormente mezclados de manera uniforme. Esta mezcla se utilizó para llenar un total de 120 bolsas con sustrato. (Ver figuras 13 - 25).

b. Esterilización del sustrato

La esterilización del sustrato se llevó a cabo mediante un proceso físico de ebullición, utilizando un cilindro grande de aluminio. El cilindro se llenó con agua y se colocaron los sacos que contenían el sustrato en su interior. La mezcla fue calentada durante una hora, asegurando que el calor eliminara microorganismos patógenos y posibles contaminantes. Finalizado el proceso de esterilización, el sustrato fue dejado enfriar durante 24 horas y posteriormente almacenado en sacos previamente esterilizados, garantizando su integridad hasta su uso. (Ver Figuras 26-37).

c. Llenado de bolsas

Para esta actividad, se emplearon bolsas negras de polietileno con capacidad para 4 kg, medidas de 15 cm x 27,2 cm y un espesor de 0,2 mm, las cuales contaban con perforaciones en la base. Con el propósito de asegurar que las bolsas estuvieran en óptimas condiciones, se insertaron las puntas hacia adentro antes de llenarlas con sustrato. Durante el llenado, se compactó el sustrato mediante golpes suaves en el suelo para asegurar una distribución uniforme y adecuada densidad en cada bolsa.

d. Pregerminado de las semillas de *Theobroma cacao* L. (1753)

Las semillas fueron introducidas en cajas cubiertos con costal de polietileno y otra capa con aserrín, durante tres días, humedeciendo con agua con un aspersor a diario, hasta el tercer día. Durante esta etapa, todas las semillas empezaron a germinar, mostrando la aparición de la radícula (raíz inicial).

e. Análisis físico – químico del sustrato apto para siembra

Luego de la esterilización del sustrato para la siembra de las semillas, se colectó 1 kg de muestra para su evaluación y análisis. El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

En el Cuadro 1, el análisis de suelo agrícola + compost indica que la textura es franco arenoso debido al porcentaje de 55 % de arena, 26% de limo y 19% de arcilla, en la ficha se observa una reacción relativamente acida (pH 4.88), con poco contenido de materia orgánica (1.94%), el contenido de fosforo es bajo (5.1 ppm) contenido regular de potasio (132 ppm) y capacidad de intercambio catiónico es de (16.00 meq/100g) (Fuente: laboratorio de suelo, INIA, 2023). (ver anexo 5).

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelo agrícola + arena + compost

Matriz Analizada			Suelo Agrícola + arena + compost
Fecha de Muestreo			11/04/23
Condición de la muestra			Conservadas
Ensayo	Unidad	LC	
pH	--	0,1	4.88
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	0.11
Materia orgánica (**)	%	--	1.94
Nitrógeno (**)	%	--	0.12
Fósforo (**)	Ppm	--	5.1
Potasio (**)	Ppm	--	132
Calcio (**)	Cmol (+) /kg	--	10.61

Magnesio (**)	Cmol (+) /kg	--	1.65
Aluminio (**)	Cmol (+) /kg	--	2.60
ClCe (**)	Cmol (+) /kg	--	16.00
Bases Totales (**)	Cmol (+) /kg	--	12.81
Saturación Al (**)	%	--	80

Fuente: Laboratorio de suelo INIA (2023).

El análisis de pH del suelo se realizó según la norma EPA 9045D (2004), mediante una suspensión suelo:agua (1:1 o 1:2) y medición con potenciómetro calibrado. La conductividad eléctrica se determinó por ISO 11265 (1994), midiendo con conductímetro.

La materia orgánica y nitrógeno se analizaron por el método de *Walkley y Black* (NOM-021-RECNAT-2000), oxidando con dicromato y titulando el exceso. El fósforo se cuantificó con el método *Olsen* modificado, extrayendo con bicarbonato de sodio y midiendo por colorimetría.

Los metales (K, Ca, Mg) se determinaron según Arvelo et al. (2017), extrayendo con soluciones específicas y cuantificando por espectrofotometría de absorción atómica. El aluminio se midió con el método de *Yuan*, extrayendo con KCl y titulando (Bartra, 2019).

f. Manejo en vivero

- **Riego.** El estudio de Meneses et al. (2019) demostró que el riego por goteo incrementa la calidad de las plántulas. En línea con estos hallazgos, el ensayo en vivero implementó un riego constante mediante pistola de presión (0.20 L/s), aplicando 240 litros diarios para compensar la evapotranspiración y la ausencia de lluvias, lo que garantizó una humedad volumétrica del 35-40% en el sustrato (medida con sensor TDR). Este manejo hídrico preciso en la fase de plántulas, adaptado a las necesidades fisiológicas, es fundamental para establecer un sistema radicular robusto que precede y facilita los beneficios reportados por Meneses et al. (2019).

- **Control de Malezas.** El control de malezas se realizó mediante mantillo plástico negro y desmalezado manual periódico. El mantillo bloqueó la radiación solar e inhibió la germinación, mientras que el desmalezado eliminó malezas en áreas no cubiertas, reduciendo la competencia por luz, nutrientes y espacio.

Esta estrategia integrada, coherente con Martínez (2023), aseguró un cultivo libre de malezas y favoreció el crecimiento óptimo de los plantones de cacao. Además, contribuyó a mantener un ambiente de cultivo más sano y uniforme, disminuyendo la incidencia de plagas asociadas a la presencia de malezas.

- **Sombra.** Se utilizó una malla *rashell* verde con 80 % y luego 50 % de sombra para reducir la exposición directa de luz en los plantones. La malla de 80 % se aplicó durante los primeros 10 días tras la siembra, mientras que la de 50 % se empleó en las horas de mayor radiación (10 a.m.–2 p.m.) para favorecer el crecimiento y proteger de la radiación solar excesiva. Esta práctica permitió mantener un microclima controlado que contribuyó al desarrollo saludable de las plántulas.

g. Preparación e Inoculación de Tratamientos

Se utilizaron 120 plantones de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) para el estudio. Siguiendo las operaciones de Ricárdez (2020), las plantas fueron asignados aleatoriamente a cuatro grupos: tres grupos recibieron la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarum*) en dosis de 1 g/L, 3 g/L y 6 g/L de agua, respectivamente, y un cuarto grupo se mantuvo como control sin tratamiento. La aplicación se realizó antes del trasplante, diluyendo el producto en agua para una distribución uniforme en el sustrato, según el diseño experimental detallado en el ítem 3.5 de tratamientos (ver Anexo 9, fotografías 57 y 60).

h. Evaluación de variables

- Altura de la planta

Durante la evaluación en vivero, se seleccionaron al azar plantones de cacao tratados con Mycoroot® (*Glomus clarum*) y un grupo control no tratado, equiparados en tamaño, edad y condiciones iniciales. La altura de cada planta se midió con una cinta métrica (en mm/cm), desde el cuello de la raíz hasta el punto de crecimiento, manteniendo la planta en posición vertical para garantizar precisión. Los datos (en cm) se registraron en cartillas de evaluación con su fecha.

Se calculó el promedio de altura por grupo (suma de alturas dividida entre el número de plantas) y se realizaron mediciones cada 15 días para evaluar el crecimiento continuo. Todos los datos se consignaron sistemáticamente para su análisis (Llanos, 2020). Ver Anexo 9, figuras 61–63.

- Área foliar específica

Se adaptó el método descrito por Richards (1969) para esta evaluación. Inicialmente, se procedió a pesar el follaje de cada planta y se dibujaron las siluetas de todas las hojas en papel milimétrico. Posteriormente, estas siluetas fueron recortadas con un bisturí y se pesaron en una balanza gramera. Luego, se cortó un cuadrado de papel de un centímetro cuadrado (1 cm²) y se pesó, utilizando una regla de tres simple para calcular el área foliar. Todos los datos obtenidos se registraron de manera precisa

en fichas de evaluación previamente diseñadas, garantizando un registro adecuado para su posterior análisis.

El AFE del *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero puede verse afectado por una serie de factores, incluyendo la variedad de *Theobroma cacao* L. (1753), las condiciones ambientales y las prácticas de manejo. En general, las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) con un AFE alto tienen un crecimiento más rápido y producen más hojas que las plantas con un AFE bajo.

El AFE se determinó utilizando la fórmula 1:

$$AFE = \frac{\text{Area foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Peso fresco del follaje (g)}} \quad \dots \text{ fórmula 1}$$

Fuente: Richards (1969)

- **Diámetro de tallo**

Para evaluar el diámetro del tallo de las plantas tratadas con Mycoroot® (*Glomus clarun*) y del grupo control, se utilizó un vernier. Las mediciones se realizaron en la parte más gruesa del tallo. Se tomó como referencia el punto de diferenciación entre el tallo y la raíz, justo por encima de la base de los cotiledones (las primeras hojas emergentes), que se ubican de 1 a 2 cm por encima del nivel del suelo. Utilizando un vernier digital con precisión a décimas de milímetros, se llevaron a cabo las mediciones, asegurando una precisión adecuada tal como sugiere Bartra (2019).

Estas mediciones se realizaron a intervalos regulares, cada 15 días, para registrar el crecimiento del diámetro del tallo a lo largo del tiempo. Los datos obtenidos se registraron meticulosamente en una cartilla de evaluación previamente diseñada, lo que garantizó un seguimiento detallado del desarrollo del tallo en cada planta. Finalmente, se calculó el promedio de diámetro del tallo para cada grupo, utilizando todas las mediciones registradas, lo que permitió comparar el crecimiento entre las plantas tratadas y no tratadas con Mycoroot® (*Glomus clarun*).

- **Índice de robustez**

Para calcular el índice de robustez, se dividió la altura de la planta en centímetros con el diámetro del tallo en milímetros. Esta relación se evaluó cada 15 días para cada planta en ambos grupos, tratadas con Mycoroot® (*Glomus clarun*) y el grupo control. Las mediciones se tomaron utilizando un calibrador vernier digital con precisión a décimas de milímetros para el diámetro del tallo y una cinta métrica para la altura de la planta (Bartra, 2019). Una vez obtenidos los datos de altura y diámetro para cada planta, se procedió a calcular el índice de robustez para cada una de ellas.

i. Acondicionamiento con estrés hídrico

Las plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) inoculadas con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HFMA) fueron sometidas a estrés hídrico para evaluar su adaptación a la sequía y la eficacia de los HFMA. Tras un periodo inicial con riego óptimo, se redujo progresivamente el suministro de agua al 40% de la capacidad de campo durante 15 días. Posteriormente, 15 días antes de la evaluación en laboratorio, se aplicó un estrés más severo (10% del riego), a fin de inducir la adaptación micorrízica y facilitar su observación estereoscópica tal como lo sugiere Saravia et al (2022).

3.3.3. Etapa de Laboratorio

a. Niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*)

Para determinar el porcentaje de colonización micorrízica, se utilizó la metodología de tinción de raíces de Phillips & Hayman (1970). Es una técnica estandarizada utilizada para evidenciar la presencia de estructuras de hongos micorrízicos arbusculares en raíces. El procedimiento consiste en la limpieza previa de las raíces mediante aclarado con hidróxido de potasio (KOH) para eliminar compuestos celulares y pigmentos, seguida de su acidificación con ácido clorhídrico (HCl) para mejorar la fijación del colorante. Posteriormente, las raíces se tiñen con azul de tripano o azul de lactofenol, lo que permite visualizar de manera nítida hifas, vesículas y arbusculos bajo microscopio óptico. Esta metodología es ampliamente utilizada en estudios de micorrización por su eficacia, simplicidad y reproducibilidad.

Para la presente investigación, las raíces finas y activas fueron recolectadas, lavadas con agua corriente para eliminar restos de suelo, y sumergidas en una solución de KOH al 10% a 80°C durante 30 minutos para clarificarlas. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada y se acidificaron con HCl al 1% por 5 minutos. Luego, se tiñeron con azul de tripano al 0.05% en *lactoglicerol* (1:1:1 de ácido láctico, glicerina y agua destilada) a 80°C durante 15 minutos.

Finalmente, las raíces fueron montadas en portaobjetos con *lactoglicerol* para observarlas bajo un microscopio, evaluando la presencia de estructuras micorrízicas como hifas, arbusculos y vesículas.

b. Obtención de muestras

Para la evaluación, se rompió la bolsa, con el fin de sacar las mejores raíces, esto se hizo a cada planta que se avaluó, así mismo las muestras se colocaron en unas bolsas herméticas y cada uno tenían el código (rotulación) correspondiente de cada planta evaluada.

c. Extracción y limpieza de las raíces

De acuerdo con Bartra (2019), las raíces de *Theobroma cacao* L. (1753) fueron retiradas de las bolsas, lavadas cuidadosamente para eliminar el sustrato y seleccionadas las más finas (10 por muestra, de 1 cm). Estas se enjuagaron nuevamente en placas Petri, se secaron sobre papel toalla y se conservaron en tubos con alcohol etílico al 96% durante 30 minutos para su posterior observación. Este procedimiento aseguró la limpieza, conservación y adecuada preparación de las muestras para el análisis microscópico, garantizando la representatividad y confiabilidad de los resultados.

d. Aclarado de raíces

Se preparó una solución de KOH al 10 % y se trabajó con 20 muestras distribuidas en tubos de ensayo. El alcohol al 50 % fue retirado y reemplazado por 10 mL de KOH en cada tubo, que luego fueron colocados en un baño maría a 90 °C durante 1 hora. Cumplido el tiempo, los tubos fueron retirados y el KOH descartado con cuidado para no perder las raíces. Este procedimiento siguió las recomendaciones metodológicas de Llanos (2020).

Observaciones: Si algunas muestras de raíz no fueron aclaradas debidamente por la presencia de raíces que estaban demasiado oscura, se utilizó agua oxigenada para aclararlos un poco más, esto se utilizó a recomendación del coasesor y demostró ser efectivo.

e. Tinción de las raíces

Se preparó un tinte al 5 % mediante la mezcla de 95 mL de una dilución de ácido acético (5 %) con 5 mL de tinta Parker. Posteriormente, se añadieron 5 mL de esta solución a los tubos de ensayo, asegurando que las raíces quedaran completamente cubiertas. Los tubos se colocaron en baño maría a 90 °C durante 2 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, la tinta fue retirada cuidadosamente con un tamiz fino para evitar la pérdida de raíces. Finalmente, los tubos se rellenaron con 10 mL de agua destilada, con el fin de mantener la humedad de las muestras. El mismo método utilizado por (Bartra, 2019).

f. Montaje de muestra de raíces

Tal como señala Llanos (2020), el montaje de raíces se realizó en portaobjetos, utilizando 1 repetición por muestra con 10 segmentos de 1 cm. Para ello, en una placa Petri se marcaron 10 líneas de 1 cm como guía y, con bisturí, se cortaron los segmentos de raíz previamente contenidos en tubos de ensayo. Los fragmentos se trasladaron con pinzas al portaobjetos, donde se colocaron los 10 segmentos junto con una gota de

glicerol al 50 %, que mantuvo la humedad y conservó las muestras. Finalmente, se cubrieron con un cubreobjetos y se colocaron en una fuente para su evaluación en el microscopio estereoscópico.

Observaciones: Para el preparado de glicerol al 50% se utilizó 5 mL de agua destilada y 5 mL de glicerol, estas se mezclaron en un vaso precipitado para ser puesto en su respectivo envase ámbar.

g. Identificación de colonización y estructuras de HFMA

Cada muestra fue llevada a observación en el microscopio estereoscópico, los segmentos de raíz de 1 cm fueron evaluadas, una a una, con un aumento de 10X donde se identificaron la colonización y estructuras que aparecieran en los distintos segmentos de raíces, con el método no sistemático de estimación de colonización HFMA en raíces. Se promedió las evaluaciones de cada muestra para poder compararlas y saber el porcentaje final de colonización de cada muestra.

Observación: Al estar con el aumento de 10X el campo de visión era más amplia, facilitando el poder observar más rápido las raíces de 1 cm, pero cuando se tuvo dudas de las estructuras que se observaba se aumentó a 40X para obtener mayor certeza.

Todo esto siguiendo los procedimientos establecidos por Phillips y Hayman (1970) con las adaptaciones pertinentes (Ver anexo 9; figuras 68 al 91). Los niveles de colonización micorrícica se expresaron como porcentajes del total de raíces examinadas. Se utilizó la fórmula 2:

$$\%C = RC \times \frac{100}{RNC} \quad \dots \text{fórmula 2}$$

Donde:

%C: Porcentaje de colonización micorrícica.

RC: Número de segmentos de raíz en los que se observa colonización micorrícica.

RNC: Número de segmentos de raíz en los que no se observa colonización micorrícica.

Fuente: Phillips y Hayman (1970)

h. Estado nutricional del *Theobroma cacao* L. (1753)

Las hojas recolectadas se lavaron con agua destilada para eliminar impurezas sin dañarlas, seleccionándose aproximadamente 100 g como muestra representativa. Posteriormente, se secaron en estufa a 60 °C durante 48 horas hasta obtener un material completamente deshidratado. Las muestras secas fueron molidas y

homogenizadas para asegurar uniformidad en el análisis. Finalmente, se determinó el contenido total de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) siguiendo la metodología del INIA (2023).

- ***Determinación de Nitrógeno Total (ISO 11261 - 1995)***

El presente método utiliza la técnica de digestión con ácido sulfúrico para convertir todo el nitrógeno presente en forma orgánica e inorgánica en nitrógeno amoniacal. Posteriormente, se procede a una destilación de Kjeldahl para convertir el nitrógeno amoniacal a amoníaco y recogerlo en una solución ácida. Finalmente, el amoníaco se valora con una solución estándar de ácido sulfúrico para determinar el contenido total de nitrógeno en la muestra, según método del INIA (2023).

- ***Determinación de Fósforo Total (P Total)***

En el método utilizado por el INIA (2023); se realiza la calcinación de la muestra vegetal seguida de la digestión con ácido clorhídrico. El fósforo presente se convierte en ortofosfato, que luego reacciona con el *vanadomolibdato* en un medio ácido para formar un compuesto coloreado. La intensidad del color formado se mide colorimétricamente para cuantificar el contenido de fósforo total en la muestra.

- ***Determinación de Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Cobre, Zinc y Manganeseo***

Estos elementos se determinan mediante un proceso común de calcinación de la muestra, seguido de una disolución ácida para solubilizar los minerales. La concentración de cada elemento se cuantifica mediante espectrofotometría de absorción atómica o emisión atómica. Después de la calcinación, los elementos se disuelven en una solución adecuada y se introducen en un espectrómetro que mide la absorción o emisión de luz por átomos del elemento específico, permitiendo así cuantificar su concentración, tal como se describe en el apartado 7.1 de los "Métodos de análisis de tejidos vegetales" de la Comisión de Normalización y Acreditación (última revisión en 2004) (INIA, 2023).

3.4. Población y muestra

La población, muestra y unidad de análisis se detallan a continuación:

3.4.1. Población

La población es el conjunto completo de elementos o individuos que poseen las características de estudio. (López, 2004). En la presente investigación la población se ha definido en todos los plantones de *Theobroma cacao L. (1753)* en la etapa de vivero

en la Región Ucayali, Perú, que podrían beneficiarse de la aplicación de HFMA Mycoroot® (*Glomus clarun*).

Cuadro 2. Definición de población y muestra para la presente investigación

Sistema	Elementos
Muestra	4 tratamientos, cada uno con 5 repeticiones, en total 20 unidades experimentales; cada unidad experimental con 6 planta del Centro Experimental y Vivero Forestal, Frutícola y Ornamental.
Población	Plantones de (<i>Theobroma cacao</i> L. 1753) en la etapa de vivero en la Región Ucayali, Perú

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Muestra

El estudio contó con 120 plantas, de las cuales se seleccionaron 20 para los análisis específicos. Esta decisión se basó en criterios de Sierra y Murcia (2022), quienes trabajaron con 4 tratamientos y 6 repeticiones, considerando como unidad experimental a una planta. Según Cochran (1977), una muestra de 20 unidades en poblaciones finitas es suficiente para estimaciones confiables, siempre que la variabilidad sea baja, condición que se cumple en este experimento al mantener tratamientos bajo condiciones similares.

