

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de
***Theobroma cacao L.*, en Pasco-Perú**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

Bach. Segundo Walter Carmen Umbo

TUMBES, PERÚ
2025


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de
Theobroma cacao L., en Pasco-Perú**

Responsables:

Bach. Segundo Walter Carmen Umbo:


Ejecutor

Dr. Ramón García seminarario:


Asesor

**TUMBES, PERÚ
2025**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plántulas de *Theobroma cacao L.*, en Pasco-Perú

JURADO CALIFICADOR

Dr. Faustino Sanjinéz Salazar:

Presidente

Mg. Víctor Saavedra Chávez:

Secretario

Dr. Ramón García Seminario:

Vocal

Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya:

Accesitario

TUMBES, PERÚ

2025

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Segundo Walter Carmen Umbo, declaro que el contenido de este trabajo de investigación, titulado “Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de *Theobroma cacao* L., en Pasco-Perú no ha sido copiado de otras investigaciones; por lo tanto, asumo la responsabilidad sobre todo en el contenido académico que se encuentra en este escrito. Así mismo, declaro que todas las fuentes utilizadas para la realización de esta tesis han sido debidamente referenciadas y citadas para evitar la comisión de un plagio. Además, reconozco que mi asesor me ha apoyado en la concepción, análisis y redacción de este trabajo de investigación para su aprobación.

Bach. Segundo Walter Carmen Umbo

DEDICATORIA

A mis padres, José Eladio Núñez umbo, Zoveida Umbo Córdova por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin su guía, este logro no habría sido posible.

A mis queridos hermanos, Luis Edar, Roxana, Miguel Ángel, Elsa Esther quienes han sido mi apoyo incondicional en cada paso de este camino. Gracias por su amor, motivación y por recordarme siempre la importancia de los sueños. Esta tesis es un reflejo de todo lo que hemos compartido y aprendido juntos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecimiento a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada paso en los montos de dificultad de este proceso es la luz y guía en este reto ha permitido alcanzar este importante logro en mi vida.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Dr. Ramón García Seminario, por su invaluable apoyo y orientación a lo largo de este proceso. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de mi investigación y me han guiado en cada etapa con paciencia y dedicación.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Tumbes por brindarme la oportunidad de formar parte de esta comunidad académica. A lo largo de mi trayectoria aquí, he recibido un invaluable apoyo tanto en mi desarrollo personal como profesional

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la comunidad nativa Zungaroyali por su invaluable apoyo, disposición, colaboración, generosidad y compromiso en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación han sido fundamentales para llevar a cabo este proyecto, permitiéndonos conocer y comprender mejor su cultura, conocimientos y realidades

Agradecimiento a la institución pública DEVIDA por su invaluable apoyo en el proyecto su colaboración y compromiso han sido fundamentales para el éxito del desarrollo en bienestar de la comunidad nativa.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA**



ANEXO VIII

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los dieciséis días del mes de mayo de dos mil veinticinco, siendo las diez horas, (10.00 a.m.), de forma presencial, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 068-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Faustino Sanjinez Salazar** (Presidente), **Mg. Víctor M. Saavedra Chávez** (Secretario), **Dr. Ramón García Seminario** (Vocal) reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Ramón García Seminario**, como **Asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plántones de Theobroma cacao L., en Pasco-Perú.**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el **Bach. Carmen Umbo, Segundo Walter**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. CARMEN UMBO, SEGUNDO WALTER** *Aprobada*, por *Unanimidad* con el calificativo *Distinto*

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda *apta* para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrónomo, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las *once* horas y *treinta* minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 16 de mayo 2025

Dr. Faustino Sanjinez Salazar DNI N° 00361079 CODIGO ORCID: 0000-0001-7032-8122 Presidente	Mg. Víctor M. Saavedra Chávez DNI N° 02684070 CODIGO ORCID: 0000-0002-3006-4211 Secretario
Dr. Ramón García Seminario DNI N° 03883231 CODIGO ORCID: 0000-0003-0756-0935 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S.acad.

“Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de *Theobroma cacao* L., en Pasco-Perú”

por Segundo Walter Carmen Umbo



Dr. Ramon Garcia Seminario
Asesor

Código ORCID: 000-0003-0756-0935

Fecha de entrega: 28-ene-2025 09:57a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2573647076

Nombre del archivo: PROYECTO_DE_WALTER.docx (452.84K)

Total de palabras: 9124

Total de caracteres: 52133

“Efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de Theobroma cacao L., en Pasco-Perú”

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	pdf.usaid.gov Fuente de Internet	1%
8	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	1%
10	revistas.iiap.gob.pe Fuente de Internet	1%
11	Submitted to Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle Trabajo del estudiante	<1%
12	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
14	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
15	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
16	ebin.pub Fuente de Internet	<1%
17	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1%
18	Submitted to Universidad de la Amazonia Trabajo del estudiante	<1%



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
INDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	19
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Cacao. Generalidades	22
2.2. Biofertilizante. Generalidades	23
2.3. Nutrientes	24
2.4. Microorganismos eficaces	27
2.5. Antecedentes de la investigación.....	27
CAPÍTULO III.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS	32

3.1. Lugar de ejecución	32
3.1.1. Ubicación geopolítica.....	32
3.1.2. Ubicación geodésica.....	32
3.2. Materiales y equipos.....	33
3.2.1. Materiales.....	33
3.2.2. Equipos e instrumentos	33
3.2.3. Insumos.....	33
3.2.4. Material vegetal	34
3.3. Métodos.....	34
3.3.1. Diseño experimental	34
3.3.2. Factores niveles y tratamientos	35
3.3.3. Variables y métodos de evaluación	35
3.3.4. Análisis estadístico	36
3.3.5. Conducción del experimento	37
CAPÍTULO IV.....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Características fisicoquímicas del biofertilizante	45
4.2. Concentración del biofertilizante para el adecuado crecimiento de plantones de cacao.	47
4.2.1. Altura del plantón.....	47
4.2.2. Área foliar	50
4.2.3. Longitud de la raíz	53