3.4.3. Unidad experimental

López (2004), menciona que la unidad experimental se refiere a la entidad o elemento que va ser evaluado. En la investigación, se tiene 20 unidades experimentales de *Theobroma cacao* L. (1753) en la etapa de vivero que ha sido sometido a la aplicación de HFMA Mycoroot® (*Glomus clarun*), cada unidad experimental con 6 plantas.

3.5. Tratamientos

La investigación presentó cuatro tratamientos distintos, designados como T0, T1, T2 y T3. El tratamiento de control, T0, sirve como punto de referencia, donde los plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) (representados por R1, R2, ..., R5) no reciben aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*). En contraste, los tratamientos experimentales, T1, T2 y T3, involucran la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en diferentes concentraciones: 2 gramos por litro de agua, 4 gramos por litro de agua y 6 gramos por litro de agua, respectivamente. Ver anexo 9; figuras 64 al 67.

Los tratamientos se constituyeron, tal como se detalla en el cuadro siguiente:

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción
T0	R1, R2, R3, R4, R5	Testigo
T1	R1, R2, R3, R4, R5	2g Mycoroot® por litro de agua
T2	R1, R2, R3, R4, R5	4g de Mycoroot® por litro de agua
T3	R1, R2, R3, R4, R5	6g de Mycoroot® por litro de agua

Fuente: Elaboración propia

3.6. Variables

El Cuadro 5 presenta las variables de estudio en la investigación:

- Las variables independientes incluyen la concentración de Mycoroot® (*Glomus clarun*), con tres niveles distintos (testigo, 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L).
- Las variables dependientes abarcan el crecimiento en altura, el área foliar específica (AFE), el diámetro del tallo, el índice de robustez y el porcentaje de colonización de raíces (% C). Además, se incorpora el estado nutricional, medido en gramos o miligramos por kilogramo de macro y micronutrientes.
- Las variables intervinientes comprenden la temperatura del ambiente y del sustrato, y la humedad relativa, todas medidas mediante observaciones/experimentación.

Cuadro 4. Variables en estudio

Variable	Definición de la variable	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
Variables independientes				
Concentración de Mycoroot®.	Es la cantidad de Mycoroot® que se utilizará diluido en agua. Mycoroot es una marca comercial de un producto que contiene hongos micorrízicos arbusculares (HFMA) (Bartra, 2019)	0, 2, 4, 6	g/L	Balanza gramera
Variables dependientes				
Altura de planta, AFE, diámetro de tallo	- Altura de planta: Medida vertical desde la base hasta la parte superior de la planta.	Crecimiento en altura	Cm	Cinta métrica
	- AFE (Área Foliar Específica): Relación entre el área foliar y la masa seca de la planta, indicando eficiencia en la producción de hojas.	Área foliar específica (AFE)	Mm	Papel mm
	- Diámetro de tallo: Grosor del tallo principal medido a la altura	Diámetro del tallo.	Cm	Cinta métrica
		Índice robustez	índice	Cinta métrica

	del cuello de la raíz. (Llanos, 2020).			
Colonización de raíces	Capacidad de los hongos formadores de micorrizas (HFMA) de establecer asociaciones con las raíces de las plantas. (Bartra, 2019)	Porcentaje de colonización de HFMA en raíces (%C)	%	Microscopio
Estado nutricional	Es el contenido de nutrientes de una planta en un momento determinado. (Pérez, 2018)	Niveles de macro y micronutrientes.	g/kg mg/kg	Colorímetro, mufla, equipo de titulación
Variables intervinientes				
	Calor del aire en el vivero en un momento determinado (Llanos, 2020)	Temperatura del ambiente	°C	Termómetro ambiental
Clima	Relación entre la cantidad de vapor del agua y la masa del aire. (Pérez, 2018)	Humedad relativa del ambiente	%	Termohigrómetro
	Calor del sustrato utilizado en un momento determinado (Llanos, 2020)	Temperatura de suelo	°C	Termómetro

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Recolección de datos

3.7.1. Fuentes de información

Se realizaron mediante una investigación del tipo primaria en donde se tomaron en consideración la medición de las variables: Altura de la planta, área foliar específica, diámetro de tallo, estado nutricional de planta y el porcentaje de colonización.

- **Unidad experimental y unidad de medición**

La unidad experimental fue de 20 y la unidad de medición fue un plantón de *Theobroma cacao L. (1753)*.

$$T \times R = UE$$

T = número de tratamientos.

R = número de repeticiones por tratamiento.

UE= Unidades experimentales

$$UE = 4 \times 5 = 20 \text{ unidades experimentales}$$

- **Características de la Unidad Experimental.**

- ✓ Área de los tratamientos: 7.28 m²
- ✓ Largo: 5.2 m
- ✓ Ancho: 1.4 m

- ✓ Forma de las unidades experimentales: Cuadrado
- ✓ Área total del ensayo: 22.88 m²
- ✓ Largo: 5.2 m
- ✓ Ancho: 4.4 m
- ✓ Forma del ensayo: Cuadrado

- **Distribución de los tratamientos y unidades experimentales en el vivero**

Las tratamientos y repeticiones se establecieron en forma cuadrada, con dimensiones de 0.6 x 0.6 m con una separación entre unidades experimentales de 0.4 m.

La aleatorización está organizada en una matriz de 4 filas y 5 columnas, donde cada celda indica el tratamiento asignado a una unidad experimental específica. Se ubican los tratamientos T₀, T₁, T₂ y T₃.

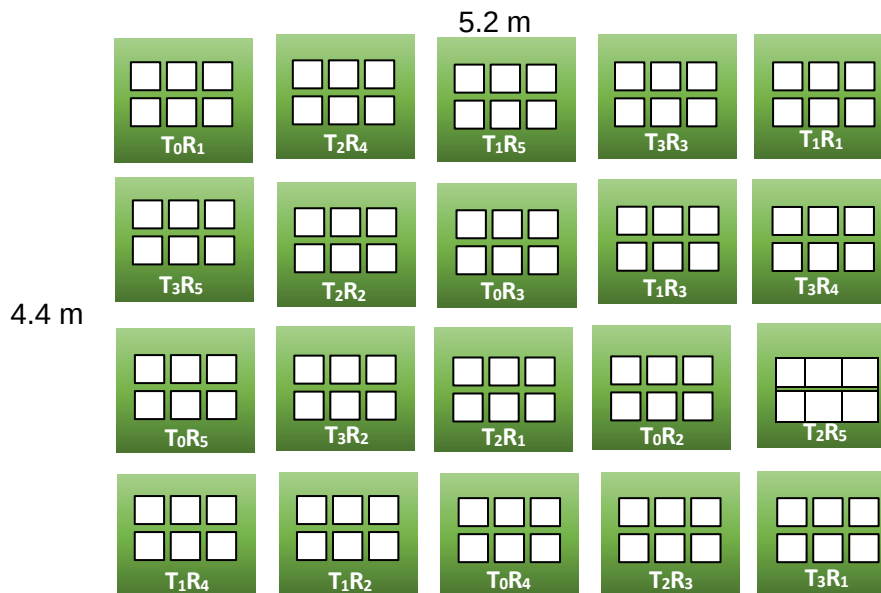


Figura 4. Croquis de diseño de la unidad experimental

- **Número de Plantas**

- ✓ Número de unidades experimentales: 20
- ✓ Número de plantas por unidad experimental: 6
- ✓ Número de repeticiones: 5
- ✓ Número de tratamientos: 4
- ✓ Número de plantas total del experimento: 120

- **Fuentes secundarias**

Además de las mediciones primarias realizadas en el vivero, la investigación se complementó con fuentes secundarias, incluyendo estudios previos

relacionados con la fisiología del *Theobroma cacao* L. (1753) y la interacción de hongos micorrícicos en condiciones controladas.

Se revisaron publicaciones científicas, informes técnicos y manuales de manejo de *Theobroma cacao* L. (1753) provenientes de instituciones como el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Organización Internacional del *Theobroma cacao* L. (1753) (ICCO).

Asimismo, se consultaron bases de datos especializadas para obtener información sobre metodologías de evaluación de variables de crecimiento y colonización micorrícica, con el fin de contrastar y validar los resultados obtenidos en el experimento. Estas fuentes secundarias sirvieron como referencia para el diseño experimental y la interpretación de los datos, enriqueciendo el análisis y asegurando la validez científica del estudio.

3.7.2. Tipos de Muestreo

En la presente investigación se emplearon dos tipos de muestreo. Para las evaluaciones en vivero, se aplicó un *muestreo aleatorio simple*, seleccionando dos plantones al azar por repetición dentro de cada unidad experimental, asegurando así la representatividad de las observaciones y evitando sesgos, al excluir los efectos de borde (Cortés *et al* 2020).

Adicionalmente, en el laboratorio, se llevó a cabo un *muestreo dirigido* para la selección de raíces, donde se extrajeron las más finas y uniformes de cada muestra (10 raíces de aproximadamente 1 cm por muestra), con el objetivo de garantizar la precisión en la evaluación del porcentaje de colonización micorrícica mediante técnicas de tinción Otzen *et al* (2017).

3.7.3. Técnicas para la Recolección de Datos

En la investigación se aplicaron técnicas de recolección de datos en campo y laboratorio. En vivero se midieron variables morfológicas como altura, diámetro de tallo y área foliar con instrumentos calibrados. El estado nutricional se determinó mediante análisis foliar en laboratorio, y la colonización micorrícica se evaluó con la técnica de tinción de raíces de Phillips & Hayman (1970), que incluye limpieza, decoloración y tinción para observar estructuras micorrícicas en estereomicroscopio.

3.8. Procesamiento de los datos

La elección del diseño completamente al azar (DCA) se fundamentó en la necesidad de minimizar el sesgo y controlar la variabilidad experimental asociada a las condiciones del vivero, tales como la heterogeneidad del sustrato, la exposición a la luz y la humedad del suelo

(Vera *et al* 2024). Este diseño permite asignar los tratamientos de forma aleatoria a las unidades experimentales, asegurando que cualquier diferencia observada entre ellas se deba al efecto del tratamiento y no a factores externos no controlados.

Previo al análisis, los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad (*Kolmogórov-Smirnov*) y homogeneidad de varianzas (*Levene*), requisitos del ANOVA bajo el modelo lineal aditivo. Cuando se cumplieron los supuestos se aplicó ANOVA, y en caso contrario, el test no paramétrico de *Kruskal–Wallis*. Al detectarse diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se usaron pruebas de *Tukey* o comparaciones múltiples según correspondiera. El análisis se realizó en SPSS v.25, evaluando el efecto de *Mycoroot®* (*Glomus clarum*) sobre colonización micorrícica, altura, diámetro de tallo y área foliar tal como sugiere Vera *et al* (2024).

3.8.1. Modelo matemático

El modelo matemático que sustenta este diseño es el *modelo aditivo lineal*, donde cada componente representa factores que afectan la variable dependiente (González *et al* 2024). Así, se logra descomponer la variabilidad total observada en efectos atribuibles al tratamiento, a la repetición (bloque) y al error experimental. Este enfoque estadístico permitió evaluar rigurosamente el efecto de la inoculación con *Mycoroot®* (*Glomus clarum*) sobre variables como altura de planta, diámetro de tallo, AFE, estado nutricional y colonización micorrícica. El modelo aditivo lineal está determinado por la fórmula:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \dots \text{fórmula 3}$$

Donde:

Y_{ij} = Representa las observaciones realizadas en la investigación, como altura de la planta, diámetro de tallo, área foliar específica, estado nutricional o porcentaje de colonización micorrícica, obtenidas en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

μ = Corresponde a la media general de todas las observaciones realizadas en el experimento, reflejando el comportamiento promedio de las variables estudiadas

t_i = Representa el efecto del tratamiento aplicado (T0, T1, T2, T3), como la inoculación con diferentes niveles de hongo micorriza arbuscular (HFMA) y su influencia sobre las variables evaluadas,

β_j = Indica el efecto asociado a las repeticiones del experimento, las cuales son necesarias para reducir la variabilidad aleatoria y mejorar la precisión en la estimación de los efectos del tratamiento.

ε_{ij} = Es el error experimental o residual, que incluye factores no controlados o impredecibles que afectan las observaciones realizadas en cada combinación de tratamiento y repetición.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de experimento

El Cuadro 5 proporciona datos climáticos durante la etapa de vivero del experimento, tomado por registro propio, en las fechas respectivas. Se registraron datos en cinco fechas diferentes, desde el 30 de abril de 2023 hasta el 25 de julio de 2023 (87 días), con intervalos de aproximadamente dos semanas.

Cuadro 5. Datos climáticos durante la etapa de vivero del experimento, año 2023

Variables	30/04/2023	26/05/2023	10/06/2023	25/06/2023	10/07/2023	25/07/2023
Temperatura Máxima (°C)	29	30	30	30	30	31
Temperatura Promedio (°C)	26	26	26	25.5	25.5	26
Temperatura Mínima (°C)	22	22	22	21	21	21
Humedad Relativa (%)	97	98	97	96	94	91
Temperatura del sustrato (°C)	23	25	23	23.5	22	23

Sobre las temperaturas, Llanos (2020) señala que los valores registrados presentan una consistencia térmica, con máximas cercanas a 30 °C, promedios de 26 °C y mínimas entre 21 °C y 22 °C, como se muestra en la Figura 3. Esta consistencia se debe a la baja variabilidad diaria y estacional de la temperatura en la zona, lo que genera un microclima estable. Tal estabilidad es favorable para el desarrollo fisiológico del cultivo, ya que reduce el estrés térmico y mantiene condiciones óptimas de crecimiento durante el período de estudio.

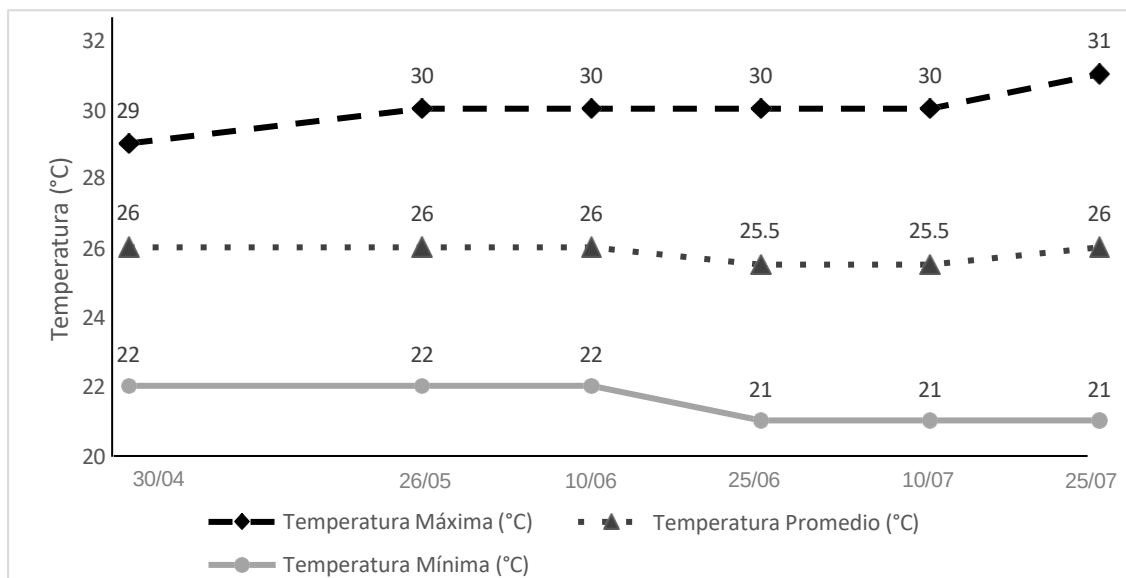


Figura 3. Evolución de la temperatura durante la etapa de vivero

Se registró la humedad relativa del ambiente en porcentaje en cada fecha. La humedad relativa disminuye gradualmente a lo largo del tiempo, pasando de 98% en mayo a

91% en julio. El cambio podría influir en las condiciones ambientales para el crecimiento de los plantones. Las variaciones en la temperatura y la humedad pueden afectar el desarrollo de las plantas, y la presencia del hongo micorriza podría influir en cómo las plantas responden a estas condiciones tal como lo menciona Valera (1996).

4.2. Efecto de la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) sobre el crecimiento de *Theobroma cacao* L. (1753) a nivel de vivero

4.2.1. Altura de planta

El análisis de varianza para la variable altura de planta se muestra en anexo 7, evidenciándose que desde la segunda evaluación existen diferencias significativas estadísticas ($p \leq 0.05$). Esto sugiere que hay al menos una diferencia significativa entre los grupos en términos de altura de planta para estas mediciones. En el Cuadro 6 se presentan los resultados de medición de la altura de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) en diferentes fechas de evaluación y tratamientos.

Se evidencia un crecimiento gradual a lo largo del tiempo para todos los tratamientos. En las dos primeras fechas de registro, se nota un promedio constante de los resultados, a partir de allí se evidencia una disgregación notoria de T0, T1 contra T2 y T3; notándose una ampliación de brecha.

Esta tendencia continúa en las fechas posteriores, destacando T3 como el tratamiento con mayor altura de planta por efecto de la aplicación. Los resultados sugieren que los tratamientos con Mycoroot® (*Glomus clarun*), tienden a tener alturas superiores en comparación con el grupo de control, indicando un impacto positivo en el crecimiento de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753).

Cuadro 6. Altura de planta en cacao (*Theobroma cacao* L. 1753), según la dosis de Mycoroot® (*Glomus clarun*) y las fechas de evaluación.

Altura de planta (cm)					
Tratamientos	Fechas evaluadas				
	15 días (26/5)	30 días (10/6)	45 días (25/6)	60 días (10/7)	75 días (25/7)
T0	14.22 ^a	18.54 ^a	21.22 ^c	25.80 ^c	30.06 ^d
T1	14.88 ^a	18.64 ^a	21.82 ^c	27.00 ^c	32.54 ^c
T2	14.52 ^a	19.42 ^a	26.20 ^b	31.50 ^b	36.04 ^b
T3	14.84 ^a	19.97 ^a	28.30 ^a	35.22 ^a	41.08 ^a

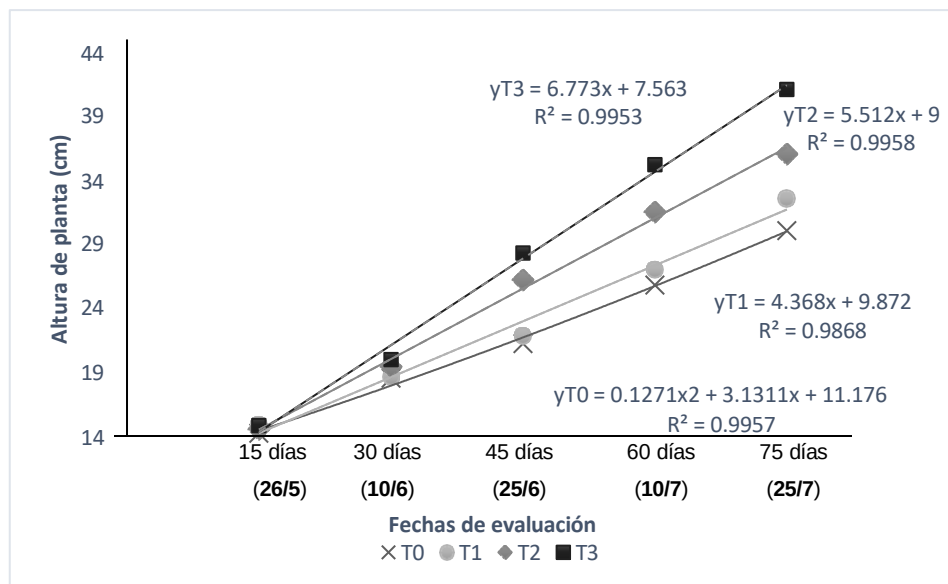
Fuente: Elaboración Propia

*Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente

T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

La prueba de Tukey revela diferencias significativas entre los tratamientos para la variable altura de planta, evaluaciones 3, 4 y 5 (Ver anexo 7). Siendo considerado según prueba de medias el T3 el de mejor comportamiento.

Los resultados observados en el Cuadro 6, muestran diferentes alturas en fechas específicas con tratamientos de Mycorroot® (*Glomus clarun*), siendo el grupo T3 (6g Mycorroot® (*Glomus clarun*) por litro de agua) el que alcanza las alturas más notables.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycorroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycorroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycorroot® por litro de agua)

Figura 5. Crecimiento en altura de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) durante los días evaluados.

La figura 5 se muestra el gráfico de la media, cada una representada por una línea diferenciada. Se establece que el tratamiento T0 exhibe una relación cuadrática entre la altura de la planta y el tratamiento, representada por la ecuación $y=0.1271x^2+3.1311x+11.176$. Esto se debe a la inclusión de términos cuadráticos (x^2), además de términos lineales (x), lo que sugiere una variación no lineal en la altura de la planta en relación con el tratamiento T0.

Los tratamientos T1, T2 y T3 evidencian tendencias lineales en la relación entre la altura de planta y la dosis de micorriza aplicada. En el caso del T3, el coeficiente de determinación ($R^2 = 99.53\%$) demuestra que la micorrización influye de manera significativa en el crecimiento en altura. Los altos valores de R^2 en todos los tratamientos confirman un ajuste adecuado del modelo y validan la existencia de una relación sólida entre las dosis aplicadas y la respuesta de las plantas. Esto sugiere que la micorrización no solo favorece el desarrollo inicial, sino también la consistencia del crecimiento.

El propósito de esta variable radica en su uso como indicador; quiere decir que un aumento significativo en la altura de las plantas tratadas con *Mycoroot® (Glomus clarun)* en comparación con el grupo de control, sugiere una relación positiva entre la aplicación del hongo y el crecimiento vigoroso de los plantones. En línea con estos hallazgos, Villalobos (2019), en su trabajo de investigación, obtuvo resultados similares, demostrando que el tratamiento con *Mycoroot® (Glomus clarun)* influye positivamente en el crecimiento de las plantas. Según sus registros, las alturas de las plantas tratadas se encontraban en un rango de entre 22 y 25 cm, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde la germinación.

En un vivero, las plántulas de *Theobroma cacao L. (1753)* suelen tener una altura óptima de mínimo 30 centímetros al momento de ser trasplantadas al campo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas medidas pueden variar. Las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)* necesitan condiciones específicas de temperatura, humedad y luz para un crecimiento óptimo (Llanos, 2020). El crecimiento del *Theobroma cacao L. (1753)* está fuertemente condicionado por factores ambientales como la precipitación, temperatura y humedad del suelo, siendo una de las especies cultivadas más sensibles al déficit hídrico. Esta sensibilidad se manifiesta en la alteración de sus procesos fisiológicos ante la falta de humedad, lo que hace imprescindible contar con disponibilidad de agua y un suelo con buen drenaje, condiciones replicadas en nuestro experimento con un riego controlado y constante (Osorio *et al*, 2017).

Pérez (2018), menciona que la calidad de los plantones es clave para su supervivencia y buen establecimiento en campo, al influir en su adaptación y crecimiento inicial.

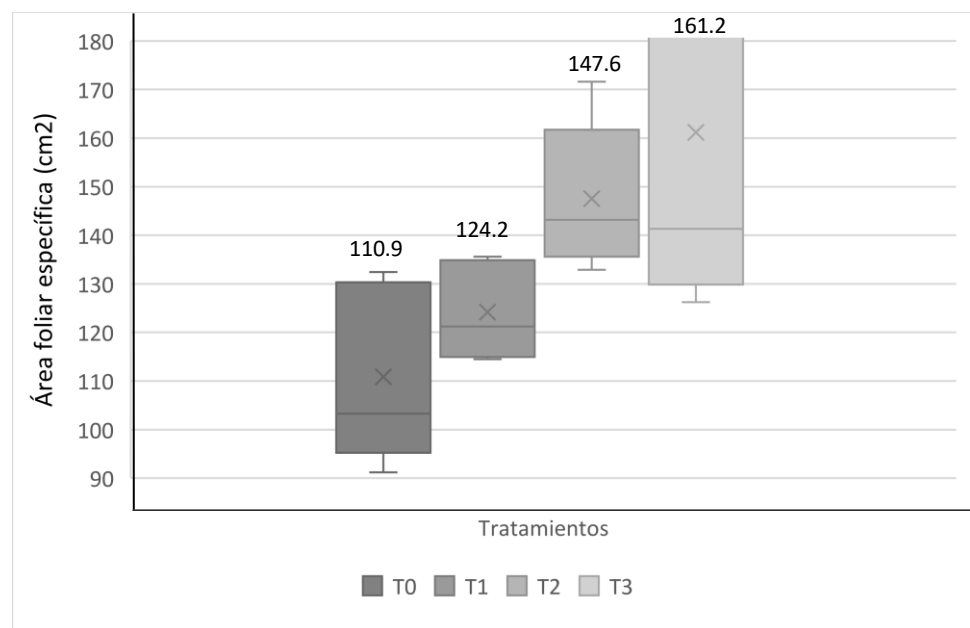
Los tratamientos con *Mycoroot® (Glomus clarum)* evidenciaron mayor altura frente al testigo, reflejando plantones de mejor calidad, con características morfológicas más equilibradas y capacidad superior para enfrentar condiciones de estrés, especialmente déficit hídrico, crítico en el cultivo de cacao. Estos resultados sugieren que la inoculación micorrízica fortalece el desarrollo radicular y mejora la absorción de nutrientes.

4.2.2. Área foliar específica

Llanos (2020), menciona que la micorrización es un proceso simbiótico entre raíces y hongos micorrízicos que estimula el crecimiento inicial de las plantas. En este contexto, la mejora del área foliar refleja su influencia positiva, al aumentar el potencial fotosintético y la captura de luz. Esto favorece la acumulación de materia seca y el desarrollo de biomasa, mostrando que la micorrización no solo impulsa el establecimiento temprano, sino también el crecimiento sostenido de las plantas.

La Figura 6, muestra el promedio de resultados en repeticiones en el área foliar específica desde el tratamiento T0 hasta el T3. Con el ANOVA se obtiene el valor de P (Sig.) es menor que el nivel de significancia típicamente seleccionado (0,05), se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alternativa; concluyendo que sí existen diferencias significativas entre los grupos en términos de su "Área Foliar Específica" (Ver anexo 7).

En la prueba de homocedasticidad indicó que las distribuciones son homogéneas. Como resultado de la Prueba ANOVA, podemos afirmar que hay al menos una diferencia significativa entre al menos dos grupos en términos de su "Área Foliar Específica". Mediante la prueba Tukey, se considera a T3 como mejor tratamiento.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

*Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente

Figura 6. Prueba de promedio de Tukey para la variable Área Foliar Específica por efecto de la dosis de Mycoroot, a los 80 días.

Pérez (2018) menciona que el rango de AFE en *Theobroma cacao* L. (1753) en etapa de vivero está en el orden de 50 a 200 cm²/g. Nuestros resultados obtenidos se encuentran dentro de esos límites. Este hallazgo es relevante, ya que el área foliar es una medida fundamental que proporciona no solo una indicación visual del crecimiento de la planta, sino que también puede estar relacionada con la acumulación de materia seca (Llanos, 2020).

Estos resultados son particularmente relevantes ya que el área foliar específica es un indicador crucial del crecimiento y desarrollo de las plantas. Llanos (2020) menciona que el área foliar no solo proporciona una indicación visual del crecimiento de la planta, sino que también está directamente relacionada con la acumulación de materia seca. En este sentido, la micorrización, un proceso simbiótico entre las raíces de las plantas y los hongos micorrícicos, se ha demostrado beneficiosa, estimulando el crecimiento inicial de diversas especies vegetales.

La mejora en el área foliar es un claro indicador de la influencia positiva de la micorrización en el desarrollo de las plantas. Un aumento en el área foliar sugiere un mayor potencial para la fotosíntesis y la captura de luz solar, lo que, a su vez, puede contribuir a una mayor acumulación de materia seca. Así, la micorrización no solo puede favorecer el crecimiento inicial de las plantas, sino también influir positivamente en su capacidad para acumular biomasa a medida que se desarrollan (Becerra, 2022).

En el contexto de la investigación, obtuve valores de área foliar específica (AFE) que oscilan entre 91 y 161.6 cm²/g, los cuales se encuentran dentro de los rangos permisibles según los resultados de Tondjo et al. (2015). Estos valores son indicativos de un crecimiento saludable de las plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) en etapa de vivero. Un rango de AFE que varía entre un mínimo de 45 cm²/g y un máximo de 90.77 cm²/g, lo cual, se encuentra ligeramente por debajo del rango ideal que se establece entre 50 y 200 cm²/g para plántulas de *Theobroma cacao* L. (1753) (Mollericona y Merma, 2022).

En nuestras plántulas de cacao tratadas con Mycoroot® se observó un área foliar óptima, confirmando su efecto positivo en el crecimiento. Este incremento fortalece la fotosíntesis y la capacidad de adaptación, destacando la importancia de la relación entre micorrización y área foliar para obtener plantones de mejor calidad y rendimiento (Leiva et al 2019).

4.2.3. Diámetro de tallo

En el Cuadro 7 se observa un patrón de aumento en el diámetro de tallo a medida que transcurre el tiempo para todos los tratamientos, siendo más evidente en T2 y T3, con diámetros de 1.01 cm y 1.04 cm respectivamente, superando a T0 y T1. En plantas de *Theobroma cacao* L. (1753), el diámetro del tallo puede ser aproximadamente del 1 al 2% de la altura de la planta como afirma Angulo (2021). Tomando esto como referencia, si una planta de *Theobroma cacao* L. (1753) mide 20 cm de altura, estimamos que el diámetro del tallo está en el rango de aproximadamente 0.2 a 0.4 cm.

Cuadro 7. Diámetro en tallo en *Theobroma cacao* L. (1753), según la dosis de Mycoroot® (*Glomus clarun*) y las fechas de evaluación

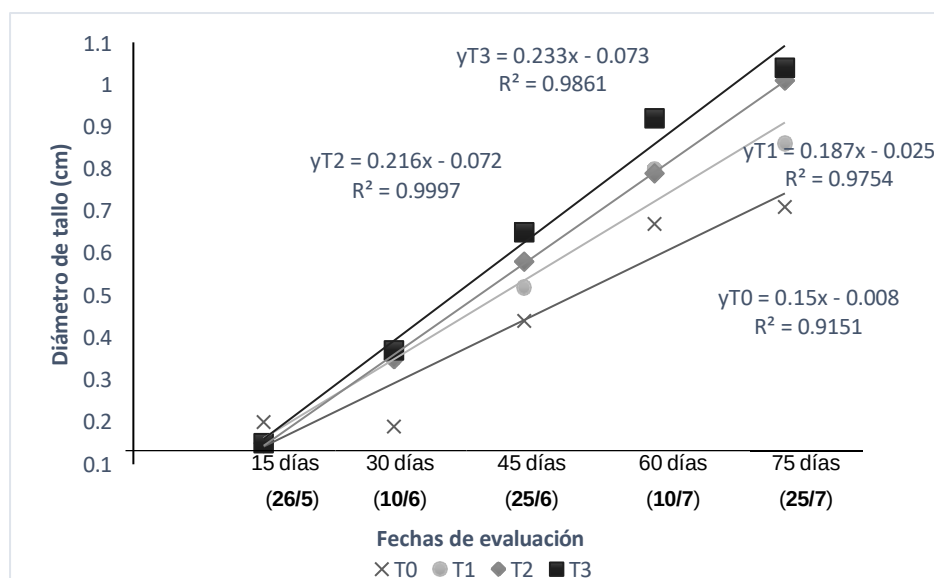
Tratamientos	Diámetro de tallo (cm)				
	Fechas evaluadas				
	15 días (26/5)	30 días (10/6)	45 días (25/6)	60 días (10/7)	75 días (25/7)
T0	0.20 ^a	0.19 ^b	0.44 ^d	0.67 ^c	0.71 ^c
T1	0.15 ^a	0.35 ^a	0.52 ^c	0.80 ^b	0.86 ^b
T2	0.15 ^a	0.35 ^a	0.58 ^b	0.79 ^b	1.01 ^a
T3	0.15 ^a	0.37 ^a	0.65 ^a	0.92 ^a	1.04 ^a

Fuente: Elaboración Propia

T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

* Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente

En la Figura 7, las ecuaciones de las líneas de tendencia y sus coeficientes de determinación (R^2) muestran que los tratamientos T0, T1, T2 y T3 presentan relaciones lineales fuertes entre las fechas evaluadas y el diámetro del tallo, con valores de R^2 de 0.92, 0.98, 0.99 y 0.96, respectivamente, indicando que los modelos lineales se ajustan cerca a uno.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

Figura 7. Diámetro de tallo de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753) durante los días evaluados.

Tras realizar el ANOVA para un Diseño de Bloques Completos Aleatorizados (DBCA), se probó la hipótesis nula $H_0: T_0 = T_1 = T_2 = T_3$ frente a la alternativa H_1 : al menos un tratamiento es diferente. Con un p-valor obtenido de 0.03, menor que 0.05, se

rechazó la hipótesis nula, sugiriendo diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al crecimiento del diámetro del tallo. Estas diferencias sugieren que al menos un grupo tiene mediciones de diámetro que son significativamente diferentes de otros grupos. Además, los resultados muestran una consistencia en la significancia entre las diferentes medidas de diámetro, lo que afirma una tendencia general en los datos.

Sandoval y García (2019), aseveran que el diámetro del tallo es un indicador directo del desarrollo estructural y la salud de la planta, al estar estrechamente relacionado con su capacidad para sostener hojas, ramas y frutos. En *Theobroma cacao* L. (1753), la evaluación de este parámetro permite comprender cómo la micorrización influye en el crecimiento y fortalecimiento de los plántones. Un aumento significativo en el diámetro puede evidenciar un mayor desarrollo estructural, lo que repercute en la resistencia de las plantas a condiciones adversas y en su capacidad de absorber nutrientes y agua del suelo.

Conforme a Martínez *et al.* (2015), el diámetro del tallo en *Theobroma cacao* L. (1753) guarda una relación significativa con la expansión del área foliar, siendo un indicador clave del crecimiento. Un mayor diámetro se asocia con una superficie foliar más amplia, lo que resalta la importancia del desarrollo estructural en la capacidad de la planta para generar mayor área foliar.

4.2.4. Índice de robustez

En la investigación, el tratamiento T0 presentó valores iniciales de IR superiores a 6 (8.74 y 9.58 en los primeros 15 y 30 días, respectivamente), lo que refleja una relación desequilibrada, indicativa de plántones pesados en la parte superior y susceptibles a fallas en campo. Sin embargo, a partir de la segunda fecha de evaluación (30 días), todos los tratamientos inoculados (T1, T2 y T3) mostraron una disminución significativa del IR, logrando valores menores a 6.

En la última fecha evaluada (75 días), los valores oscilaron entre 3.60 y 4.24, destacando T1 y T2 con los valores más bajos, lo que indica un equilibrio estructural adecuado y una mayor probabilidad de supervivencia al trasplante.

Cuadro 8. Índice de robustez en *Theobroma cacao* L. (1753), según la dosis de Mycoroot® (*Glomus clarun*) y las fechas de evaluación

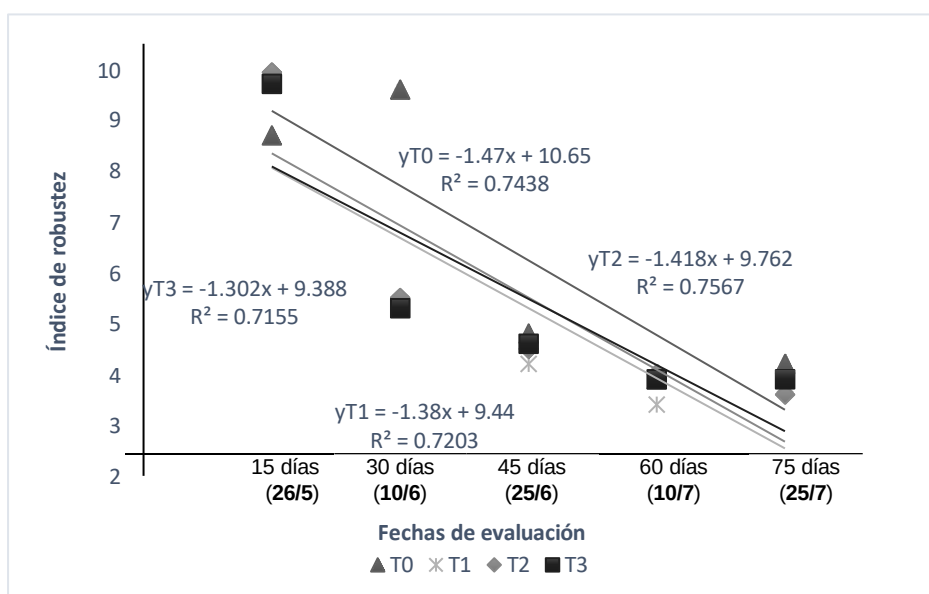
Tratamientos	Índice de robustez (Altura de planta / diámetro de tallo)				
	Fechas evaluadas				
	15 días (26/5)	30 días (10/6)	45 días (25/6)	60 días (10/7)	75 días (25/7)
T0	8.74 ^a	9.58 ^a	4.84 ^a	3.90 ^a	4.24 ^a
T1	9.74 ^a	5.38 ^b	4.20 ^a	3.42 ^b	3.80 ^b
T2	9.94 ^a	5.50 ^b	4.50 ^a	4.00 ^a	3.60 ^b
T3	9.94 ^a	5.36 ^b	4.58 ^a	4.84 ^a	3.94 ^a

Fuente: Elaboración Propia

T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

* Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente

Las ecuaciones de las líneas de tendencia en la Figura 8, representadas por $y = -1.47x + 10.65$, $y = -1.38x + 9.44$, $y = -1.418x + 9.762$, y $y = -1.302x + 9.388$, tienen coeficientes de determinación R^2 de 0.74, 0.72, 0.76 y 0.72, respectivamente. Estos valores indican que las líneas de tendencia se ajustan moderadamente bien a los datos, sugiriendo una relación moderada entre los tratamientos y el índice de robustez. Un valor de R^2 más alto indica un mejor ajuste de la línea de tendencia a los puntos de datos, siendo 1 un ajuste perfecto. Aquí, los valores oscilan entre aproximadamente 0.715 y 0.757, reflejando un ajuste ligeramente superior a la media.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

Figura 8. Índice de robustez de plántones de *Theobroma cacao* L. (1753) durante los días evaluados.

El análisis de varianza (ANOVA) revela diferencias significativas en los índices de robustez entre los grupos para todas las observaciones, excepto para el Índice de Robustez 1 y 3, donde no se encontraron diferencias significativas ($p=0,123$). Estas diferencias sugieren que al menos un grupo tiene índices de robustez que son significativamente diferentes de otros grupos.

Además, los resultados muestran una consistencia en la significancia entre las diferentes medidas de índice de robustez, excepto para el Índice de Robustez 1 y 3. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre los grupos en términos de sus índices de robustez, confirmando que existe al menos una diferencia significativa entre al menos dos grupos en todas las observaciones analizadas, excepto para el Índice de Robustez 1 y 3. En las pruebas de medias de Tukey se detalla esas diferencias significativas (Ver anexos 7).