4.2.4. Diámetro de los plantones	56
4.2.4. Número de hojas	59
4.3. Período de crecimiento de los plantones de cacao aptos para el trasplante, según la concentración del biofertilizante	63
CAPITULO V	64
CONCLUSIONES.....	64
CAPÍTULO VI.....	65
RECOMENDACIONES.....	65
CAPÍTULO VII.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
CAPÍTULO VII.....	74
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagrama del diseño de bloques completamente al azar	35
Tabla 2. Factor, tratamiento y clave.....	35
Tabla 3. Características fisicoquímicas del biofertilizante	45
Tabla 4. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en la altura de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	48
Tabla 5. Test Tukey ($\alpha=0.05$), para el factor día de evaluación en la altura de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	49
Tabla 6. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el área foliar de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	51
Tabla 7. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el área foliar de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	52
Tabla 8. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	54
Tabla 9. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	55
Tabla 10. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el diámetro de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	56
Tabla 11. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el diámetro de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	57
Tabla 12. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el número de hojas de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	59
Tabla 13. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el número de hojas de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización satelital de la zona experimental.....	32
Figura 2. Efecto de la concentración de biofertilizante en la altura del plantón de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	48
Figura 3. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en la altura de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	50
Figura 4. Efecto de la concentración de biofertilizante en el área foliar de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	51
Figura 5. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el área foliar de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	53
Figura 6. Efecto de la concentración de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	54
Figura 7. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	55
Figura 8. Efecto de la concentración de biofertilizante en el diámetro de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	57
Figura 9. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el diámetro de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	58
Figura 10. Efecto de la concentración de biofertilizante en el número de hojas de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	60
Figura 11. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el número de hojas de los plántones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	61

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados promedio de altura del plantón (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación.....	74
Anexo 2. Resultados promedio de área foliar (cm ²) por tratamiento, bloque y día de evaluación	75
Anexo 3. Resultados promedio de longitud de la raíz (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación.....	76
Anexo 4. Resultados promedio de diámetro de los plantones (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación	77
Anexo 5. Resultados promedio de número de hojas por tratamiento, bloque y día de evaluación	78

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general determinar el efecto de la biofertilización en el crecimiento de plántones de *Theobroma cacao L.*, en Pasco-Perú. La investigación, de enfoque cuantitativo y diseño experimental, empleó cuatro tratamientos: un testigo referencial o control (T0), 0.35 ml/l de biofertilizante (T1), 0.50 ml/l de biofertilizante (T2) y 0.75 ml/l de biofertilizante (T3). Cada tratamiento se aplicó a una muestra de 20 plántones de cacao en la comunidad nativa de Zungaroyali. Como sustrato de los viveros fue empleado un aproximado de 5 a 10 cm de capa superficial del suelo, que constituye el método empleado en la comunidad nativa, y los tratamientos fueron aplicados cada quince días y evaluados en la misma frecuencia. Los resultados indicaron que el biofertilizante presentó una composición rica en nutrientes esenciales y materia orgánica, importantes para el crecimiento y desarrollo de los plántones de cacao en vivero. Asimismo, el tratamiento 2 (25 mL biofertilizante/L agua) fue el más efectivo en el crecimiento de los plántones, registrando los valores más altos en altura del plánton (21,05 cm), área foliar (1,89 cm²), longitud de la raíz (20,10 cm), diámetro del tallo (1,14 cm) y número de hojas (5); sin embargo, no presentó diferencias significativas con el tratamiento 3 (37,5 mL/L). A pesar que en el día 60 después de la aplicación del biofertilizante los plántones alcanzaron los mayores valores de crecimiento, éstos ya se encontraron aptos para trasplante desde el día 45, ya que presentaron una altura entre 25 y 30 cm y 4 a 6 hojas verdaderas, según lo recomendado. En conclusión, el biofertilizante se presentó como una alternativa sostenible tanto para enriquecer el sustrato empleado como para favorecer el desarrollo y crecimiento de plántones de cacao en la comunidad nativa de Zungaroyali.

Palabras clave: Biofertilización, crecimiento, plántones, cacao, sostenibilidad.

ABSTRACT

The general objective of this study was to determine the effect of biofertilization on the growth of *Theobroma cacao* L. seedlings in Pasco-Peru. The research, with a quantitative approach and experimental design, used four treatments: a control (T0), 0.35 ml/l of biofertilizer (T1), 0.50 ml/l of biofertilizer (T2) and 0.75 ml/l of biofertilizer (T3). Each treatment was applied to a sample of 20 cocoa seedlings in the community of Zungaroyali, Pasco. An approximate 5 to 10 cm of topsoil, which is the method used in the community, was used as substrate for the nurseries, and the treatments were applied every fifteen days and evaluated at the same frequency. The results indicated that the biofertilizer had a composition rich in essential nutrients and organic matter, important for the growth and development of cocoa seedlings in the nursery. Also, treatment 2 (25 mL biofertilizer/L water) was the most effective in seedling growth, registering the highest values in seedling height (21.05 cm), leaf area (1.89 cm²), root length (20.10 cm), stem diameter (1.14 cm) and number of leaves (5); however, it did not show significant differences with treatment 3 (37.5 mL/L). Although on day 60 after the application of the biofertilizer, the seedlings reached the highest growth values, they were ready for transplanting from day 45, since they were between 25 and 30 cm tall and had 4 to 6 true leaves, as recommended. In conclusion, the biofertilizer was presented as a sustainable alternative both to enrich the substrate used and to favor the development and growth of cocoa seedlings in the native community of Zungaroyali.

Keywords: Biofertilization, growth, seedlings, cocoa, sustainability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes son insumos esenciales para la nutrición de las plantas, garantizando su crecimiento y desarrollo óptimos. En el sector agrícola, los viveros son fundamentales, ya que son los espacios donde las plantas inician su ciclo de vida antes de ser trasladadas al campo. En este contexto, los fertilizantes favorecen su crecimiento, reduciendo problemas como el escaso follaje, la susceptibilidad a enfermedades y la debilidad de raíces y tallos (Moreira et al., 2021).

Sin embargo, en 2022, factores internacionales como el conflicto entre Rusia y Ucrania provocaron una drástica reducción en las importaciones de fertilizantes a nivel mundial. Perú no fue ajeno a esta situación, ya que, al formar parte del mercado global, también sufrió las consecuencias. Además, los conflictos políticos internos dificultaron aún más la adquisición de estos insumos. Según el Instituto Peruano de Economía (IPE, 2022), la compra de urea, el fertilizante más utilizado en el país, disminuyó en un 84 %, lo que representó un déficit de 80 mil toneladas en comparación con el año anterior.

Asimismo, el alto costo de los fertilizantes representa una amenaza para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola. Los pequeños productores, en particular, se ven en una situación de vulnerabilidad debido a la limitada disponibilidad de recursos y su fuerte dependencia de estos insumos esenciales. Como consecuencia, se ha registrado una disminución en la productividad, un deterioro progresivo de los suelos y un incremento en el precio de los alimentos. En 2021, el costo de una bolsa de urea pasó de 60 a 220 soles, lo que representó un aumento del 300 %, impactando significativamente los costos de producción y reduciendo la rentabilidad del sector agrícola (Montaño y Jara, 2022).