El índice de robustez (IR), calculado como la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm), permite evaluar la calidad de los plantones. Cornelius (2021) señala que un IR de hasta 5.8 es aceptable, mientras que un IR de 5.0, aunque indica mayor altura, sigue siendo adecuado en condiciones de mantenimiento limitado. En cambio, valores superiores a 6, como 7.5, reflejan plantones frágiles con riesgo de mortalidad elevada.

El Índice de Robustez es un parámetro clave para evaluar la capacidad de las plantas de mantener una estructura sólida, esencial para su desarrollo. Este índice influye en la resistencia frente a condiciones ambientales y puede relacionarse con la eficacia de la micorrización. Un valor más alto sugiere un efecto positivo de *Mycoroot®* (*Glomus clarun*) en la calidad estructural de plantones de *Theobroma cacao* L. (1753), mejorando su rendimiento en vivero y etapas posteriores (Pérez, 2018).

Los valores por debajo de 6 son considerados óptimos según los criterios técnicos propuestos por Sáenz (2015), y coinciden con las recomendaciones de Cornelius (2021), quienes establecen que un IR menor a 6 está asociado a plantones equilibrados, con una base estructural suficientemente desarrollada para sostener el crecimiento aéreo y resistir condiciones adversas en campo.

Los valores del índice de robustez (IR) a los 75 días, registran los valores más bajos. Este resultado indica una arquitectura morfológica más equilibrada entre la altura de la planta y el grosor del tallo, lo que se traduce en una mayor estabilidad estructural

del plantón y, por ende, en una mejor capacidad de adaptación y supervivencia tras el trasplante al campo definitivo.

Estos resultados también se alinean con lo reportado por Pérez (2018), donde los plantones inoculados alcanzaron valores de IR entre 3.73 y 3.76, confirmando que el uso de hongos micorrízicos contribuye significativamente a mejorar la calidad estructural de las plántulas. Un IR dentro de este rango es considerado ideal para plantones de cacao, ya que reduce el riesgo de vuelco, permite un mejor anclaje al suelo y garantiza una distribución más eficiente de recursos hídricos y nutricionales.

4.3. Determinación de los niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en las raíces del *Theobroma cacao* L. (1753) durante la etapa de vivero

El Cuadro 9 presenta los niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*) (%C) en diferentes repeticiones y raíces para los tratamientos T0, T1, T2 y T3. En el tratamiento T0 (Testigo), se observa una colonización mínima, predominantemente cercana al 0 %, con una excepción en la Raíz 5 que muestra un 0.4%. A medida que se incrementa la concentración de Mycoroot® (*Glomus clarun*), se evidencia un aumento de los niveles de colonización.

El tratamiento T1 (2g Mycoroot® por litro de agua) presenta variabilidad entre repeticiones, con valores que oscilan entre 2 % y 11.4 %. En T2 (4g Mycoroot® por litro de agua), la colonización se incrementa, destacando la Raíz 2 con un 27.2 %. Finalmente, el tratamiento T3 (6g Mycoroot® por litro de agua) exhibe los niveles más altos, con variabilidad entre repeticiones y la Raíz 8 alcanzando un 42.2 %.

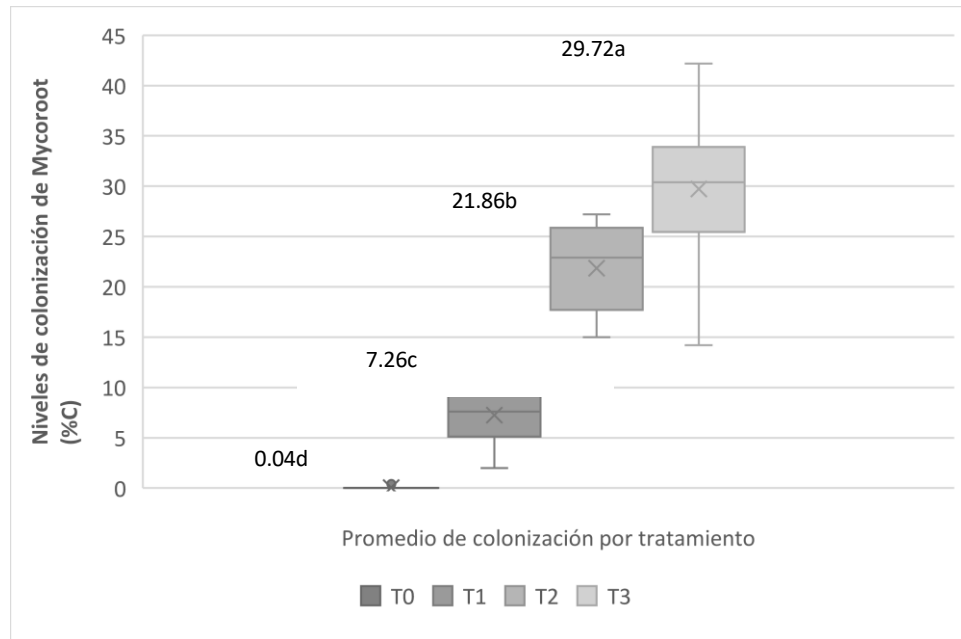
Cuadro 9. Resultados para la variable de Niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*)

Niveles de colonización de Mycoroot® <i>Glomus clarun</i> (% C)										
Tratamientos	Repeticiones									
	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
T1	8.2	5.6	2	6.6	11.4	8.2	11	9	3.6	7
T2	26.6	27.2	15	20	24.4	15.6	23.4	22.4	18.4	25.6
T3	36.6	26	23.8	29.8	28.6	32	14.2	42.2	31	33

Fuente: Elaboración Propia

T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

La Figura 9, muestra el diagrama de barras que representa los niveles de colonización de Mycorroot (%) en función de diferentes tratamientos (T0, T1, T2, T3). Los datos se expresan como el promedio de colonización por tratamiento. La barra correspondiente a T0, tiene un valor casi nulo de 0.04 %. La barra de T1 muestra un incremento significativo hasta el 7.26 %. T2 presenta un aumento aún mayor, con un valor del 21.86 %. Finalmente, T3 destaca con el valor más alto en el gráfico, 29.72 %. Se observa una tendencia ascendente clara en los niveles de colonización a medida que se avanza de T0 a T3.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycorroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycorroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycorroot® por litro de agua)

* Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente

Figura 9. Niveles de colonización de Mycorroot® (*Glomus clarun*) (%) de *Theobroma cacao* L. (1753) a los 80 días

Se ha realizado la Prueba de Kruskal – Wallis, por haber resultado en la prueba de normalidad como una distribución no normal, resultando que sí hay diferencias significativas en este factor.

Hipótesis de factor:

H_0 : Las distribuciones (o medianas) de los tratamientos son iguales.

H_1 : Al menos una de las distribuciones (o medianas) de los tratamientos es diferente

Para los niveles de colonización, se obtiene un nivel de significancia en tratamientos de 0.000 que es menor a 0.05, por lo que se rechaza la H_0 y se acepta H_1 ; Al menos una T es diferente.

La prueba de Dunn, aplicada como análisis post hoc tras el Kruskal–Wallis y con ajuste de valores de p mediante el método de Holm para controlar el error tipo I en comparaciones múltiples, reveló que los tratamientos T2 y T3 superan significativamente al testigo T0 en

niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarum*) (T0 vs T2, p-ajustado = 0,000180; T0 vs T3, p-ajustado = $3,34 \times 10^{-7}$), mientras que T3 también mostró una colonización significativamente mayor que T1 (p-ajustado = 0,00173). No se observaron diferencias significativas en las comparaciones T0 vs T1 (p-ajustado = 0,1116), T1 vs T2 (p-ajustado = 0,07951) ni T2 vs T3 (p-ajustado = 0,19338), lo que indica que T2 y T3 presentan un desempeño estadísticamente similar entre sí. Sin embargo, en términos absolutos, T3 registró el valor más alto de colonización, seguido de cerca por T2, ambos superando ampliamente a T0 y T1, por lo que T3 se considera el tratamiento más eficiente dentro de las condiciones evaluadas.

Cuadro 10. Comparaciones múltiples – Prueba de Dunn con corrección de Holm para la variable Niveles de colonización de Mycoroot® (*Glomus clarum*)

Comparación	Z	p-valor	p-ajustado Holm
T0 vs T1	-1.9127	0.05578	0.1116
T0 vs T2	-4.1315	0.0000360	0.000180
T0 vs T3	-5.4322	0.0000000557	0.000000334
T1 vs T2	-2.2188	0.02650	0.07951
T1 vs T3	-3.5194	0.000432	0.00173
T2 vs T3	-1.3007	0.19338	0.19338

En el contexto de nuestro trabajo de investigación sobre el efecto de Mycoroot® (*Glomus clarum*) en el crecimiento de plántones de *Theobroma cacao* L. (1753) en vivero, estos resultados resaltan la importancia de considerar la condición específica del suelo en Ucayali, Perú. Si el suelo local presenta bajos niveles de disponibilidad de fósforo, como sugiere el estudio de Falcón Oconor *et al.*, Mycoroot® (*Glomus clarum*) podría ser especialmente beneficioso para mejorar el crecimiento de los plántones (Pérez *et al*, 2019).

La colonización micorrícica se refiere a la extensión de las hifas del hongo micorrícico arbuscular (HFMA) en las raíces de las plantas, lo cual es crucial para la simbiosis planta-hongo que puede mejorar la absorción de nutrientes (Bartra, 2019).

La información proporcionada por estudios previos, como el de Falcón Oconor *et al.* (2021), sugiere que la efectividad de la simbiosis con hongos micorrícicos arbusculares (HFMA), como Mycoroot® (*Glomus clarum*), tiende a ser más pronunciada en suelos con baja disponibilidad de fósforo (P).

Esto es coherente con la idea de que los HFMA pueden mejorar la absorción de nutrientes, particularmente en condiciones de escasez de P. Sin embargo, los hallazgos de Rivera *et al.* (2020) plantean una consideración adicional: la efectividad de la inoculación con

cepas eficientes de HFMA puede ser óptima en condiciones de disponibilidad media de nutrientes, y se reduce en suelos con muy alta disponibilidad, donde los beneficios de la simbiosis pueden ser mínimos.

4.4. Determinación del estado nutricional del *Theobroma cacao* L. (1753) a la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*), durante la etapa de vivero.

Los resultados del análisis del estado nutricional del cacao en los cuatro tratamientos (T0, T1, T2, T3) revelan variaciones significativas en los niveles de diversos nutrientes. En cuanto al nitrógeno total, se observa un incremento marcado en T2 y T3, con valores de 1.51% y 1.50%, respectivamente, indicando una mayor disponibilidad de este macronutriente, esencial para el crecimiento vegetativo y la síntesis de proteínas.

En relación con el fósforo total, aunque los valores son relativamente similares entre tratamientos, se aprecia un ligero incremento en T2 y T3, sugiriendo una posible influencia positiva en procesos metabólicos asociados con el fósforo. El calcio presenta un aumento P (0.05) en T2 y T3, con valores de 0.93% y 0.97%, respectivamente, lo cual es crucial para la estructura celular y la regulación metabólica. En lo que respecta al magnesio, T2 destaca con más del doble de la concentración observada en los demás tratamientos, indicando una posible mejora en la fotosíntesis y la activación enzimática. T3 muestra el nivel más alto de potasio, esencial para la regulación osmótica y el transporte de nutrientes, lo cual podría influir positivamente en el rendimiento del *Theobroma cacao* L. (1753). Los resultados del estado nutricional del *Theobroma cacao* L. (1753) se detallan en la siguiente tabla:

Cuadro 11. Estado nutricional del *Theobroma cacao* L. (1753), último registro

Estado nutricional del <i>Theobroma cacao</i> L. (1753) (%)				
Ensayo	Tratamiento			
	Control, sin aplicación de micorrizas (T0)	2 g de HFMA por litro de agua (T1)	4 g de HFMA por litro de agua (T2)	6 g de HFMA por litro de agua (T3)
Nitrógeno total (%)	0.02	0.04	1.51	1.50
Fósforo total (%)	0.09	0.09	0.12	0.13
Calcio (%)	0.07	0.21	0.93	0.97
Magnesio (%)	0.02	0.22	0.35	0.30
Potasio (%)	0.05	0.46	1.08	1.11
Fierro (ppm)	6.01	38.90	65.81	77.67
Cobre (ppm)	6.40	8.87	7.30	8.50
Zinc (ppm)	9.97	44.74	53.63	57.84
Manganeso (ppm)	66.70	65.20	73.07	87.60

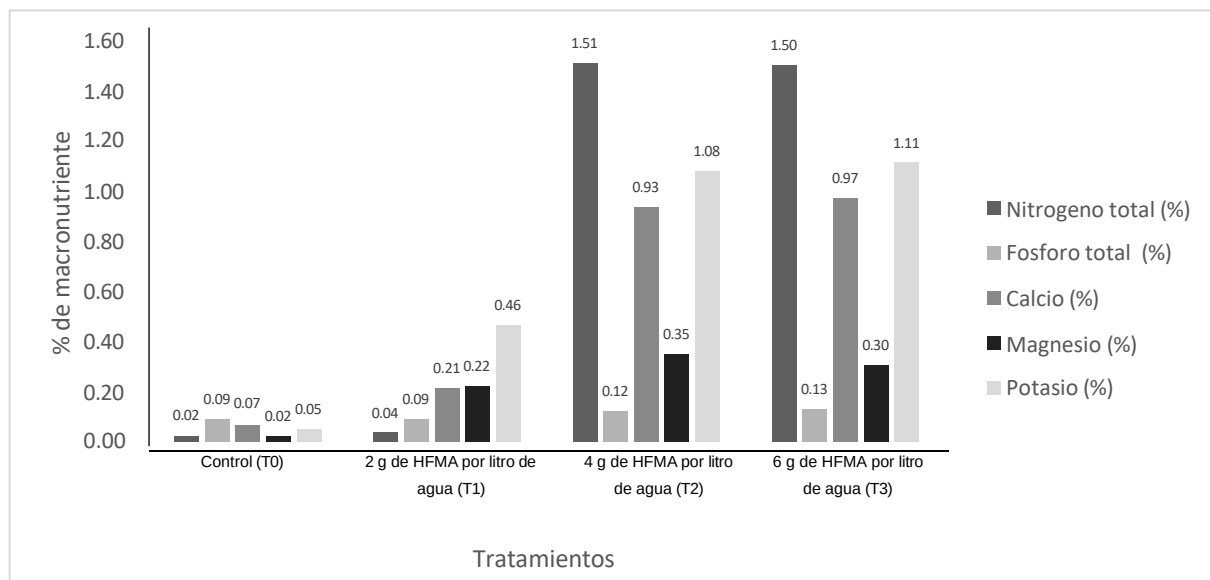
Los micronutrientes también presentan variaciones notables. En el caso del hierro, se observa un incremento progresivo, siendo T3 el tratamiento con la concentración más alta (77.67 ppm). La variación en los niveles de cobre es relativamente baja entre tratamientos, indicando estabilidad del micronutriente referido. T3 destaca con la concentración más alta de zinc (57.84 ppm), lo cual podría influir en procesos relacionados con la síntesis de proteínas y enzimas. Aunque los niveles de manganeso son relativamente constantes, T3 muestra la concentración más alta (87.60 ppm), esencial para varios procesos metabólicos.

La biomasa del cacao se ve influenciada por los niveles de irradiancia, ya que favorece la fotosíntesis y la acumulación de materia seca. Asimismo, el incremento de la luz dentro de rangos adecuados estimula el crecimiento de brotes y raíces, mejorando la asimilación neta. Esto evidencia que la biomasa del cacao depende directamente de la calidad e intensidad de luz disponible (Arévalo *et al.*, 2021). En ese sentido, las micorrizas, simbiosis mutualista entre hongos y las raíces de las plantas, desempeñan un papel crucial al facilitar la absorción de nutrientes, especialmente aquellos difíciles de obtener directamente del suelo.

La carencia de nutrientes puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, su productividad, y es en este punto donde las micorrizas pueden ser un factor clave. Al mejorar la absorción de nutrientes, estas asociaciones simbióticas pueden mitigar los efectos de la limitada disponibilidad de nutrientes en el suelo y, por ende, contribuir a un mejor estado nutricional de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753).

Arredondo *et al* (2015), indica que el hecho de que la nutrición mineral esté determinada por propiedades del suelo como el nivel de elementos y la capacidad de retención de agua destaca la importancia de comprender la interacción entre las micorrizas y estas propiedades del suelo. La aplicación de micorrizas podría influir positivamente en la disponibilidad de nutrientes, mejorando así el estado nutricional de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753).

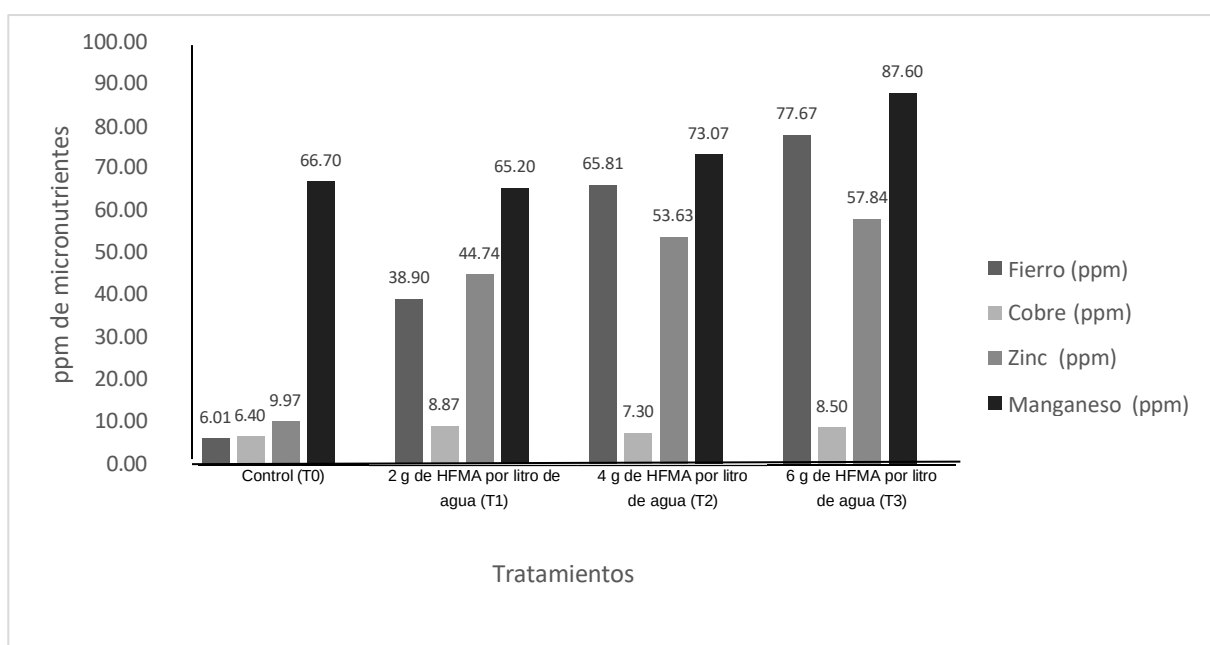
La concentración de nitrógeno en T2 (1.51%) y T3 (1.50%) resulta atípica y posiblemente excesiva, pudiendo ocasionar desequilibrios nutricionales. En contraste, el fósforo mantiene valores estables entre tratamientos (0.09%–0.13%), lo que se ajusta a los requerimientos de *Theobroma cacao* L. (1753) a los 80 días. El calcio muestra un aumento progresivo en T2 (0.93%) y T3 (0.97%), con potencial efecto positivo en el desarrollo estructural de las plantas. Asimismo, el magnesio presenta su concentración más alta en T2 (0.35%), lo cual favorece la fotosíntesis, aunque en T3 (0.30%) se observa una ligera disminución. Finalmente, el potasio alcanza niveles elevados en T3 (1.11%), lo que puede contribuir a la regulación osmótica.