En particular, en la región de Pasco, los agricultores del distrito de Bermúdez, en la provincia de Oxapampa, enfrentan graves dificultades para acceder a fertilizantes. Su ubicación en el corazón de la selva central convierte la adquisición de este insumo en un proceso complicado y costoso, debido a la limitada movilidad, los elevados costos de flete, la escasez de proveedores y las condiciones climáticas

adversas, que pueden dañar el producto. Todo esto afecta considerablemente el precio final del fertilizante, afectando la economía de los agricultores.

El cultivo de cacao es de gran relevancia para la región de Pasco, ya que su producción tiene un impacto positivo en la economía local y regional, destacándose por su alta calidad y excelente aroma (SINEACE, 2020). La producción de cacao en la región alcanzó 4,407 toneladas en 2019, descendió a 4,033 en 2020 por la pandemia y subió a 4,707 en 2021 y a 4,800 toneladas en 2022 (MIDAGRI, 2022).

En este contexto, la creciente producción de cacao en la región requiere un manejo responsable, siendo la aplicación de biofertilizantes, en sustitución de los fertilizantes químicos, esencial para garantizar la calidad de los plantones. No obstante, la disponibilidad de biofertilizantes es limitada. En 2020, la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA) entregó a los agricultores de cacao 585,600 toneladas de guano y 39,042 toneladas de biofertilizantes; sin embargo, esta donación no puede realizarse todos los años (Paz, 2020).

En la comunidad nativa de Zungaroyali, situada en el distrito de Puerto Bermúdez, se presentan limitaciones para el establecimiento de viveros con condiciones óptimas para la producción de plantones de cacao. Ante esta situación, los agricultores recurren al uso de la capa superficial del suelo, comprendida entre los 5 y 10 cm de profundidad. Como alternativa sostenible, se plantea la aplicación de biofertilizante con el propósito de enriquecer dicha capa edáfica, favoreciendo así un desarrollo adecuado de los plantones y la obtención de porta injertos de calidad.

Ante todo, ello, fue planteada la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál será el efecto de la aplicación de un biofertilizante sobre el crecimiento de plantones de *Theobroma cacao L.* en Pasco-Perú?, surgiendo la idea de desarrollar la presente investigación, con el objetivo general de determinar el efecto de la biofertilización en el crecimiento de plantones de *Theobroma cacao L.*, en Pasco-Perú. Para tal fin, los objetivos consistieron en: i) determinar las características fisicoquímicas del biofertilizante, ii) establecer la concentración del biofertilizante para el adecuado crecimiento de plantones de cacao, y iii) determinar el período de crecimiento de los plantones de cacao aptos para el trasplante, según la concentración del biofertilizante.

La ejecución de este estudio permitirá desarrollar un fertilizante orgánico y un sustrato de fácil acceso para los agricultores de la comunidad nativa que manejan viveros de plántones de cacao, que ofrecen múltiples beneficios, como la nutrición de las plantas, bajo costo de producción y la reutilización de materia orgánica. Además, su uso contribuirá a la reducción de la huella de contaminación generada por el uso de los fertilizantes químicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Cacao. Generalidades

El cacao, científicamente conocido como *Theobroma cacao* L, es un árbol perenne que proviene de las regiones tropicales de América. Su nombre, que en griego significa "alimento de los dioses", refleja sus excepcionales cualidades. Este árbol puede alcanzar gran altura y produce flores y frutos durante todo el año. Sin embargo, las vainas que contienen las semillas que son la parte que más se utiliza del árbol, tardan alrededor de unos 5 meses en madurar (García et al., 2021).

Este árbol tiene un gran sistema radicular, con muchas raíces secundarias, su tallo es leñoso y alcanza hasta los 15m de altura, este es ramificado con corteza liza y marrón. Sus hojas tienen forma ovalada, presentan un color verde oscuro y sus dimensiones son de entre 10 y 20 cm, sus flores son bastante pequeñas de color blanco. Sus frutos son unas vainas muy grandes de 30 cm que presentan en una etapa temprana un color verde y cuando este ha madurado se vuelven amarillos, dentro de estas se encuentran las semillas que tienen una cobertura blanca y suave, y dentro se encuentra la parte dura y marrón de la cual elaboran el chocolate (Rodríguez et al., 2022).

El cacao es conocido debido a que dentro de la industria alimentaria se emplean sus semillas para producir chocolate alrededor de todo el mundo. La taxonomía del cacao se clasifica dentro del reino plantae y pertenece a la especie *Theobroma cacao* L., a su vez se detallan de manera más clasificada de acuerdo con subespecie o variedad, siendo los principales grupos genéricos, el Criollo, el Forastero y el Trinitario (Suárez et al., 2019).

Para su cultivo, en el vivero se selecciona la semilla de más alta calidad y con las características deseadas, luego se hace la preparación del sustrato el cual debe tener buen drenaje, aireación y retener la humedad. Posteriormente sigue el proceso de siembra en bolsas individuales a una profundidad de 2 cm, debe encontrarse en condiciones ideales de temperatura y humedad, y regarse regularmente, mientras la planta va creciendo se la debe ir adaptando al sol y fortaleciendo para poder enfrentar las plagas. El proceso en el que emerge la

radícula y las primeras hojas de la planta dura aproximadamente de 14 a 21 días (González, 2018).

La siguiente etapa es la de crecimiento vegetativo, para ello se debe pasar la plántula a su lugar definitivo donde se deben realizar procesos de poda, fumigación y abonamiento para que la planta esté saludable, este proceso tiene una duración de 3 a 4 años. En el cuarto año la planta comienza a tener su primera floración que son polinizadas y posteriormente dan los frutos, lo cual lleva alrededor de 1 año. Seguido a ello continúa la maduración y cosecha del fruto lo cual tardará unos 5 meses, luego de la cosecha existen diversas formas de procesar la semilla y esto dependerá del fin productivo (González, 2018).

2.2. Biofertilizante. Generalidades

Los biofertilizantes son de origen natural, que puede estar en estado líquido o sólido es empleado tanto para nutrir a las plantas como para aportar nutrientes a suelos que se encuentran pobres en elementos específicos. Este biofertilizante es empleado como alternativa a los fertilizantes químicos, se utiliza en la jardinería, los viveros y los cultivos agrícolas (Ramírez et al., 2023).

Los biofertilizantes se caracterizan por ser orgánicos, ya que se elaboran a partir de material vegetal o animal, otra de sus características es que son ricos en macro y micronutrientes como el potasio, calcio, magnesio, fósforo y nitrógeno. También cuentan con microorganismos como bacterias y hongos que ayudan a la descomposición de la materia orgánica y a la salud de la tierra (Flores y Tapullima, 2022).

La producción de biofertilizantes implica un proceso de fermentación de materia orgánica. Este proceso comienza con la selección de la materia prima, que puede incluir estiércol de animales como ovejas, vacas y cerdos, así como residuos vegetales tales como hojas y tallos. También se puede utilizar compost ya preparado. La segunda fase después de haber seleccionado el material es cortar este en pedazos pequeños y luego se mezcla en una concentración de 1 porción de material orgánico y 3 porciones de agua. La tercera fase es activar la fermentación, para ello se agregan activadores como melaza, azúcar o suero de leche.

Para lograr la fermentación se transfiere la mezcla de agua con materia orgánica en depósitos herméticos y se deja un espacio libre en la zona superior por donde puedan salir los gases, se deja aquí entre 15 a 45 días, revolviendo la composición cada 4 días aproximadamente. La tercera fase viene a ser el filtrado y almacenamiento, se separa el líquido y se lo agrega a un envase hermético y opaco para que no se degraden sus propiedades.

Finalmente, la última fase es su dilución y aplicación, el biofertilizante por sí solo es demasiado fuerte y quemaría a la planta, por lo que se recomienda que se diluya en agua, la cantidad de agua dependerá de la materia orgánica utilizada; el producto diluido puede rociarse sobre las hojas de la planta o alrededor del suelo (Salazar, 2022).

Las ventajas de este producto radican en que es un aliado para la agricultura sostenible, mejora la fertilidad de la planta, permite tener plantas más fuertes y resistentes a plagas y cambios climáticos, estimula la fijación de nitrógeno en el suelo, promueve el crecimiento de las plantas, mejora la calidad de los cultivos, es sostenible porque se emplea material que en otra circunstancia sería desechado o desperdiciado, reduce la huella de carbono, es económico de fabricar, versátil y fácil de elaborar y utilizar (Román, 2020).

Por otra parte, existen desventajas que radican principalmente en su elaboración y aplicación, estas son, que el tiempo de elaboración es muy largo por lo que requerirías de bastante planificación para tener fertilizante listo en el momento que se requiere usar. Otra de sus desventajas es su fuerte olor debido al proceso de fermentación, por lo que se tendría que realizar el proceso en un espacio alejado. También se debe tener en cuenta la variabilidad de su composición lo que dificulta saber qué dosis se debe aplicar, a esto se añade que un mal almacenaje puede traer riesgos patógenos (Román, 2020).

2.3. Nutrientes

Los nutrientes son elementos vitales que las plantas absorben del suelo, el aire y el agua. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en la construcción de las estructuras vegetales; la realización de sus funciones vitales como el

crecimiento y la nutrición; y son imprescindibles para que completen su ciclo de vida (Alva y Farinango, 2023).

Entre estos nutrientes se pueden distinguir dos grandes grupos, como son los macronutrientes y los micronutrientes. En los primeros podemos encontrar al Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), que se encargan del crecimiento general de las plantas. Mientras que en los segundos encontramos al Hierro (Fe), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn), los cuales se encargan de procesos más específicos en las plantas como la resistencia a plagas y polinización (FAO, 2024).

Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un macronutriente esencial para las plantas, presente en un 78% en la atmósfera terrestre. Sin embargo, las plantas no pueden absorberlo directamente en su forma gaseosa. Las plantas utilizan el nitrógeno para la formación de proteínas (estructuras vegetales), ácidos nucleicos (información genética), clorofila (permite la fotosíntesis), y permite el crecimiento foliar de las plantas (Guzmán y Montero, 2021).

Es fácil reconocer cuando una planta está carente de nitrógeno, pues se manifestarán síntomas en las plantas como, hojas de color amarillento o pálidas, su crecimiento se verá retrasado y se observará una menor producción de frutos (Guzmán y Montero, 2021).

Potasio

El potasio (K) es un macronutriente indispensable para las plantas, presente en un 2.6% en la corteza terrestre. Su papel en la fisiología vegetal es fundamental para el desarrollo y la salud de las plantas. Sus funciones son sintetizar las proteínas para que puedan ser absorbidas, asimismo permite regular los niveles de nutrientes y agua que recibe la planta, y hace que estas se vuelvan más resistentes a las enfermedades (Tamayo et al., 2022).

Se recomienda suministrar fertilizantes potásicos específicos a las necesidades de las plantas, ya que la carencia de potasio puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas, manifestándose en hojas cloróticas, bordes marrones en las hojas, tallos débiles y menor producción de frutos (Tamayo et al. 2022).

Fósforo

El fósforo (P) es un macronutriente crucial para las plantas, representando el 0.1% de la corteza terrestre y esencial para procesos fisiológicos importantes en el crecimiento y desarrollo vegetal. Sus principales funciones es el desarrollo radicular; la floración, fructificación y producción de semillas; y la respiración celular con cuyo proceso las plantas obtienen energía a partir de azúcares (Salas, 2020).

Según, Salas (2020), en suelos con baja riqueza en fósforo, la deficiencia de este nutriente puede impactar adversamente el desarrollo vegetal. Esto se manifiesta en síntomas como hojas pequeñas y de un verde pálido, retrasos en la maduración, reducción en la producción de flores y frutos, y un sistema radicular debilitado.

Magnesio

El magnesio (Mg) está presente en un 0.02% en la corteza terrestre. Aunque se encuentra en menor cantidad que otros macronutrientes, su papel en la fisiología vegetal es fundamental. Sus funciones constan en forma parte de la clorofila, participa en reacciones enzimáticas, ayuda a sintetizar proteínas y es fundamental para la producción de azúcares y aceites (Ferrua, 2023).

La falta de magnesio en los suelos ocasiona que las plantas presenten hojas cloróticas con manchas marrones, que se presente un color amarillamiento entre las nervaduras de las hojas, se reduzca el crecimiento y disminuya la cantidad de frutos que brinda la planta (Ferrua, 2023).

Boro

Macías (2022) señala que el boro (B) es un micronutriente esencial que contribuye al crecimiento del tubo polínico, facilitando la fecundación del óvulo y la formación de semillas. Además, este elemento participa en la estructuración y fortalecimiento de las paredes celulares del fruto y mejora la resistencia de las plantas ante enfermedades. Las plantas obtienen el boro del suelo a través de la absorción de iones H_3BO_3 por las raíces. La falta de boro puede ocasionar tallos necrosados, deformación de las hojas, cambios de color y menos cantidad de frutos (Macías, 2022).