T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

Figura 10. Estado nutricional de macronutrientes a 80 días

La sugerencia de elevar la producción al proporcionar nutrientes que corrijan sus niveles en el suelo se alinea con la idea de utilizar las micorrizas como una estrategia para mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes. Además, la referencia a estudios previos respalda la relevancia de explorar la relación específica entre las micorrizas y la nutrición de las plantas de *Theobroma cacao L. (1753)* (Llanos, 2020).



T0 (Testigo); T1 (2g Mycoroot® por litro de agua); T2 (4g de Mycoroot® por litro de agua); T3 (6g de Mycoroot® por litro de agua)

Figura 11. Estado nutricional de micronutrientes a 80 días

El análisis de micronutrientes en *Theobroma cacao* L. (1753) muestra variaciones entre tratamientos (T0–T3) (Ver Figura 11). El hierro (Fe) se incrementa progresivamente, alcanzando valores más altos en T2 (65.81 ppm) y T3 (77.67 ppm), fundamentales para la síntesis de clorofila y procesos fotosintéticos. El cobre (Cu) se mantiene estable entre tratamientos, asegurando su función enzimática y en el metabolismo de carbohidratos. El zinc (Zn) aumenta gradualmente, con un máximo en T3 (57.84 ppm), destacando su importancia en la síntesis de proteínas. El manganeso (Mn) muestra variabilidad moderada, siendo mayor en T3 (87.60 ppm), esencial en fotosíntesis y activación enzimática.

Los análisis de Kruskal - Wallis realizados para evaluar el estado nutricional de micro y macronutrientes han arrojado resultados significativos únicamente en el caso del hierro (Fe), donde se han observado diferencias estadísticas. Respecto a los demás nutrientes, no se han encontrado diferencias estadísticas significativas en los niveles de nitrógeno total, fósforo total, calcio, magnesio, potasio, cobre, zinc y manganeso entre los tratamientos analizados (Ver anexo 7).

El hallazgo puede indicar que la aplicación de micorrizas no ha generado cambios estadísticamente significativos en la absorción de estos nutrientes por parte de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753). Sin embargo, la diferencia estadística en los niveles de hierro podría sugerir una respuesta específica a la micorrización, destacando la importancia de examinar detenidamente la interacción entre las micorrizas y el metabolismo del hierro en el *Theobroma cacao* L. (1753), lo cual puede tener implicaciones en la fotosíntesis y otros procesos metabólicos.

En particular, el tratamiento T1, que consiste en la aplicación de 2 g de Mycoroot® (*Glomus clarun*) por litro de agua, exhibe una concentración notablemente más alta de hierro (38.90 ppm) en comparación con el grupo de control (6.01 ppm). Además, el tratamiento T2, con 4g de Mycoroot® (*Glomus clarun*) por litro de agua, muestra un incremento significativo en los niveles de hierro (65.81 ppm), siendo estadísticamente diferente al grupo de control. En el tratamiento T3, con 6g de Mycoroot® (*Glomus clarun*) por litro de agua, se observa la concentración más elevada de hierro (77.67 ppm), con una diferencia estadística significativa en comparación con el grupo de control.

A pesar de que la significancia estadística es moderada ($p = 0.103$), estas observaciones sugieren un efecto positivo de la aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en la absorción de hierro por parte de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753). La importancia de niveles adecuados de hierro radica en su papel esencial en la síntesis de clorofila y otros procesos metabólicos cruciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

V. CONCLUSIONES

- Se han determinado los efectos de la aplicación de micorrizas Mycoroot® (*Glomus clarun*) sobre el crecimiento de plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) (*Theobroma cacao* L. 1753) durante la etapa de vivero en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA). La aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) ha mostrado un impacto positivo significativo en el crecimiento de las plántulas, efectiva en variables como la altura de la planta, el diámetro del tallo y el área foliar. Este aumento en el crecimiento vegetativo se correlacionó con una mayor colonización micorrícica en las plantas tratadas con el T3.
- La aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) mostró un aumento significativo en la altura de las plantas y el diámetro del tallo, especialmente en T2 y T3. El Área Foliar Específica (AFE) fue mayor en T3, con diferencias significativas entre T1, T2 y T3. El Índice de Robustez mejoró con el tiempo, pasando de valores desequilibrados (>6) a un estado óptimo (<6).
- La colonización de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en raíces de *Theobroma cacao* L. (1753) aumentó significativamente con la dosis del T3. Existen diferencias significativas entre los tratamientos, con T3 mostrando la mayor colonización. Estos resultados sugieren que Mycoroot® (*Glomus clarun*) promueve una mayor colonización micorrícica, mejorando el crecimiento de los plantones.
- La aplicación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en *Theobroma cacao* L. (1753) incrementó notablemente los niveles de nitrógeno total en T2 (1.51 %) y T3 (1.50 %), siendo T3 el más alto. El fierro mostró un aumento significativo en T2 (65.81 ppm) y T3 (77.67 ppm), con diferencias significativas, sugiriendo un efecto específico de la micorrización en su absorción.

VI. RECOMENDACIONES

- Dada la variabilidad observada en los niveles de colonización en las raíces de los plántones, se recomienda realizar estudios adicionales para refinar la concentración óptima de Mycoroot® (*Glomus clarun*). Ajustar las dosis de aplicación podría maximizar la colonización micorrícica, promoviendo así un mayor impacto en el crecimiento y estado nutricional de las plantas de *Theobroma cacao* L. (1753) en la etapa de vivero.
- Aunque los valores del Índice de Robustez indican un estado óptimo en fechas posteriores, se sugiere un monitoreo continuo para evaluar la estabilidad del crecimiento en altura y diámetro del tallo. Este seguimiento permitirá identificar posibles desequilibrios a lo largo del tiempo y ajustar prácticas de manejo, si es necesario, para garantizar un desarrollo estructural equilibrado.
- Para respaldar aún más las conclusiones obtenidas, se recomienda replicar el estudio en condiciones similares y, preferiblemente, en diferentes ubicaciones. La replicación fortalecerá la validez de los resultados y proporcionará una base más sólida para las recomendaciones prácticas en la implementación de Mycoroot® (*Glomus clarun*) en la producción de *Theobroma cacao* L. (1753) en viveros.
- La integración de modelos climáticos mejorados podría potenciar la aplicación práctica de tratamientos como el HFMA en el vivero, contribuyendo así al desarrollo óptimo de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) en la región de Ucayali.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca Arroyo, X. A. y Gómez Zambrano, S.E. (2020). Efecto de la inoculación de micorrizas benéficas Mycoral en patrones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la etapa de desarrollo vegetativo [Tesis de bachiller, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6786>
- Adegbola, J. A., *et al.* (2019). Efectos de la intensidad de la luz sobre el crecimiento y el contenido de clorofila foliar de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Internacional de Agricultura y Biología*, 21(3), 521-528.
- Adu-Gyamfi, R., *et al.* (2020). El desarrollo radicular en el cacao (*Theobroma cacao* L.) está influenciado por diferentes regímenes de humedad del suelo. *Revista de Nutrición Vegetal*, 43(10), 1456-1467.
- Aime, M. C., Phillips-Mora, W., & Wilkinson, M. J. (2018). Los agentes causales de las enfermedades de la escoba de bruja y la pudrición helada de las vainas del cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) forman un nuevo linaje de Marasmiaceae. *Mycologia*, 100(6), 872-885.
- Andrade, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos, 7 p. Veracruz, México. Recuperado el 20 de agosto de 2018. Disponible en [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11 MICORRIZAS.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf)
- Angulo, C., Mathios, M., Racchumi, A., Bardales, R., & Ayala, D. (2021). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato. En *Revista de Investigación y Desarrollo Agrario* (Vol. 18, No. 3, pp. 261-266). DOI: 10.17268/manglar.2021.034
- Anim-Kwapong, G. J., *et al.* (2020). Crecimiento y respuestas fisiológicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) a la poda radicular en un ambiente de vivero. *Revista de Agricultura y Desarrollo Rural en los Trópicos y Subtrópicos*, 121(2), 285-295.
- Arévalo-Gardini, E., Farfán, A., Barraza, F., Arévalo-Hernández, CO, Zúñiga-Cernades, LB, Alegre, J., & Baligar, VC (2021). Respuestas de crecimiento, fisiológicas, de eficiencia de absorción de nutrientes y de tolerancia a la sombra de genotipos de cacao bajo diferentes tonalidades. *Agronomía*, 11 (8), 1536. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081536>
- Arredondo, A. Ramírez, R. Leiva, R. 2015. Cacao e Impedancia mecánica. Memorias Congreso XLV Nacional COMALFI. Fusagasugá, agosto de 2015.
- Arteaga, M. (2019). EFECTO DE LA BIOFERTILIZACIÓN EN PLÁNTULAS DE *Theobroma cacao* L. CON MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL 'BOSQUE DE HUAMANTANGA' DE LA PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

- Arvelo, M., Gonzáles, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas. San José, C.R.: IICA.
- Bartley, B. G., & Speirs, R. D. (2019). Manejo integrado de la enfermedad de la vaina negra (*Phytophthora megakarya*) del cacao (*Theobroma cacao* L.) en África Occidental. *Protección de Cultivos*, 124, 104838.
- Bartra, W. (2019). Efecto de la procedencia HFMA, dosis de inoculación y fertilización en el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. Pucallpa: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.
- Becerra, L. (2022). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y producción del tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Bécquer, C. J., Puentes, Adelaida B., Cabrera, Arachely, Hernández, María, & Sánchez, Ana. (2021). Efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en variables agroproductivas de *Morus alba*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), . Epub 01 de junio de 2021. Recuperado en 31 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802021000200009&lng=es&tlng=es.
- Bembibre, V. (agosto de 2022). Definición ABC. Recuperado de Definición de cultivo y Sustrato: <https://www.definicionabc.com/general/cultivo.php>
- Benito, J.A. (2010). Investigación en cacao en el Perú. Informe especial N° 02 INIP- CIPA XIII S.M. Tarapoto – Perú. 36 pp.
- Bluer, S.L. (2006). Origen del cacao. Recuperado de <http://www.bluer.es/eliminacion-de-olores-en-la-industria-delcacao.html>
- Carrillo-Saucedo, Silvia Margarita, Puente-Rivera, Jonathan, Montes-Recinas, Saraí, & Cruz-Ortega, Rocío. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, (129), e1932. Epub 21 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Cochran, WG (1977) Técnicas de muestreo. 3ª edición, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Cornelius, J.P. 2021. Guía de semillas y plantones agroforestales. Nairobi: Centro Internacional de Investigación Agroforestal.
- Cortés Cortés, Manuel E., Mur Villar, Norma, Iglesias León, Miriam, & Cortés Iglesias, Manuel. (2020). Algunas consideraciones para el cálculo del tamaño muestral en investigaciones de las Ciencias Médicas. *MediSur*, 18(5), 937-942. Epub 02 de octubre de 2020. Recuperado en 31 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2020000500937&lng=es&tlng=es.

- Cotrina, Y., & Carreño, C. (2019). Hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelo radicular de *Portulaca oleracea* L. como potenciales promotores del crecimiento de plantas en suelos salinos. Trujillo: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Cruz Castillo, J.B. (2017). Respuesta de cacao (*Theobroma cacao* L.) y Teca (*Tectona grandis* L.f) a la micorrización durante la etapa de vivero [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3656/>
- Cuadros, G. A., Gómez, R. S., Rodríguez, N. F. (2010). 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.
- Damiano Tinoco, H. S. (2021). Efecto de tres bioestimulantes y dos tipos de sustratos, en la obtención de plantones para patrón de *Theobroma cacao* L. (cacao) en vivero en Tingo María.
- Delgado Silva, H. D. ., & Gutiérrez Montoya, L. V. . (2022). Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 12(2), 2–14. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15196>
- Erazo Torres, G. E. (2013). Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo en plantas de vivero de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Cantón Santo Domingo [Tesis de bachiller, Escuela Politécnica del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6835> F.C. Steward) Ac. Press. 1-435.
- Esquivel-Quispe, Roberta, Quispe-Ochoa, Josue Olser, & Hernández-Cuevas, Laura Verónica. (2021). Experiencias sobre la propagación y efectividad de los hongos micorrizógenos arbusculares en Latinoamérica. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(2), 99-110. Epub 00 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090200099>
- Falcón Oconor, Emir, Cobas López, Milagros, Bonilla Vichot, Marta, & Rodríguez Leyva, Orfelina. (2021). Efecto del sustrato y la micorriza arbuscular en el sistema radical y estado nutricional de *Swietenia mahagoni* L. Jacq.. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3), 395-411. Epub 06 de septiembre de 2021. Recuperado en 31 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300395&lng=es&tng=es
- Fister, A. S., Mejía, L. C., & Zhang, Y. (2018). Biocontrol de patógenos del cacao. En *Enfermedades del cacao* (pp. 165-183). Springer, Cham.
- Francisco-Santiago, Sandra Patricia, Palma-López, David Jesús, Sánchez-Hernández, Rufo, Obrador-Olán, José Jesús, & García-Alamilla, Pedro. (2023). Fertilidad edáfica y nutrición en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres suelos de Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 41, e1116. Epub 14 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1116>

- Garay-Peralta, Ignacio, Villarruel-Fuentes, Manuel, Díaz-Peón, Antonio Luna, Chávez-Morales, Rómulo, & Herrera-Alarcón, Jesús. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*. 35 (1), 54337. <https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- García, A. B., *et al.* (2021). Avances en la selección genética de *Theobroma cacao* para la mejora de su rendimiento. *Revista de Agricultura Tropical*, 14(2), 45-58.
- García, A., *et al.* (2019). Impacto del riego y la nutrición en el crecimiento de plántones de cacao. *Revista de Agricultura Sostenible*, 12(2), 45-58.
- García, A., López, B., & Martín, C. (2020). Impacto de la luz en el crecimiento de plántulas de cacao. *Revista de Investigaciones Agrícolas*, 25(2), 45-58.
- García, A., Pérez, B., & Sánchez, C. (2019). Influencia de diferentes sustratos en el desarrollo inicial de plántulas de *Theobroma cacao*. *Revista de Agricultura Tropical*, 45(2), 112-126.
- Google Earth. (2025). Vivero Forestal de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, carretera a San José km 0.6, Ucayali, Perú (Coordenadas UTM: 18L 544858mN, 9077199mE, 146 msnm) [Google Earth]. Google. <https://earth.google.com>
- H.Pastor-Soplín, Santiago, Velásquez, Dora, & Rivas, Emma. (2022). Utilización de los recursos genéticos en un país que es centro de origen: el caso del cacao en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 29(4), e22018. Epub 25 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.15381/rpb.v29i4.22018c>
- Hernández, C. (2016). Prospección de la densidad de esporas y colonización de micorrizas en cacao silvestre de Ucayali Madre de Dios. Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina.
- INIA (2023). Análisis de suelos realizado en el laboratorio del INIA Informe de Ensayo N° 00003-24/SU/ LABSAF - Pucallpa. INIA.
- Johnson, R. S., *et al.* (2018). Diversidad genética y resistencia a enfermedades en *Theobroma cacao*. *Revista de Patología Vegetal*, 25(3), 112-130.
- Jones, T. W. y Smith, L. K. (2019). Patrones de crecimiento de plántulas de cacao en condiciones de vivero. *Revista Internacional de Ciencias de las Plantas*, 7(4), 210-225.
- Leblanc, H. A., & Márquez, E. (2014). Efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de cacao en vivero. *Tierra Tropical*, 10(2), 191-200.
- Leiva-Rojas, Edna I., Gutiérrez-Brito, Eduardo E., Pardo-Macea, Camilo J., & Ramírez-Pisco, Ramiro. (2019). COMPORTAMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) POR EFECTO DE LA PODA. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 137-146. Epub 16 de agosto de 2019. Recuperado en 31 de agosto de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200137&lng=es&tlng=es.

- Llamo Guerrero, Y. (2023). Efecto de Aplicación de Microorganismos Eficaces (EM Compost) en la producción de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero; Cajaruro, 2023 (Tesis doctoral, Universidad Politécnica Amazónica).
- Llanos, K. (2020). IDENTIFICACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN PLANTACIONES DE CACAO NATIVO (*Theobroma cacao* L.) EN LAS PROVINCIAS DE BAGUA Y UTCUBAMBA, REGIÓN AMAZONAS. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Llanos-Gómez, K. J., Silva-Manco, M. J., Sanchez-Santillan, T., Arce-Inga, M., & Leiva-Espinoza, S. T. (2023). Identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de cacao en la región amazónica, Perú. *Manglar*, 20(1), 7-14. <https://dx.doi.org/10.57188/manglar.2023.001>
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., & Carrasco Vega, Y. L. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. En *Revista de Agricultura Tropical* (Vol. 12, No. 3, pp. 344-352). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300344
- López Medina, Segundo Eloy, Mostacero León, José, Gil Rivero, Armando Efraín, López Zavaleta, Angélica, & De la Cruz Castillo, Anthony. (2018). Lapso de viabilidad de semillas de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) "cacao" en condiciones de laboratorio, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 25(2), 481-488. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25208>
- López, Pedro Luis. (2004). POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO. *Punto Cero*, 09(08), 69-74. Recuperado en 16 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es.
- Maldonado Flores, F. D. M. (2022). Efecto de dos fertilizantes con dos sustratos en el crecimiento de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.), Tocache-San Martín, 2022.
- Marlo, H. (2017). Efecto biofertilizante de hongos micorrízicos arbusculares nativos en plantas clonales de café (*Coffea arabica* var. caturra), bajo condiciones de vivero en la región San Martín. Tarapoto: Universidad Peruana Unión.
- Martínez Reina, Antonio María. (2023). Tipificación de productores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la subregión del Sur de Córdoba en Colombia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 88-95. Epub 00 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.53287/dccx6428sm50v>
- Martínez, D., & Gómez, E. (2018). Efectos de la temperatura en el desarrollo inicial del cacao en vivero. *Agricultura Tropical*, 12(1), 78-89.
- Martínez, E., & Torres, M. (2020). Efecto de la porosidad del sustrato en el crecimiento radicular de plantones de cacao. *Journal of Cacao Research*, 25(3), 78-91.

- Martínez, M. R., Mendieta, L. M., & Castellón, O. M. (2015). Prendimiento de dos tipos de injertos en cacao en distintas fases lunares, Siuna, 2014. *Ciencia e Interculturalidad*, 17(2),
- MasScience. (2023). Partes del árbol de cacao. Mexico CD: MasScience.
- Méndez-Gálvez, Silvia. (2021). Los hongos micorrícicos arbusculares para una agricultura sustentable. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 1-2. Epub 00 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100001>
- Ministerio de Agricultura & Riego-MINAGRI. (2018). Análisis de la cadena productiva del cacao con enfoque en los pequeños productores de limitado acceso al mercado. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Mollericona Alfaro, M. D., Laimé Calle, E. E., & Merma Santos, E. A. (2022). Estimación no destructiva del área foliar en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a partir de mediciones lineales en la hoja, Estación Experimental Sapecho. *Apthapi*, 8(1). http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-93822022000100002
- Myco -Ual. (22 de Junio de 2023). w3.ual.es. Obtenido de <https://w3.ual.es/>: <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>
- Noboa Tobar, F. J. (2019). Efecto de la aplicación de tres productos a base de ácidos húmicos y fúlvicos sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Valencia, Provincia de Los Ríos.
- Opoku, I. Y., *et al.* (2020). Análisis de la diversidad genética y la estructura poblacional de las accesiones de *Theobroma cacao* L. en Ghana utilizando marcadores microsatélites. *Revista Internacional de Horticultura*, 4(5), 155-161.
- ORDOÑEZ-ESPINOSA, CLAUDIA-MERCEDES, SUÁREZ-SALAZAR, JUAN-CARLOS, RANGEL-CHURIO, JESUS-ORLANDO, & SAAVEDRA-MORA, DAVID. (2021). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19 (1), 256-267. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)256-267](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)256-267)
- Osorio G., Mónica Andrea, Leiva R., Edna Ivonne y Ramírez P., Ramiro. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34 (2), 73-82. <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.73>
- Osorio Zambrano Mayra Andreina, Rodríguez Pérez Loyla, Sierra Ríos Rafael, Terán Wilson. Curvas de respuesta fotosintética a la luz: elucidando la capacidad fotosintética de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) aclimatadas a luz solar plena en Cundinamarca, Colombia. *Bot. sci [revista en la Internet]*. 2023 Jun [citado 2025 Ago 31] ; 101(2): 435-448. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

<https://doi.org/10.17129/botsci.3118>.