Zinc

El Zinc es otro micronutriente esencial para el correcto desarrollo de la planta, sus principales funciones es la síntesis de auxinas con lo cual regula el crecimiento de la planta, y también ayuda a que la planta resista las enfermedades ya que ayuda a reforzar las paredes celulares (Trindade et al., 2024).

Las plantas consiguen la necesidad que requieren de zinc del suelo a través de la absorción de iones Zn^{2+} por las raíces. Su escasa disponibilidad ocasiona que las hojas sean cada vez más pequeñas, disminuye considerablemente su crecimiento y se vuelve más susceptible a las enfermedades (Trindade et al., 2024).

Manganeso

El manganeso es también un micronutriente que participa en tres procesos funcionales de la planta que son la respiración (cadena transportadora de electrones de la respiración mitocondrial), síntesis de proteínas y formación de clorofila (Macías, 2022). Las plantas obtienen el manganeso del suelo a través de la absorción de iones Mn^{2+} por las raíces, lo cual genera que las plantas presenten hojas cloróticas, retraso del crecimiento y puedan sufrir de pudrición al no absorber el agua y nutrientes necesarios (Macías, 2022).

2.4. Microorganismos eficaces

Los microorganismos eficaces (EM) son una mezcla de microorganismos vivos, principalmente bacterias fotosintéticas, bacterias ácidas lácticas y levaduras. Se encuentran en un estado latente y se activan al ser mezcladas con agua. Estos microorganismos son utilizados en la agronomía para la elaboración de biofertilizantes líquidos y el Compost (Chaparro et al., 2020).

2.5. Antecedentes de la investigación

Escalante (2023) se propuso evaluar cómo la aplicación de abonos orgánicos líquidos, en particular biol a base de estiércol de vaca y cascarilla de café, afecta los parámetros productivos del fréjol. La metodología empleada fue cuantitativa experimental. Se aplicó con el método drench en una frecuencia de 7,14 y 21 días. Los factores que se evaluaron fueron inflorescencia, días de floración, altura,

semillas por vaina, peso, y días de cosecha. Los resultados mostraron que no hubo resultados estadísticamente significativos de las parcelas que utilizaron los bioles, de los que no. Pero se observó que era mejor aplicar biol entre los 7 a 14 días ya que ayudan a nutrir a la planta y que esta sea más resistente a cambios climáticos. Se concluyó que emplear bioles en las plantas de frejol no aumenta su productividad, pero puede fortalecer a la planta de peligros externos.

Yenani et al. (2021) en su investigación se plantearon elaborar un fertilizante orgánico (biol) de cáscara de café con fórmula iniciadora PUMAKKAL para cultivos sustentables. La metodología empleada fue experimental y realizó en dos etapas, la primera fue la elaboración del fertilizante y la segunda fue comprobar la calidad del fertilizante. Se realizaron 5 tratamientos con cáscara de café y bacterias de los desechos líquidos de piña que ayudaban a una mejor descomposición. Los tratamientos se conformaron de T1 (3 bacterias), T2 (6 bacterias), T3 (9 bacterias), T4 (12 bacterias) y T5 (15 bacterias). Los resultados mostraron que el tratamiento T3 fue el que obtuvo mejorar calidad y ayudo a la nutrición de suelos de cultivo de manera más significativa. Se concluyó que el fertilizante elaborado de cascarilla de café con líquidos de desechos de piña, es apto para abonar y mejorar diversos cultivos.

Barros et al. (2020) se propusieron desarrollar abonos orgánicos de la basura orgánica de los hogares por biodegradación para ser aplicada en los huertos caseros. Para ello emplearon una metodología experimental, donde se hizo una comparativa entre los tipos de compost, biol de frutas, biol de estiércol y abono líquido, para cultivar papas (se hicieron 10 tratamientos). También se usó análisis económico mediante Perrin. Los resultados mostraron que los mejores tratamientos fueron el T5 y T6 con 46,67 y 42 kg/ha (elaborados de estiércol de cuy), seguido del T1 (biol de frutas) que tuvo mayor rendimiento (39,67). Se concluyó que elaborar estos fertilizantes orgánicos es una alternativa para cubrir con los requerimientos de los suelos y cultivos, y así aumentar la productividad.

Kouakou et al. (2020) se plantearon encontrar una alternativa al uso de fertilizantes químicos para aumentar los rendimientos de la yuca. La metodología empleada fue experimental prospectivo, fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. El estudio se hizo en 4 variedades de Yuca (Yacé, Alleda agba , Six mois y Bonoua).

Los resultados evidenciaron que al emplear el fertilizante de cáscara de cacao se obtuvo mayor diámetro en el tallo de la planta (21,56 mm), así como mayor número de hojas (77,30). También se evidenció que la variedad Six Mois fue la que logró tallos más largos, mientras que la variedad Bonoua fue la que alcanzó mayores raíces tuberosas y mayor rendimiento (58,29 t/ha). Se concluyó que este fertilizante a base de cáscara de cacao es excelente para reemplazar los fertilizantes químicos y permite aumentar la producción, al mismo tiempo que mantiene nutrientes del suelo.

Lucano (2021) se propuso como objetivo principal evaluar la calidad y efectividad de un biol producido a partir de residuos de cosecha de cacao en un clon de cacao fino aromático, ubicado en Ucayali. Este estudio experimental empleó un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones y cinco tratamientos distintos. En el T1 se usó biol diluido a 10%, mientras que en el T2 el porcentaje fue de 15%, en el T3 la proporción fue de 20%, en el T4 se mezcló biol en 15% y se añadió el fertilizante del agricultor, el T5 fue la prueba de control. Los resultados mostraron que los contenidos de nitrógeno y potasio del suelo no tuvieron variaciones significativas al agregar los diferentes tratamientos, sin embargo, el fósforo sí tuvo un incremento. Durante las épocas de lluvia varió el peso en el diámetro de las plantas con el T1 y T2, mientras que la cantidad de mazorcas del T4 y T2 fueron significativamente superior ($P < 0,05$). Se concluyó que en los granos secos el rendimiento más alto fue en T1 y T2, mientras que la más baja fue el T3.