- Otzen, Tamara y Manterola, Carlos. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Revista Internacional de Morfología*, 35 (1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pacheco Flores De Valgaz, A., & Barcos Arias, M. (2022). Descubriendo la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares asociadas a dos sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Doctoral dissertation, ESPOL. FCV).
- PANDURO-TENAZOA, Nadia Masaya, RAMIREZ-FLORES, Noé, LÓPEZ Y MORALES, Javier Gonzalo, PINEDO-PANDURO, Mario Herman, HUAMANI-YUPANQUI, Hugo Alfredo, ABANTO-RODRIGUEZ, Carlos, & SALDAÑA, Herman COLLAZOS. (2023). Efecto de los Factores Climáticos Determinantes en la Producción de *Myrciaria Dubia* Hbk Mc Vaught, en Ucayali - Perú, 2009-2019. *Folia Amazónica*, 32(1), e32645. Epub 15 de junio de 2023. <https://doi.org/10.24841/fa.v32i1.645>
- Perea, R., Gutiérrez, L., & Díaz, F. (2018). Contenedores adecuados para el crecimiento inicial de plántones de cacao en vivero. *Agricultura Sostenible*, 12(4), 210-225.
- Pérez Moncada, Urley Adrian, Ramírez Gómez, Margarita, Serralde Ordoñez, Diana Paola, Peñaranda Rolón, Andrea María, Wilches Ortiz, Wilmar Alexander, Ramírez, Luciano, & Rengifo Estrada, Gersain Antonio. (2019). Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) como estrategia para reducir la absorción de cadmio en plantas de cacao (*Theobroma cacao*). *Terra Latinoamericana*, 37(2), 121-130. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.479>
- Pérez, A., Aranda, R., Rivera, R., Bustamante, C., & Pérez, Y. (2019). Indicadores de calidad para posturas microinjetadas de *Theobroma cacao* inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. Guantánamo: Centro de Gestión Paso de Cuba.
- Pérez, F., & Rodríguez, M. (2019). Interacción entre luz y temperatura en el crecimiento de plántones de *Theobroma cacao*. *Revista Cacaotera*, 8(3), 112-125.
- Pérez, J. M., et al. (2022). Selección genética de plántones de cacao en etapa de vivero. *Investigación Agrícola*, 5(1), 78-89.
- Pérez, J., et al. (2019). Composición del sustrato y sus efectos sobre el crecimiento temprano de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un vivero. *Sistemas Agroforestales*, 43(8), 1123-1135.
- Pérez, L., & Gutiérrez, M. (2020). Importancia del nitrógeno en el crecimiento inicial de plantas de *Theobroma cacao*. *Revista de Investigación Agrícola*, 8(3), 76-89.
- Pérez, N. (2018). Influencia de concentraciones de microorganismos eficaces con cerámica fitoprotectante en el crecimiento en altura, diámetro, área foliar y calidad de plántones de *Theobroma cacao* (cacao). Pucallpa: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

- Pérez, N. (2018). Influencia de concentraciones de microorganismos eficaces con cerámica fitoprotectante en el crecimiento en altura, diámetro, área foliar y calidad de plantones de *Theobroma cacao* (cacao). Pucallpa: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.
- Pérez-Vicente Luis. *Moniliophthora roreri* H.C. Evans et al. y *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo. *Rev. Protección Veg.* [Internet]. 2018 Abr [citado 2025 Ago 31]; 33(1): . Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522018000100007&lng=es.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161. doi: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
- Quevedo Guerrero, José Nicasio, Ramírez Villalobos, Maribel, Zhiminaicela Cabrera, Jonathan, Noles León, Mercedes J., Quezada Hidalgo, Carlos, & Aguilar Flores, Steeven. (2020). Diversidad morfoagronómica: caracterización de 650 árboles de *Theobroma cacao* L.. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(6), 14-21. Epub 02 de diciembre de 2020. Recuperado en 30 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000600014&lng=es&tlng=es.
- Rada Mallqui, T. D. (2023). Aplicación de tres dosis de bio CNPK energético 9-19-9 en el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon IMC 67 en Pucallpa.
- Ramírez, J., & Gómez, S. (2021). Impacto del tipo de contenedor en la regulación de temperatura y crecimiento de plantones de cacao. *Revista Latinoamericana de Agricultura Sostenible*, 30(1), 45-58.
- Ricárdez-Pérez, Juan David, Gómez-Álvarez, Regino, Álvarez-Solís, José David, Pat-Fernández, Juan Manuel, Jarquín-Sánchez, Aarón, & Ramos-Reyes, Rodimiro. (2020). Vermicomposta y micorriza arbuscular, su efecto en la nutrición del cacao en fase de invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(3), e2282. Epub 08 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2282>
- Richards, F.J. 1969. The quantitative analysis of growth. En: *Plant Physiology, a Treatise* (Ed. Rivera, R. A.; Fernández, F.; Ruiz, L.; González, P. J.; Rodríguez, Y.; Pérez, E. (2020). Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrízico EcoMic® en la producción agrícola. (Ed. R. A. Rivera). San José de las Lajas, Cuba: Ediciones INCA, 2020
- Robles-González, Kristell K., Álvarez-Solís, José D., Bertolini, Vincenzo, & Pérez-Luna, Yolanda C.. (2023). Diversidad y propagación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de un cafetal orgánico en Chiapas, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(2), 147-155. Epub 02 de abril de 2024. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.147>

- Rodríguez, D. A., *et al.* (2020). Propiedades físicas del sustrato y su relación con el crecimiento inicial de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía*, 10(2), 260.
- Rodríguez, S., *et al.* (2019). Requerimientos nutricionales de plantas de cacao en etapa de vivero. *Agricultura Sostenible*, 7(2), 30-45.
- Rosas Baras, J. L. (2021). Efecto de la aplicación de dolomita y magnocal en la dinámica del suelo y crecimiento vegetativo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Neshuya-Padre Abad.
- Sáenz, *et al.* 2015. Influencia de cuatro tipos de sustratos en el crecimiento y calidad
- Sánchez, E., & Vargas, R. (2017). Riego controlado y su influencia en el desarrollo radicular de plántulas de cacao. *Journal of Tropical Agriculture*, 4(5), 98-110.
- Sandoval, & Garcia. (2019). Obtención de Inoculantes puros de hongos micorrícicos arbusculares monospórico y consorcio en cultivo de *Brachiaria decumbens* como opción para la reducción de fertilizantes sintéticos en el departamento de Ucayali. Pucallpa.
- Saparrat, M. C. N., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). Micorrizas arbusculares. En *Libros de Cátedra*.
- Saravia-Castillo, Gabriela, Castro-Cepero, Viviana, Julca Otiniano, Alberto, Alvarado-Huamán, Leonel, & Borjas-Ventura, Ricardo. (2022). Effect of flooding stress on cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 10(2), 78-85. Epub 01 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100200078x>
- Sierra, J; Murcia, H (2022). Respuesta micorrizal de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad FSV-094 a la aplicación de diferentes inóculos micorrizales. *Revista Temas Agrarios*.
- Sisalima-Ortega, L., Ruilova, V., & Capa-Morocho, M. (2023). Efecto de inoculación micorrízica en la etapa productiva del cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 13(1), 17–24. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1742>
- Smith, A. B., *et al.* (2020). Diversidad genética y adaptabilidad de *Theobroma cacao*. *Revista de Genética y Mejoramiento Vegetal*, 12(2), 87-102.
- Smith, A., & Jones, B. (2018). Optimización de técnicas de riego para mejorar el desarrollo radicular en sistemas de viveros de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Gestión del agua en la agricultura*, 29(5), 678-689.
- Soto Sogamoso, Jimilgton Enrique, Pinto Lopera, Jesús Emilio, & Millán Rojas, Edwin Eduardo. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *TecnoLógicas*, 25 (54), e302. Publicación electrónica del 28 de octubre de 2022. <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>
- Toala Vera, J. C. (2021). Inoculación de micorriza arbuscular y su incidencia en el crecimiento inicial de tres especies forestales en la fase de vivero (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

- Tondjo, K; Brancheriau, L; Sabatier, SA; Kokutse, AD; Akossou, A; Kokou, K; Fourcaud, T. 2015. Non destructive measurement of leaf area and dry biomass in *Tectona grandis*. Montpellier, FR. *Trees* 29: 1625-1631.
- Torres, R. (2010). Hongos micorrízicos asociados a *Solanum hindsianum* (59 p.). Ensenada, Baja California, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior 18 de agosto de 2018. Recuperado de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2067/1/VERSION%20FINAL%20TESIS%20MONTANA%20copy.enpdf.pdf>
- Trejo, Dora, Hernández-Acosta, Elizabeth, Baeza-Guzmán, Yajaira, Pérez-Toledo, Gibran, Morgado-Viveros, Elvira, & Bañuelos, Jacob. (2021). Efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares introducidos y nativos en seis leguminosas coberteras. *Scientia fungorum*, 51, e1320. Epub 28 de febrero de 2022. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1320>
- Trinidad, L. (2017). Manual de manejo fisionutricional en los cultivos con énfasis en Cacao y Arroz. Promotor de Química Suiza S.A Tarapoto.
- Valdés, F. E., Abarca, C., & Paula, R. (2020). CAPÍTULO 1 Introducción y generalidades. En *Micorrizas arbusculares*.
- Valera, C. (1996). Variación climatológica en Pucallpa. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Vallejos-Torres, G., Tenorio-Cercado, M., Gaona-Jimenez, N., Corazon-Guivin, M., Ormeño-Luna, J., Paredes, C., ... & Marín, C. (2022). Multiplicación masiva de hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelos cultivados con cacao. *Bioagro*, 34(3), 265-276.
- Vásquez. (2022). Inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Maíz (*Zea mays*), Frejol Caupí (*Vigna unguiculata*) en el laboratorio e invernadero del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP, distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. Pucallpa.
- Vera-Chang, Jaime Fabián, Herrera-Tamayo, Nataly Lorena, Alvarez-Sanchez, Ana Ruth, Alvarez-Aspiazu, Andry Annabel, Díaz-Camposano, Edison Geovanny, & Vásquez-Cortez, Luis Humberto. (2024). Comportamiento agronómico de cuarenta y un cruces interclonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Ecuador. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 27 (2), e2729. Publicación electrónica del 05 de diciembre de 2024. <https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2729>
- Villalobos, S. (2019). "EFECTO DE LA BIOFERTILIZACIÓN EN PLÁNTULAS DE *Theobroma cacao* L. CON MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL "BOSQUE DE HUAMANTANGA" DE LA PROVINCIA DE JAÉN – Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

- Wilches Ortiz, Wilmar Alexander, Ramírez Gómez, María Margarita, Reyes Méndez, Laura María, Pérez Moncada, Urley Adrián, Serralde Ordoñez, Diana Paola, & Peñaranda Rolón, Andrea María. (2022). Uso de Micorrizas Arbusculares en dos variedades de caña de azúcar para producción de panela en Suaita-Santander, Colombia. *Siembra* , 9(1), e3802. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3802>
- Wilches Ortiz, Wilmar Alexander, Ramírez Gómez, María Margarita, Pérez Moncada, Urley Adrian, Serralde Ordoñez, Diana Paola, Peñaranda Rolon, Andrea María, & Ramírez, Luciano. (2019). Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Registros de mediciones de evaluación de variables en vivero.

Medidas realizadas el 26 de mayo de 2023

	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T0 - R1	3	26/05/2023	14.6	0.15	9.7	
T0 - R2	4	26/05/2023	13.5	0.18	7.5	
T0 - R3	3	26/05/2023	15.5	0.18	8.6	
T0 - R4	1	26/05/2023	13.4	0.14	9.6	
T0 - R5	3	26/05/2023	14.1	0.17	8.3	
		$\bar{x}$	14.22	0.2	8.74	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T1 - R1	3	26/05/2023	14.3	0.16	8.9	
T1 - R2	4	26/05/2023	16	0.18	8.9	
T1 - R3	1	26/05/2023	15.4	0.16	9.6	
T1 - R4	4	26/05/2023	14.7	0.14	10.5	
T1 - R5	4	26/05/2023	14	0.13	10.8	
		$\bar{x}$	14.88	0.15	9.74	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T2 - R1	3	26/05/2023	15.7	0.17	9.2	
T2 - R2	3	26/05/2023	14.3	0.13	11.0	
T2 - R3	5	26/05/2023	13.9	0.15	9.3	
T2 - R4	1	26/05/2023	15.1	0.17	8.9	
T2 - R5	4	26/05/2023	13.6	0.12	11.3	
		$\bar{x}$	14.52	0.15	9.94	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T3 - R1	1	26/05/2023	16.1	0.17	9.5	
T3 - R2	2	26/05/2023	15.2	0.18	8.4	
T3 - R3	1	26/05/2023	14.2	0.14	10.1	
T3 - R4	1	26/05/2023	14.2	0.14	10.1	
T3 - R5	3	26/05/2023	14.5	0.14	10.4	
		$\bar{x}$	14.84	0.15	9.94	

Medidas realizadas el 10 de junio de 2023

	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T0 - R1	3	10/06/2023	18.4	0.2	9.2	
T0 - R2	4	10/06/2023	19.3	0.18	10.7	
T0 - R3	3	10/06/2023	18.2	0.19	9.6	
T0 - R4	1	10/06/2023	17.8	0.2	8.9	
T0 - R5	3	10/06/2023	19	0.2	9.5	
		$\bar{x}$	18.54	0.19	9.58	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T1 - R1	3	10/06/2023	18.6	0.35	5.3	
T1 - R2	4	10/06/2023	20.2	0.4	5.1	
T1 - R3	1	10/06/2023	18.6	0.42	4.4	
T1 - R4	4	10/06/2023	18.7	0.31	6.0	
T1 - R5	4	10/06/2023	17.1	0.28	6.1	
		$\bar{x}$	18.64	0.35	5.38	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T2 - R1	3	10/06/2023	20.1	0.35	5.7	
T2 - R2	3	10/06/2023	19.5	0.36	5.4	
T2 - R3	5	10/06/2023	19.3	0.34	5.7	
T2 - R4	1	10/06/2023	20.1	0.35	5.7	
T2 - R5	4	10/06/2023	18.1	0.36	5.0	
		$\bar{x}$	19.42	0.35	5.50	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T3 - R1	1	10/06/2023	20.55	0.39	5.3	
T3 - R2	2	10/06/2023	20.55	0.37	5.6	
T3 - R3	1	10/06/2023	19.85	0.37	5.4	
T3 - R4	1	10/06/2023	19.25	0.35	5.5	
T3 - R5	3	10/06/2023	19.65	0.39	5.0	
		$\bar{x}$	19.97	0.37	5.36	

Medidas realizadas el 25 de junio de 2023

	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T0 - R1	3	25/06/2022	21.1	0.44	4.8	
T0 - R2	4	25/06/2022	21.5	0.45	4.8	
T0 - R3	3	25/06/2022	20.6	0.42	4.9	
T0 - R4	1	25/06/2022	21.2	0.45	4.7	
T0 - R5	3	25/06/2022	21.7	0.43	5.0	
		$\bar{x}$	21.22	0.44	4.84	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T1 - R1	3	25/06/2022	22.2	0.51	4.4	
T1 - R2	4	25/06/2022	20.9	0.5	4.2	
T1 - R3	1	25/06/2022	21.9	0.61	3.6	
T1 - R4	4	25/06/2022	22.3	0.53	4.2	
T1 - R5	4	25/06/2022	21.8	0.47	4.6	
		$\bar{x}$	21.82	0.52	4.20	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T2 - R1	3	25/06/2022	25.4	0.58	4.4	
T2 - R2	3	25/06/2022	26.4	0.6	4.4	
T2 - R3	5	25/06/2022	26.5	0.56	4.7	
T2 - R4	1	25/06/2022	26.4	0.58	4.6	
T2 - R5	4	25/06/2022	26.2	0.59	4.4	
		$\bar{x}$	26.2	0.58	4.50	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T3 - R1	1	25/06/2022	27.5	0.66	4.2	
T3 - R2	2	25/06/2022	30.7	0.65	4.7	
T3 - R3	1	25/06/2022	26.2	0.64	4.1	
T3 - R4	1	25/06/2022	27.3	0.65	4.2	
T3 - R5	3	25/06/2022	29.8	0.66	5.7	
		$\bar{x}$	28.3	0.65	4.58	

Medidas realizadas el 10 de julio de 2023

	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T0 - R1	3	10/07/2023	25.8	0.65	4.0	
T0 - R2	4	10/07/2023	26.13	0.675	3.9	
T0 - R3	3	10/07/2023	25.1	0.65	3.9	
T0 - R4	1	10/07/2023	25.8	0.68	3.8	
T0 - R5	3	10/07/2023	26.5	0.68	3.9	
		$\bar{x}$	25.80	0.67	3.90	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T1 - R1	3	10/07/2023	26.8	0.76	3.5	
T1 - R2	4	10/07/2023	28.9	0.77	3.8	
T1 - R3	1	10/07/2023	26.2	0.84	3.1	
T1 - R4	4	10/07/2023	26.3	0.84	3.1	
T1 - R5	4	10/07/2023	26.7	0.75	3.6	
		$\bar{x}$	27.0	0.80	3.42	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T2 - R1	3	10/07/2023	31	0.77	4.0	
T2 - R2	3	10/07/2023	32.7	0.82	4.0	
T2 - R3	5	10/07/2023	31	0.78	4.0	
T2 - R4	1	10/07/2023	32	0.82	3.9	
T2 - R5	4	10/07/2023	30.8	0.76	4.1	
		$\bar{x}$	31.5	0.79	4.00	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T3 - R1	1	10/07/2023	36.2	0.94	3.9	
T3 - R2	2	10/07/2023	34.2	0.92	3.7	
T3 - R3	1	10/07/2023	36.4	0.90	4.0	
T3 - R4	1	10/07/2023	34	0.92	3.7	
T3 - R5	3	10/07/2023	35.3	0.90	3.9	
		$\bar{x}$	35.22	0.92	3.84	

Medidas realizadas el 25 de julio de 2023

	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T0 - R1	3	25/07/2023	30	0.7	4.3	
T0 - R2	4	25/07/2023	29.8	0.72	4.1	
T0 - R3	3	25/07/2023	29.1	0.72	4.0	
T0 - R4	1	25/07/2023	30.2	0.7	4.3	
T0 - R5	3	25/07/2023	31.2	0.7	4.5	
		$\bar{x}$	30.06	0.71	4.24	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T1 - R1	3	25/07/2023	32.2	0.82	3.9	
T1 - R2	4	25/07/2023	33.8	0.81	4.2	
T1 - R3	1	25/07/2023	32.7	0.89	3.7	
T1 - R4	4	25/07/2023	31.8	0.9	3.5	
T1 - R5	4	25/07/2023	32.2	0.88	3.7	
		$\bar{x}$	32.54	0.86	3.80	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T2 - R1	3	25/07/2023	34.5	0.89	3.9	
T2 - R2	3	25/07/2023	36.3	1.02	3.6	
T2 - R3	5	25/07/2023	36.4	1.04	3.5	
T2 - R4	1	25/07/2023	37.2	1.06	3.5	
T2 - R5	4	25/07/2023	35.8	1.03	3.5	
		$\bar{x}$	36.04	1.01	3.60	
	Número de plantón	Fecha de evaluación	Altura de planta (cm) A	Diámetro de tallo (cm) B	Índice de robustez (A/B)	Datos adicionales
T3 - R1	1	25/07/2023	41.6	1.08	3.9	
T3 - R2	2	25/07/2023	40.3	1.04	3.9	
T3 - R3	1	25/07/2023	40	1.05	3.8	
T3 - R4	1	25/07/2023	41.1	1.02	4.0	
T3 - R5	3	25/07/2023	42.4	1.03	4.1	
		$\bar{x}$	41.08	1.04	3.94	

ANEXO 2. Registros de mediciones de evaluación de Área Foliar Específica (AFE).**TRATAMIENTO (0)**

N°	Planta	Peso follaje	Peso del dibujo en el papel milimetrado	Peso 1 cm² de papel milimetrado	AFE
6	Repetición (1)	79.5	3.08	4	103.25
6	Repetición (2)	69.5	2.1	4	132.38
6	Repetición (3)	72.0	2.9	4	99.31
6	Repetición (4)	82.1	3.6	4	91.22
6	Repetición (5)	62.5	1.95	4	128.21

TRATAMIENTO (1)

N°	Planta	Peso follaje	Peso del dibujo en el papel milimetrado	Peso 1 cm² de papel milimetrado	AFE
6	Repetición (1)	69.8	2.08	4	134.23
6	Repetición (2)	72.1	2.5	4	115.36
6	Repetición (3)	66.1	1.95	4	135.59
6	Repetición (4)	75.0	2.62	4	114.50
6	Repetición (5)	73.0	2.41	4	121.16

TRATAMIENTO (2)

N°	Planta	Peso follaje	Peso del dibujo en el papel milimetrado	Peso 1 cm² de papel milimetrado	AFE
6	Repetición (1)	63.0	1.66	4	151.81
6	Repetición (2)	66.5	1.55	4	171.61
6	Repetición (3)	68.0	1.9	4	143.16
6	Repetición (4)	69.5	2.01	4	138.31
6	Repetición (5)	69.8	2.1	4	132.95

TRATAMIENTO (3)

N°	Planta	Peso follaje	Peso del dibujo en el papel milimetrado	Peso 1 cm² de papel milimetrado	AFE
6	Repetición (1)	62.5	1.98	4	126.26
6	Repetición (2)	66.4	1.99	4	133.47
6	Repetición (3)	59.0	1.01	4	233.66
6	Repetición (4)	63.6	1.8	4	141.33
6	Repetición (5)	53.5	1.25	4	171.20

ANEXO 3. Registros de mediciones de la variable Niveles de colonización de Mycorroot® (*Glomus clarun*). (hifa interna, hifa externa y vesículas).

Código	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	Raíz 6	Raíz 7	Raíz 8	Raíz 9	Raíz 10
T0 R1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T0 R2	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-
T0 R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T0 R4	-	-	-	-	Hi 2%	-	-	-	-	-
T0 R5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T1 R1	Hi 4%	Hi 8%	-	He 10%	-	He 8%	Hi 12%	-	Hi 5%	He 7%
T1 R2	Hi 2%	-	-	Hi 5%	He 4%	Hi 3%	-	He 8%	-	He 10%
T1 R3	He 10%	hi/he 20%	Hi 10%	-	Hi 18%	He/hi 15%	-	Hi/he 12%	-	He 8%
T1 R4	He 20%	-	-	Hi 18%	He 25%	He 15%	He/hi 30%	Hi/he 25%	Hi 10%	Hi 5%
T1 R5	He 5%	-	-	-	He 10%	-	He 15%	-	Hi 3%	He 5%
T2 R1	He/hi 35	Hi 38%	-	Hi 37%	Hi/v/he 39%	He 20%	Hi 27%	-	He 27%	Hi 17%
T2 R2	Hi 25%	He 30%	-	-	He 26%	Hi 39%	-	Hi/v/he 30%	-	He/v 27%
T2 R3	He 40%	hi/he/v 38%	Hi/He 37%	Hi/v 33%	-	-	He/hi 35%	Hi/he 38%	-	He 36%
T2 R4	He 13%	Hi 15%	He 18%	Hi/He 30%	He 32%	He/v 19%	He/hi/e 25%	Hi/he 24%	Hi/v 40%	Hi 23%
T2 R5	He 20%	Hi 15%	hi 20%	-	He 25%	-	He 30%	Hi 20%	Hi 25%	He/v 25%
T3 R1	He 18%	Hi 23%	Hi7he/v 33%	Hi 29%	Hi 26%	He 29%	Hi/v/he 31%	He/hi 30%	He 21%	Hi 10%
T3 R2	Hi/v/he 55%	Hi/He 47%	-	Hi/he/v 53%	Hi/He/v 60%	Hi 40%	-	Hi/v/he 49%	-	He/v 55
T3 R3	Hi/he 35%	hi/he/v 33%	Hi/He/v 36%	He/v 48%	-	He/hi 56%	Hi 7%	Hi/he/v 56%	Hi/He 49%	He 38%
T3 R4	He/v 30%	Hi 27%	-	Hi/v 19%	Hi/he 27%	-	Hi 33%	Hi 36%	He/hi/e 40%	Hi/he 32%
T3 R5	Hi/v 45%	-	hi/he/v 50%	-	He/v 30%	Hi/He 35%	-	Hi/He 40%	Hi/v/he 45%	Hi/He 30%

ANEXO 4. Resultados del estado nutricional del cacao

Matriz Analizada			Tejido Foliar			Tejido Foliar			Tejido Foliar			Tejido Foliar		
Fecha de Muestreo (*)			12/09/2023			12/09/2023			12/09/2023			12/09/2023		
			TRATAMIIENTO 0			TRATAMIIENTO 1			TRATAMIIENTO 2			TRATAMIIENTO 3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			Resultados			Resultados			Resultados		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Nitrógeno total (**)	%	--	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	2,29	2,21	0,02	2,12	2,35
Fósforo total (**)	%	--	0,09	0,10	0,08	0,07	0,09	0,11	0,08	0,13	0,15	0,06	0,17	0,16
Calcio (**)	%	--	0,05	0,07	0,08	0,12	0,30	0,22	0,12	0,90	1,78	0,09	1,43	1,39
Magnesio (**)	%	--	0,02	0,02	0,02	0,03	0,30	0,33	0,03	0,47	0,55	0,03	0,39	0,49
Potasio (**)	%	--	0,05	0,04	0,06	0,04	0,90	0,45	0,03	1,30	1,90	0,05	1,78	1,50
Fierro (**)	ppm	--	5,50	6,51	6,01	36,90	38,9	40,9	58,90	78,14	60,4	39,60	90,4	103
Cobre (**)	ppm	--	8,80	5,50	4,90	9,70	6,30	10,60	6,30	7,30	8,30	5,60	9,30	10,60
Zinc (**)	ppm	--	9,90	10,30	9,70	16,80	50,03	67,4	28,80	61,8	70,3	27,50	64,58	81,45
Manganeso (**)	ppm	--	66,20	66,90	67,01	63,50	64,60	67,5	63,70	81,50	74,01	68,40	93,8	100,6

ANEXO 5. Análisis físico – químico del sustrato



Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO N° 00003-24/SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : LUIS ABEL ISMINIO PARDAVE
 Propietario / Productor : LUIS ABEL ISMINIO PARDAVE
 Dirección del cliente : Av. SEPARADOR INDUSTRIAL MzB Lt10
 Solicitado por : LUIS ABEL ISMINIO PARDAVE
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 1
 Producto declarado : Sustrato suelo agrícola + compost
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente
 Procedencia de muestra(s) : UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA (UNIA)
 Fecha(s) de muestreo : 2023-04-11 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-04-12
 Lugar de ensayo : LABSAF Pucallpa
 Fecha(s) de análisis : del 15/04/2023 al 22/04/2023
 Cotización del servicio : 001-23-PC
 Fecha de emisión : 2023-04-26

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU001-PC-23					
Matriz Analizada	Suelo Agrícola + compost					
Fecha de Muestreo	11/04/23					
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)	10:00					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)	M1					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	—	0,1	4.88			
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	0.11			
Materia orgánica (**)	%	—	1.94			
Nitrogeno (**)	%	—	0.12			
Fósforo (**)	ppm	—	5.1			
Potasio (**)	ppm	—	132			
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	—	10.81			
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	—	1.85			
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	—	2.80			
ClCe (**)	Cmol(+)/kg	—	18.00			
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	—	12.81			
Saturación Al (**)	%	—	80			
Textura (**)						
Arena	%	—	55			
Limo	%	—	26			
Arcilla	%	—	19			
Clase Textural	---	---	Franco Arenoso			

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.
- (**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
- (***) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Edinson Eduardo López Galán - Responsable del laboratorio del LABSAF Pucallpa.

Firma
 Ing. Edinson Eduardo López Galán
 Responsable de Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare
 Estación Experimental Agraria Pucallpa-Ucayali

FIN DE INFORME DE ENSAYO

ANEXO 6. Prueba de homocedasticidad (Prueba de Levene)

La Prueba de Levene se utiliza para evaluar la homogeneidad de las varianzas entre los grupos en un análisis de varianza (ANOVA). La regla de decisión se basa en el valor p obtenido de la prueba.

- Si el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que las varianzas son homogéneas y se puede proceder con la ANOVA sin problemas.
- Si el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que las varianzas son significativamente diferentes entre los grupos y que el supuesto de homogeneidad de varianzas para la ANOVA podría no cumplirse.

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura 1 (cm)	,021	3	16	,996
Altura 2 (cm)	,134	3	16	,938
Altura 3 (cm)	10,169	3	16	,001
Altura 4 (cm)	1,170	3	16	,352
Altura 5 (cm)	,235	3	16	,870
Diámetro 1 (mm)	,183	3	16	,906
Diámetro 2 (mm)	8,143	3	16	,002
Diámetro 3 (mm)	3,196	3	16	,052
Diámetro 4 (mm)	9,646	3	16	,001
Diámetro 5 (mm)	2,846	3	16	,071
Índice de robustez 1	,809	3	16	,507
Índice de robustez 2	1,616	3	16	,225
Índice de robustez 3	3,226	3	16	,051
Índice de robustez 4	8,862	3	16	,001
Índice de robustez 5	1,027	3	16	,407
Área Foliar Específica	3,510	3	16	,040

El cuadro anterior proporciona los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas, específicamente utilizando el estadístico de Levene, para varias variables (altura, diámetro, índice de robustez y área foliar específica) en diferentes grupos (numerados del 1 al 5).

Interpretación estadística:

Altura (cm)

Los resultados de la prueba de Levene para la altura muestran que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas en ninguno de los grupos ($p > 0,05$ para todos los grupos). Esto indica que las varianzas de las alturas en los diferentes grupos son aproximadamente iguales.

Diámetro (mm)

Para el diámetro, los resultados son mixtos. Algunos grupos muestran diferencias significativas en las varianzas ($p < 0,05$), mientras que otros no ($p > 0,05$). Esto sugiere que en algunos casos las varianzas de los diámetros difieren entre grupos, mientras que en otros casos son aproximadamente iguales.

Índice de Robustez

Similar al diámetro, los resultados para el índice de robustez también muestran una combinación de grupos con diferencias significativas en las varianzas y grupos donde las varianzas son aproximadamente iguales.

Área Foliar Específica:

En el caso del área foliar específica, hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas ($p < 0,05$). Esto indica que las varianzas del área foliar específica difieren significativamente entre los grupos.

- Prueba de homocedasticidad para colonización Mycoroot

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Colonización Mycoroot	Se basa en la media	5,753	3	36	,003
	Se basa en la mediana	5,266	3	36	,004
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	5,266	3	15,527	,011
	Se basa en la media recortada	5,679	3	36	,003

Teniendo en cuenta el nivel de significancia basado en la media es 0.003 es menor que 0.05, las varianzas no son homogéneas.

- Prueba de medias para macronutrientes y micronutrientes

		Informe								
TRATAMIENTO		NT	PT	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Testigo	Media	,023	,090	,067	,020	,050	6,007	6,400	9,967	66,703
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv.	,0058	,0100	,0153	,0000	,0100	,5050	2,1000	,3055	,4394
	Desviación									
	Varianza	,000	,000	,000	,000	,000	,255	4,410	,093	,193
T1:2g	Media	,037	,090	,213	,220	,463	38,900	8,867	44,743	65,200
Mycoroot® por litro de agua	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv.	,0153	,0200	,0902	,1652	,4302	2,0000	2,2679	25,7109	2,0664
	Desviación									
	Varianza	,000	,000	,008	,027	,185	4,000	5,143	661,052	4,270
T2:4g de	Media	1,533	,120	,933	,350	1,077	65,813	7,300	53,633	73,070
Mycoroot® por litro de agua	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv.	1,3106	,0361	,8305	,2800	,9548	10,7015	1,0000	21,9222	8,9372
	Desviación									
	Varianza	1,718	,001	,690	,078	,912	114,523	1,000	480,583	79,873
T3:6g de	Media	1,497	,130	,970	,303	1,110	77,667	8,500	57,843	87,600
Mycoroot® por litro de agua	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv.	1,2840	,0608	,7624	,2419	,9286	33,5633	2,5942	27,5987	16,9717
	Desviación									
	Varianza	1,649	,004	,581	,059	,862	1126,493	6,730	761,688	288,040
Total	Media	,773	,108	,546	,223	,675	47,097	7,767	41,547	73,143
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Desv.	1,1017	,0367	,6445	,2174	,7554	32,4902	2,0464	27,0763	12,3784
	Desviación									
	Varianza	1,214	,001	,415	,047	,571	1055,616	4,188	733,126	153,224

Se realizó una prueba de medias, porque los datos para ANOVA son insuficientes, es la razón que para estos factores se usará la Prueba H de Kruskal – Wallis.

ANEXO 7. Análisis de varianza ANOVA, Kruskal - Wallis y Prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$)

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura 1 (cm)	Inter-grupos	1,430	3	,477	,674	,581
	Intra-grupos	11,316	16	,707		
	Total	12,746	19			
Altura 2 (cm)	Inter-grupos	6,886	3	2,295	3,573	,038
	Intra-grupos	10,280	16	,642		
	Total	17,166	19			
Altura 3 (cm)	Inter-grupos	175,728	3	58,576	55,773	,000
	Intra-grupos	16,804	16	1,050		
	Total	192,532	19			
Altura 4 (cm)	Inter-grupos	278,308	3	92,769	109,924	,000
	Intra-grupos	13,503	16	,844		
	Total	291,811	19			
Altura 5 (cm)	Inter-grupos	342,418	3	114,139	146,520	,000
	Intra-grupos	12,464	16	,779		
	Total	354,882	19			
Diámetro 1 (mm)	Inter-grupos	,001	3	,000	,547	,658
	Intra-grupos	,006	16	,000		
	Total	,007	19			
Diámetro 2 (mm)	Inter-grupos	,104	3	,035	35,597	,000
	Intra-grupos	,016	16	,001		
	Total	,120	19			
Diámetro 3 (mm)	Inter-grupos	,123	3	,041	50,708	,000
	Intra-grupos	,013	16	,001		
	Total	,136	19			
Diámetro 4 (mm)	Inter-grupos	,155	3	,052	62,727	,000
	Intra-grupos	,013	16	,001		
	Total	,168	19			
Diámetro 5 (mm)	Inter-grupos	,354	3	,118	67,684	,000
	Intra-grupos	,028	16	,002		
	Total	,382	19			
Índice de robustez 1	Inter-grupos	4,950	3	1,650	1,593	,230
	Intra-grupos	16,568	16	1,036		
	Total	21,518	19			
Índice de robustez 2	Inter-grupos	65,162	3	21,721	78,840	,000
	Intra-grupos	4,408	16	,276		
	Total	69,570	19			
Índice de robustez 3	Inter-grupos	1,042	3	,347	2,241	,123
	Intra-grupos	2,480	16	,155		
	Total	3,522	19			
Índice de robustez 4	Inter-grupos	,978	3	,326	10,432	,000
	Intra-grupos	,500	16	,031		

	Total	1,478	19			
Índice de robustez 5	Inter-grupos	1,086	3	,362	9,585	,001
	Intra-grupos	,604	16	,038		
	Total	1,690	19			
Área Foliar Específica	Inter-grupos	7696,770	3	2565,590	3,946	,028
	Intra-grupos	10402,844	16	650,178		
	Total	18099,614	19			

- **Altura.**

Altura 1 (cm)

Subconjunto para alfa = 0.05			
Tratamiento	N	1	
HSD de Tukey ^a 0 g/L micorrot	5	14,2200	
4 g/L micorrot	5	14,5200	
6 g/L micorrot	5	14,8400	
2 g/L micorrot	5	14,8800	
Sig.		,611	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Altura 2 (cm)

Subconjunto para alfa = 0.05				
Tratamiento	N	1	2	
HSD de Tukey ^a 0 g/L micorrot	5	18,5400		
2 g/L micorrot	5	18,6400		
4 g/L micorrot	5	19,4200		
6 g/L micorrot	5	19,9700		
Sig.		,054		

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Altura 3 (cm)

Subconjunto para alfa = 0.05					
Tratamiento	N	1	2	3	
HSD de Tukey ^a 0 g/L micorrot	5	21,2200			
2 g/L micorrot	5	21,8200			
4 g/L micorrot	5		26,1800		
6 g/L micorrot	5			28,3000	
Sig.		,792	1,000	1,000	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Altura 4 (cm)

		Subconjunto para alfa = 0.05			
	Tratamiento	N	1	2	3
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	25,8660		
	2 g/L micorrot	5	26,9800		
	4 g/L micorrot	5		31,5000	
	6 g/L micorrot	5			35,2200
	Sig.		,260	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Altura 5 (cm)

		Subconjunto para alfa = 0.05				
	Tratamiento	N	1	2	3	4
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	30,0600			
	2 g/L micorrot	5		32,5400		
	4 g/L micorrot	5			36,0400	
	6 g/L micorrot	5				41,0800
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

- Diámetro.**Diámetro 1 (mm)**

		Subconjunto para alfa = 0.05	
	Tratamiento	N	1
HSD de Tukey ^a	4 g/L micorrot	5	,1480
	2 g/L micorrot	5	,1540
	6 g/L micorrot	5	,1540
	0 g/L micorrot	5	,1640
	Sig.		,599

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos

homogéneos.

Diámetro 2 (mm)

		Subconjunto para alfa = 0.05	
	Tratamiento	N	
			1
			2
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	,1940
	2 g/L micorrot	5	,3520
	4 g/L micorrot	5	,3520
	6 g/L micorrot	5	,3740
	Sig.		1,000
			,686

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Diámetro 3 (mm)						
Subconjunto para alfa = 0.05						
	Tratamiento	N	1	2	3	4
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	,4380			
	2 g/L micorrot	5		,5240		
	4 g/L micorrot	5			,5820	
	6 g/L micorrot	5				,6520
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Diámetro 4 (mm)					
Subconjunto para alfa = 0.05					
	Tratamiento	N	1	2	3
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	,6670		
	4 g/L micorrot	5		,7900	
	2 g/L micorrot	5		,7920	
	6 g/L micorrot	5			,9160
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Diámetro 5 (mm)					
Subconjunto para alfa = 0.05					
	Tratamiento	N	1	2	3
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	,7080		
	2 g/L micorrot	5		,8600	
	4 g/L micorrot	5			1,0080
	6 g/L micorrot	5			1,0440
	Sig.		1,000	1,000	,538

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

- Índice de robustez.