Arias y Yauri (2021) en su trabajo propusieron producir biosol y biol a partir de cáscaras de cacao. Empleando un enfoque experimental, elaboraron biofertilizantes en formas líquida y sólida a través de la fermentación homoláctica para optimizar la descomposición. El estudio incluyó nueve biofermentaciones con variadas cantidades de residuos de cacao y microorganismos eficientes, todas incubadas a 25° C para determinar el tratamiento más efectivo. Fueron 9 biofermentados con distintas cantidades de residuos de cacao y microorganismos eficientes que a temperatura de 25° C se incubaron para poder determinar el mejor tratamiento. Para medir los nutrientes y el PH se empleó el diseño al Azar con el análisis ANOVA. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento para obtener biosol fue el T9 cuya proporción de residuos y microorganismos fue de 500 g/1500

ml. Mientras que el mejor tratamiento para obtener biol fue el T3 el cual contiene altas cantidades de 1.27 % N, 0.64 % P y 0.25 % K. Igualmente se observó disminución de plomo, cadmio y Zinc. Se concluyó que el biol y biosol elaborado con cáscara de cacao es de alta calidad.

Luna (2023) planteó evaluar cómo el biol y biosol, formulados a partir de cáscaras de cacao, influyen en las propiedades químicas de un suelo deteriorado por el cultivo de coca. Su trabajo tuvo una metodología experimental, cuantitativa, se usó el tratamiento inicial (T0) y se contrastó con los que contenían biol que fueron el T1 (200ml), T2 (120ml), T3 (60ml); también con los que contenían biosol T1 (100gr), T2 (60gr), T3 (30gr). Las técnicas e instrumentos empleados fueron un biodigestor de capacidad de 80 L, se usó análisis al Azar y el contraste de Fisher. Los resultados mostraron que tanto el biol como el biosol han aportado a mejorar los nutrientes de la tierra, siendo el biol el que obtuvo más diferencias significativas teniendo un contraste F de 3456,964 y pH de 230,705., con una significancia de es 0.000. Asimismo, se aumentó en 69.895, 4811.160, 22.054 las cantidades de calcio, magnesio y sodio respectivamente. Se concluyó que tanto el biosol como el biol ayudan a la nutrición de los suelos degradados por cultivos de coca.

Vázquez (2021) en su trabajo se planteó la elaboración de biogás y biol de calidad en base a agua miel del café y purín de cerdos. El estudio fue experimental y se realizaron 4 tratamientos en los cuales se evaluaron la temperatura, el pH, la producción de gas, la conductividad y composición. Los resultados evidenciaron que el mejor tratamiento fue el T4 (22.38 L) y (34.8% metano), los macronutrientes más altos los alcanzó este tratamiento, siendo valor de P (441.43 mg/L), K (18794 mg/L), Mg (4666 mg/L), Ca (15183.33 mg/L) y C (21663.33 mg/L), asimismo estuvo dentro de límites máximos permisibles de coliformes fecales. Se concluyó que el T4 es un biofertilizante de calidad y puede ser utilizado para el desarrollo de diferentes cultivos.

Aguilar (2022) investigó la producción de biogás y biol utilizando residuos orgánicos como pulpa de café y estiércol de vacas y cuyes, a través de un enfoque cuantitativo y experimental con un biodigestor artesanal. Los resultados mostraron diferencias significativas en la producción de biol: la combinación de pulpa de café y estiércol de vaca generó 2,480 litros, mientras que la mezcla con estiércol de cuy produjo

4,790 litros. La segunda muestra de evidencio que la mezcla uno produjo 2,100 L de biol, mientras que la muestra dos de la segunda mezcla produjo 4,170 L. Se concluyó que el estiércol de cuy por su poca conductividad y mayor cantidad de humedad permite obtener mayores cantidades biol y biogás en menor tiempo, también cuenta con gran cantidad de materia orgánica que es beneficiosa para los cultivos.

Siccha (2021) en su trabajo se propuso evaluar la elaboración de abono líquido (biol), a partir de residuos de mango. Su metodología fue experimental aplicada, para ello se emplearon 3.50kg de residuos de mango, 5,80 Kg de residuos de otras frutas como papaya, plátano y naranja; y 1Kg de estiércol. Los resultados de este estudio mostraron que esta mezcla presenta en 20 días una temperatura de acidez láctica de 26,2 °C, y a los 40 días 32,8 °C. También presenta un pH de 7,2 y 8,1 respectivamente. Asimismo, presentaron los niveles de 254 de sodio, con 122 de zinc, 122 de hierro y los porcentajes mínimos 35.6 boro, 23,7 cobre. Por lo que se concluye que este biol de mango es apto para ser utilizado en diversos cultivos y mejorar su producción.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geopolítica

La investigación se realizó en la comunidad nativa de Zungaroyali del distrito de Puerto Bermúdez, provincia de Oxapampa, región Pasco.

3.1.2. Ubicación geodésica

La comunidad nativa de Zungaroyali se encuentra comprendida entre las coordenadas X1: 513729; Y1:8881297, Altura1: 251 (Figura 1).

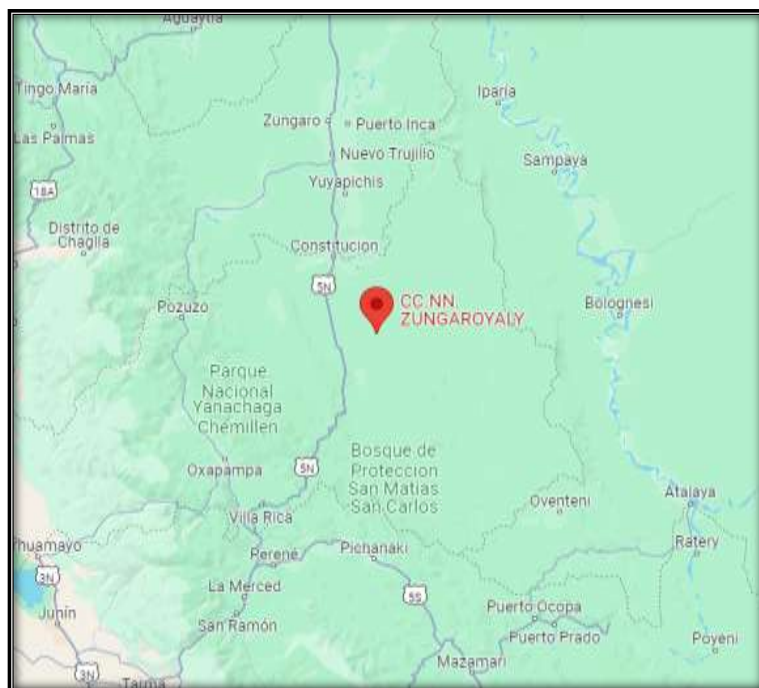


Figura 1. Localización satelital de la zona experimental

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- Recipientes de polipropileno de alta densidad (HDPE)
- Manguera transparente de polipropileno de 16 mm
- Botellas de plásticos transparentes de polipropileno de 1 L
- Bolsas de polipropileno de color negro
- Regadera o aspersor
- Palas
- Rastrillos
- Guantes de latex y lentes de protección.
- Cartillas de evaluación
- Lapiceros
- Papel bond A-4.
- Plumones y resaltadores
- Cuaderno de notas.
- Cinta métrica
- Tubos de plástico de 2 pulgadas de diámetro.