Índice de robustez 1			
Subconjunto para alfa = 0.05			
	Tratamiento	N	1
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	8,7400
	2 g/L micorrot	5	9,7400
	4 g/L micorrot	5	9,9400
	6 g/L micorrot	5	9,9400
	Sig.		,281

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Índice de robustez 2

		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamiento	N	1	2
HSD de Tukey ^a			
6 g/L micorrot	5	5,3600	
2 g/L micorrot	5	5,3800	
4 g/L micorrot	5	5,5000	
0 g/L micorrot	5		9,5800
Sig.		,974	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Índice de robustez 3

		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamiento	N	1	2
HSD de Tukey ^a			
2 g/L micorrot	5	4,2000	
4 g/L micorrot	5	4,5000	
6 g/L micorrot	5	4,5800	
0 g/L micorrot	5	4,8400	
Sig.		,086	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Índice de robustez 4

		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamiento	N	1	2
HSD de Tukey ^a			
2 g/L micorrot	5	3,4200	
6 g/L micorrot	5		3,8400
0 g/L micorrot	5		3,9000
4 g/L micorrot	5		4,0000
Sig.		1,000	,499

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Índice de robustez 5

		Subconjunto para alfa = 0.05			
	Tratamiento	N	1	2	3
HSD de Tukey ^a	4 g/L micorrot	5	3,6000		
	2 g/L micorrot	5	3,8000		
	6 g/L micorrot	5		3,9400	
	0 g/L micorrot	5		4,2400	
	Sig.		,060	,109	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

- Área Foliar Específica (AFE).

Área Foliar Específica

Subconjunto para alfa = 0.05					
	Tratamiento	N	1	2	3
HSD de Tukey ^a	0 g/L micorrot	5	110,8740		
	2 g/L micorrot	5	124,1680	124,1680	
	4 g/L micorrot	5	147,5680	147,5680	
	6 g/L micorrot	5		161,1840	
	Sig.		,146	,141	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

ANEXO 8. Prueba H Kruskal - Wallis y Prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$) para estado nutricional de macro y micronutrientes

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de NT es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,434	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de PT es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,686	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de Ca es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,080	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de Mg es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,069	Retener la hipótesis nula.
5	La distribución de K es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,515	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de Fe es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,033	Rechazar la hipótesis nula.
7	La distribución de Cu es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,324	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de Zn es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,086	Retener la hipótesis nula.
9	La distribución de Mn es la misma entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,121	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Solo en hierro se han conseguido diferencias significativas entre los tratamientos.

Fe

HSD Tukey^{a,b}

TRATAMIENTO	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	3	6,0067	
T1:2g Mycoroot® por litro de agua	3	38,9000	38,9000
T2:4g de Mycoroot® por litro de agua	3		65,8133
T3:6g de Mycoroot® por litro de agua	3		77,6667
Sig.		<u>,181</u>	<u>,103</u>

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 311,318.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0.05.

ANEXO 9. Fotografías del proceso de investigación

01/04/2023

Compra de compost



Figura 12. Preparación de compost como sustrato



Figura 13. Control del compost

04/04/2023 hasta 06/04/2023

Recolección de tierra de restinga de la UNIA



Figura 14. Seleccionar tierra adecuada y traslado de tierra

el almacenamiento fue en el vivero de la UNIA



Figura 15. Acondicionamiento de tierra



Figura 16. Almacenamiento de tierra

08/04/2023 hasta el 10/04/2023

Cernida de la tierra y el compost



Figura 17. Cernido de tierra y compost



Figura 18. Preparación de sustrato



Figura 19. Tamizado de componentes



Figura 20. Dosificación de tierra y compost



Figura 21. Monitoreo de textura



Figura 22. Mezcla de componentes

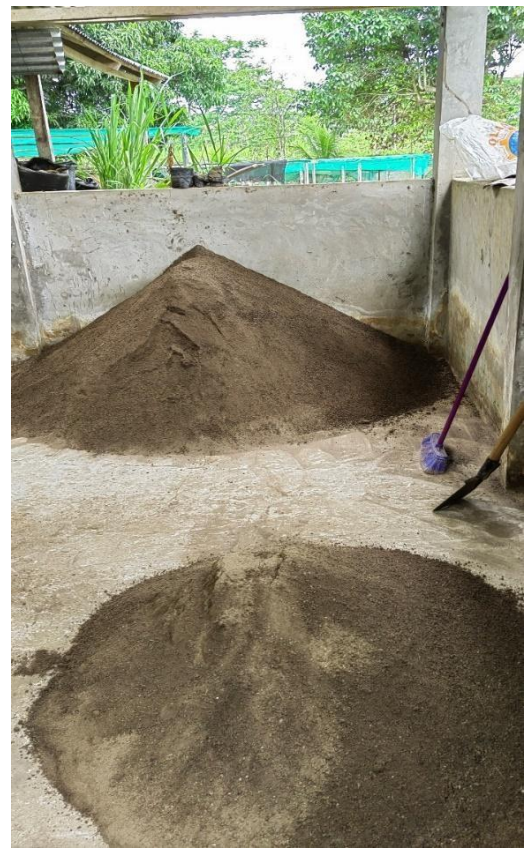


Figura 23. Homogenizado de sustrato

Sustrato listo para la esterilización



Figura 24. Almacenamiento de sustrato

12/04/2023 hasta el 15/04/2023

Esterilización del sustrato



Figura 25. Esterilización casera de sustrato



Figura 26. Manejo de elementos para esterilizar



Figura 27. Adición de sustrato



Figura 28. Tratamiento de sustrato



Figura 29. Manejo de tiempo y T°



Figura 30. Incremento de temperatura



Figura 31. Incremento de temperatura para esterilizar sustrato



Figura 32. Repetición de operación



Figura 33. Sacado de saco

Dejamos el sustrato por un día en los sacos debido a que se mantenía muy caliente.



Figura 34. Enfriado de sacos

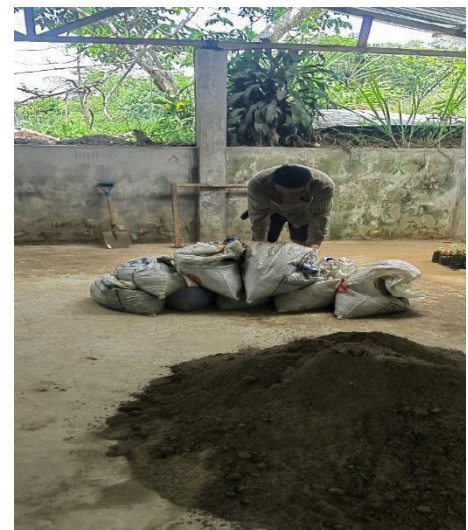


Figura 35. Enfriamiento por un día



Figura 36. Almacenamiento de sacos esterilizados

17/04/2023 hasta el 19/04/2023. Luego de esterilizar, a recomendación de la ingeniera Krystel Rojas, todo el sustrato esterilizamos en la autoclave del laboratorio de microbiología a 250c°



Figura 37. Segunda fase de esterilización en autoclave



Figura 38. Acondicionamiento



Figura 39. Ubicación antes de esterilizar



Figura 40. Autoclave



Figura 41. Esterilización



Figura 42. Sustrato esterilizado

20/04/2023. Llenado en las bolsas de polietileno



Figura 43. Ubicación de tratamientos



Figura 44. Llenado de bolsas

22/04/2023. Evaluación del producto MYCORROT, en el laboratorio del IIAP, con el apoyo del ing. Noe que es especialista en MICORRIZAS. con la finalidad de observar si las esporas están activas o aptas para la inoculación.



Figura 45. Control de calidad

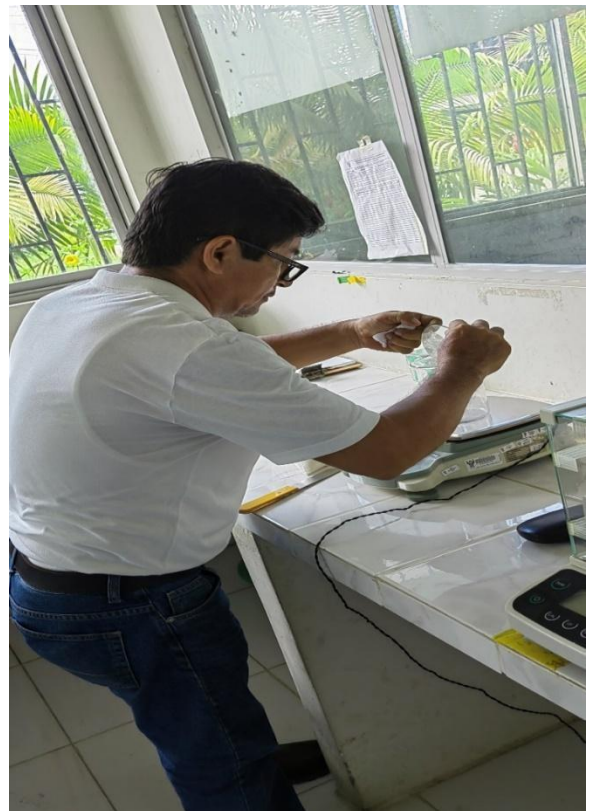


Figura 46. Evaluación de Mycorroot

22/04/2023. Después de observar la metodología del ing. Noe, mi persona procedió a realizar la metodología para la evaluación de esporas.



Figura 47. Evaluación de esporas



Figura 48. Procedimiento para esporas



Figura 49. Acondicionamiento para evaluación



Figura 50. Incubado



Figura 51. Observación de esporas



Figura 52. Recuento

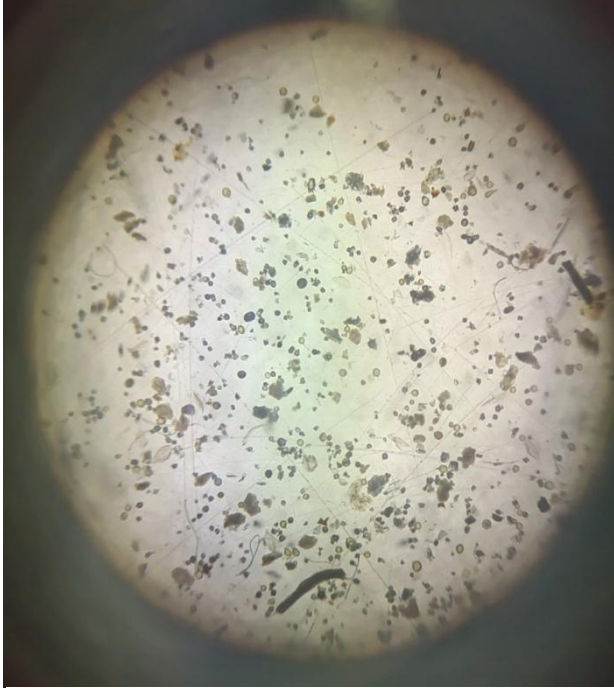


Figura 53. Cepas visibles

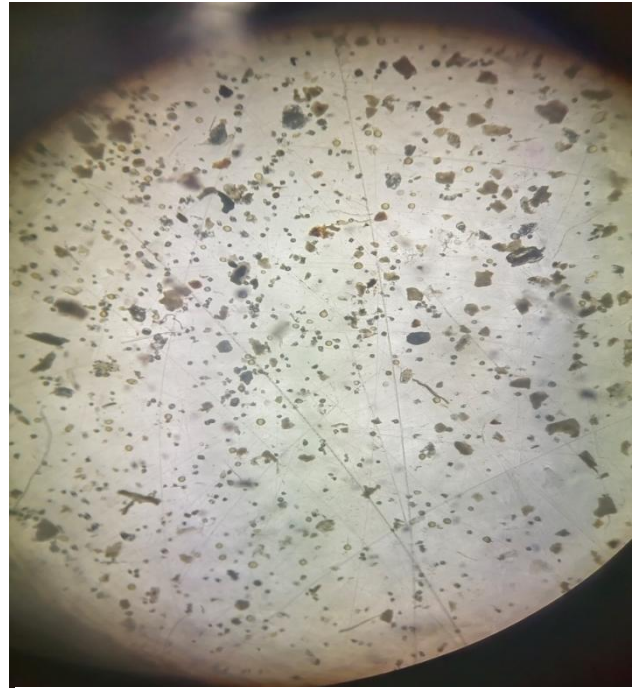


Figura 54. Vista de condición de Mycoroot

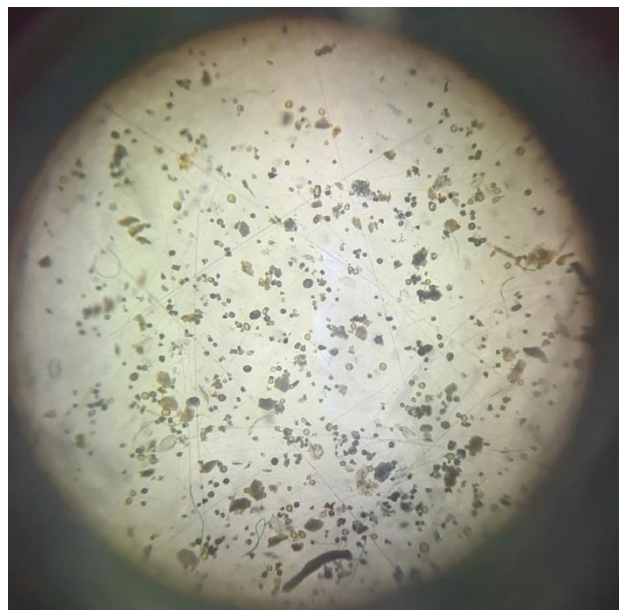


Figura 55. Condición óptima

30/04/2023 hasta el 01/05/2023. Inoculación del MYCORROT en las semillas de *Theobroma cacao* L. (1753).



Figura 56. Medición de operación



Figura 57. Acondicionado de bolsas



Figura 58. Semillas de cacao

EL 26/05/2023 Se Realizó la primera evaluación ya que todas las plantas de los diferentes tratamientos contaban con sus hojas verdaderas, y así cada 15 días se realizaba las evaluaciones de altura y diámetro de la planta con una regla y vernier



Figura 60. Medición de altura



Figura 59. Vernier para medir h



Figura 61. Unidades sometidas a medición



Figura 62. Elección de plantas a examinar

Seleccionar las plantas a evaluar, se dejó 15 días sin regar para que las plantas y HFMA se estresen con la finalidad de que los hongos se activen, por esa razón las hojas están marchitadas



Figura 63. Se dejaron 15 días sin riego



Figura 64. Inspección visual

Extracción de muestra para evaluación



Figura 65. Muestras tratamiento T1



Figura 66. Muestras tratamiento T2



Figura 67. Muestras tratamiento T3



Figura 68. Muestras tratamiento T4



Figura 69. Diferencias relativas en tamaño

Selección y limpieza de raíces con abundante agua para evaluación



Figura 70. Selección de raíces



Figura 71. Unidad para inspección

Secado y conservación de raíz con alcohol al 50%



Figura 72. Preparación de reactivos



Figura 73. Acondicionamientos



Figura 74. Conservación de raíz en alcohol 50%

Preparación del KOH al 10%.

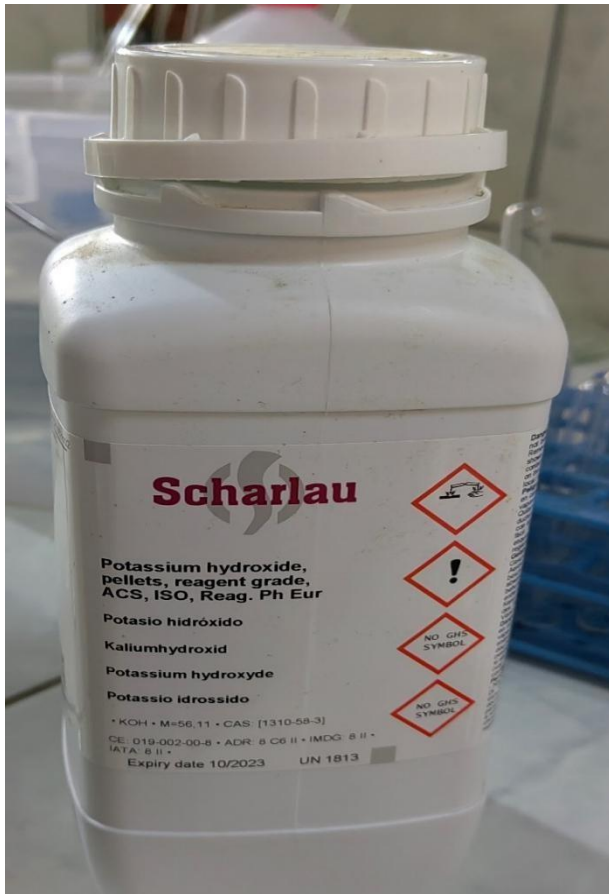


Figura 76. Pesado de reactivos



Figura 75. Hidróxido de sodio



Figura 77. Preparacion de reactivos



Figura 78. Medición precisa

Agregado de 10 ml de Hidróxido de potasio al 10% y llevado al baño maría.

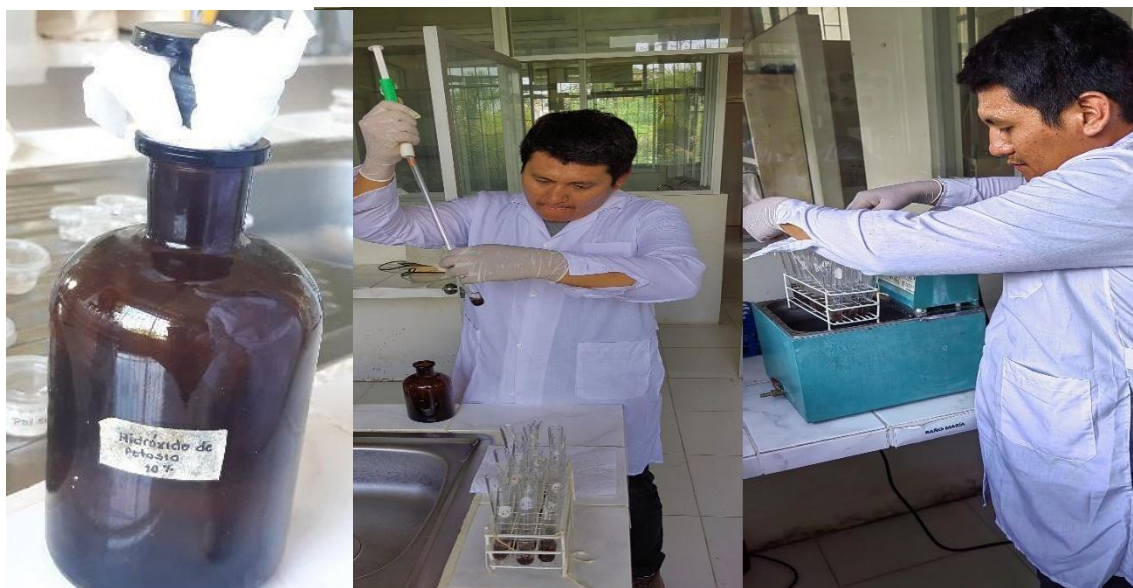


Figura 79. Pasos para agregar 10 mL de KHO al 10%

Aclareo extra con agua oxigenada



Figura 80. Preparado de batería

Tinción de raíces.



Figura 81. Kit para tinción de raíces



Figura 82. Pasos para la tinción de raíces

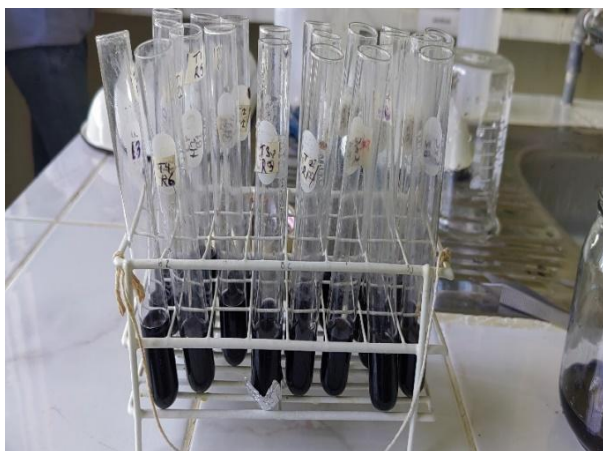


Figura 83. Batería armada



Figura 84. Introducción de batería a baño maría

Montaje y evaluación de las raíces



Figura 85. Pasos para la evaluación de raíces

Observación de muestras en el microscopio, hifas internas, hifas externas y esporas.