3.2.2. Equipos e instrumentos

- Potenciómetro digital (Hanna C6818 Scott Alemán).
- Termómetro BOECO (- 4 a 250 °C) Germany

3.2.3. Insumos

- Suelo agrícola
- Estiércol de ganado vacuno
- Melaza de caña de azúcar
- Leche fresca de vaca
- Microorganismos eficientes BIOEM® (*Rhodopseudomonas palustris*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Streptomyces griseus* y *Streptomyces albus*)
- Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Sulfato de potasio

- Roca fosfórica
- Ulexita
- Sulfato de cobre
- Sulfato de zinc
- Sulfato de magnesio
- Sulfato de manganeso
- Semillas de tara

3.2.4. Material vegetal

- Semillas de cacao variedad VRAE 15

3.3. Métodos

3.3.1. Diseño experimental

Para verificar la hipótesis de este estudio, se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones. Incluye la siguiente ecuación estadística y su respectivo arreglo:

$$Y_{ij} = U + A_i + b_j + E_{ij}$$

Donde:

- **Y_{ij}**: representa la medición de las variables dependientes que se van a medir en el experimento, en este caso: tamaño de hoja, tamaño de planta, crecimiento radicular
- **U**: media global del experimento
- **A_i**: efecto del tratamiento que se desea evaluar: biofertilizante (dosis, número de aplicaciones).
- **b_j**: variable bloque: número de plantas.
- **E_{ij}**: efecto del error experimental.

Tabla 1. Diagrama del diseño de bloques completamente al azar

Número de plantones (j)	Biofertilizante (i)			
	T0	T1	T2	T3
1	Y _{0,1}	Y _{1,1}	Y _{2,1}	Y _{3,1}
2	Y _{0,2}	Y _{1,2}	Y _{2,2}	Y _{3,2}
...
80	Y _{0,80}	Y _{1,80}	Y _{2,80}	Y _{3,80}

Nota. T0: sin biofertilizante; T1: 017,5 mL biofertilizante/1 L agua; T2: 25 mL biofertilizante/1 L agua; T3: 37,5 mL biofertilizante/1 L agua .

3.3.2. Factores niveles y tratamientos

Para llevar a cabo el presente estudio experimental, se implementaron 4 tratamientos, entre los cuales se incluyó un grupo de control o testigo (sin aplicación de biofertilizante), especificados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Factor, tratamiento y clave

Factor	Tratamiento	Clave
	Solución nutritiva mineral (testigo)	T0
	17,5 mL biofertilizante/1 L agua	T1
Biofertilizante	25 mL biofertilizante/1 L agua	T2
	37,5 mL biofertilizante/1 L agua	T3

3.3.3. Variables y métodos de evaluación

Las evaluaciones se realizaron cada 15 días, tras cuatro aplicaciones del biofertilizante con la misma frecuencia durante un período de 60 días, hasta que las plantas estuvieron aptas para el trasplante a campo definitivo. Se seleccionaron al azar diez plantas por repetición en cada tratamiento y se registraron las siguientes variables de crecimiento:

- **Altura de plantón:** se determinó midiendo la distancia desde el cuello de la planta hasta el ápice utilizando una regla graduada, asegurando precisión en cada medición.

- **Longitud de la raíz:** su medición se realizó desde el cuello anatómico de la planta hasta el ápice de la raíz, utilizando una regla graduada para asegurar exactitud en los datos obtenidos.
- **Área foliar:** para su estimación, se utilizó el método gravimétrico. Este consistió en determinar el peso de secciones del limbo foliar de 2 cm², y relacionarlo con el peso total de la hoja mediante una regla de tres simple directa. De este modo, se calculó el área foliar total por hoja. El muestreo se realizó seleccionando tres hojas por planta (una de la parte superior, una del tercio medio y una de la parte inferior), en cinco plantas elegidas al azar por tratamiento.
- **Diámetro de los plantones:** se midió el diámetro del tallo a la altura del cuello de la planta, utilizando un vernier (pie de rey) para garantizar precisión en las mediciones.
- **Número de hojas:** se registró la cantidad total de hojas por planta en cada repetición y tratamiento, correspondiente a la dosis de biofertilizante aplicada.

3.3.4. Análisis estadístico

Los datos obtenidos a partir de las evaluaciones realizadas fueron tabulados, procesados y analizados con el software STATGRAPHICS Centurión XVI.I. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha < 0.05$), para determinar si existe diferencia significativa entre al menos un par de tratamientos y días de evaluación. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se utilizó la prueba de Tukey para determinar en qué pares de tratamientos o días evaluados se encontraban las diferencias significativas.

3.3.5. Conducción del experimento

3.3.5.1. Elaboración del biofertilizante.

Designación del lugar:

Se seleccionó un área adecuada para la elaboración del biofertilizante, considerando las siguientes características:

- Espacio accesible y ventilado.
- Acceso a agua limpia.
- Seguridad y protección contra contaminantes externos.

Materiales e insumos necesarios:

Materiales:

- 5 recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de 80 L con tapa rosca y abrazadera.
- 5 conectores o válvulas.
- 3 metros de manguera transparente de 16 mm.
- 5 botellas de polietileno transparente de 1 L
- 1 balde de plástico de 20 L.

Insumos:

- 50 kg de estiércol de ganado vacuno.
- 5 L de melaza de caña o 20 L de mucílago de cacao.
- 5 L de leche fresca de vaca o suero.
- 5 L de microorganismos eficaces BIOEM® (*Rhodopseudomonas palustris*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Streptomyces griseus* y *Streptomyces albus*).
- 4 kg de sulfato de potasio (K).
- 4 kg de roca fosfórica.
- 4 kg de ulexita (B).
- 4 kg de sulfato de cobre (Cu).

- 4 kg de sulfato de zinc (Zn).
- 4 kg de sulfato de magnesio (Mg).
- 4 kg de sulfato de manganeso (Mn).
- ½ kg de levadura de pan.
- 1 kg de polvillo de arroz.
- 25 Kilo de semillas de tara

Activación de los microorganismos eficaces:

Los microorganismos eficaces utilizados corresponden al producto EM•1® de la marca BIOEM®, un inoculante biológico formulado con microorganismos simbióticos que favorecen el desarrollo vegetal y ayudan a evitar plagas y enfermedades. Se trata de un líquido color marrón-amarillo, que presenta olor agradable a fermento y un pH de 3.5.

El producto estuvo compuesto por:

- Bacterias fototróficas ($\geq 4.0 \times 10^6$): *Rhodospseudomonas palustris*
- Bacterias ácido lácticas ($\geq 6.0 \times 10^5$): *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus plantarum*
- Levaduras ($\geq 3.0 \times 10^4$): *Saccharomyces cerevisiae*
- Actinomicetos: *Streptomyces griseus* y *Streptomyces albus*
- Enzimas y antioxidantes producidos por los microorganismos

Estos microorganismos no presentan riesgos para la salud, ya que no son patógenos, modificados genéticamente ni producidos químicamente, y su uso no representa un peligro para el medio ambiente ni para las personas o animales.

Para la activación de estos microorganismos eficaces, se realizó el siguiente procedimiento:

1. En un recipiente HDPE, se colocaron 30 L de agua.
2. Se agregaron 10 kg de estiércol de vaca y se removió hasta disolver completamente.
3. Se incorporaron 5 kg de melaza de caña disuelta y 5 L de leche fresca.

4. Se añadieron 20 L de mucílago de cacao y 5 L de microorganismos eficaces, y se removió durante 3 a 5 minutos.
5. Se agregaron ½ kg de levadura de pan, 1 kg de polvillo de arroz y se mezclaron continuamente.
6. Se selló herméticamente el recipiente HDPE y se dejó fermentar durante 30 minutos. tras lo cual los microorganismos eficaces quedaron listos para su uso.

Preparación del biofertilizante:

1. En cuatro recipientes HDPE, que contenían 50 L de agua cada uno, se incorporaron los siguientes insumos, removiendo constantemente:
 - 10 kg de estiércol fresco de ganado vacuno.
 - 5 kg de melaza de caña.
 - 5 L de leche fresca de vaca.
 - 5 L de microorganismos eficaces.
2. Se añadieron los sulfatos de la siguiente manera:
 - **Recipiente HDPE 1:** 1 kg de sulfato de potasio.
 - **Recipiente HDPE 2:** 1 kg de roca fosfórica y 1 kg de ulexita.
 - **Recipiente HDPE 3:** 1 kg de sulfato de cobre y 1 kg de sulfato de zinc.
 - **Recipiente HDPE 4:** 1 kg de sulfato de magnesio y 1 kg de sulfato de manganeso.
3. La mezcla se agitó hasta obtener una solución homogénea, luego se selló con tapas herméticas equipadas con válvulas de evacuación de gases conectadas a mangueras.
4. En otro recipiente, se preparó una decocción utilizando 25 kg de tara hervidos en 50 litros de agua, con el objetivo de extraer sus compuestos beneficiosos.

5. Después de culminar toda la mezcla a los recipientes HDPE, se incorporaron 10 litros de la decocción de tara, previamente hervida, en cada uno de los recipientes HDPE (1, 2, 3 y 4).
6. Se dejó fermentar durante 30 días para permitir el proceso anaeróbico.
7. Durante ese período, se verificó semanalmente la salida de gases para asegurar una adecuada fermentación.

Muestreo del biofertilizante:

Transcurridos los 30 días, de cada recipiente se extrajeron las siguientes cantidades del producto terminado:

- **Recipiente HDPE 1:** 7 L
- **Recipiente HDPE 2:** 3 L
- **Recipiente HDPE 3:** ½ L
- **Recipiente HDPE 4:** ½ L

Seguidamente, se mezclaron homogéneamente los 11L obtenidos.

Análisis fisicoquímico del biofertilizante:

Se extrajo una muestra de 1 litro del biofertilizante para el análisis de parámetros fisicoquímico en laboratorio, tales como pH, conductividad eléctrica, minerales, materia seca, carbono, relación C/N.

3.3.5.2. Características del área experimental.

Ubicación:

- Área accesible, con buena exposición solar y protección contra vientos fuertes.
- Orientación de este a oeste y topografía plana o ligeramente inclinada.

Construcción:

- Dimensiones: 10 m x 6 m.
- Distancia entre postes: 3 m.
- Altura de postes: 2.8 m (enterrados 0.5 m, altura final de 2.3 m).

- Tinglado: cobertura con materiales locales (hojas de coco o shapaja), permitiendo 30-40 % de entrada de radiación solar.

Suelo agrícola:

Se emplearon 5 cm a 10 cm de capa superficial del suelo como suelo agrícola para el llenado de las bolsas. Para ello, se recolectaron muestras en distintos puntos del terreno, las cuales fueron homogenizadas y expuestas al sol durante un período de 10 días, con el objetivo de reducir su carga biológica. Posteriormente, se extrajo una muestra representativa de 1 kg para su análisis físico-químico, con el fin de determinar sus principales características.

Bolsas de cultivo:

Estas bolsas utilizadas para contener el suelo para el desarrollo de los plantones de cacao fueron de polietileno y presentaron dimensiones de 28 cm × 14 cm, espesor de 0.2 mm y con pliegue en la base. Este pliegue facilitó el desarrollo radicular y el drenaje adecuado.

3.3.5.3. Preparación de las semillas.

Las semillas se obtuvieron de frutos grandes, sanos y no sobremaduros, procedentes de plantas híbridas de la zona (variedad VRAE 15). Se emplearon 300 semillas de cacao fresco, equivalentes a 1.5 kg. En primer lugar, se realizó una desinfección de las semillas utilizando Vitavax, un fungicida en polvo cuyo principio activo es carboxin combinado con thiram, a una dosis de 10 g disueltos en 4 L de agua.

Una vez desinfectadas las semillas, se efectuó el pregerminado con el objetivo de facilitar la identificación de la zona de crecimiento del embrión. Las semillas fueron dispuestas sobre sacos de yute humedecidos, cubiertas con sacos del mismo material y hojas de plátano para mantener una adecuada humedad y temperatura. El inicio de la brotación radicular se observó a los 2.5 días, completándose el proceso en el tercer día.

3.3.5.4. Acondicionamiento del área experimental, siembra de semilla, aplicación de biofertilizante y manejo de vivero.

Acondicionamiento del área experimental

El área experimental fue seleccionada de un terreno estratégico, ubicado a aproximadamente 300 m de la zona definitiva de siembra, con fácil acceso y disponibilidad constante de agua de buena calidad. Se orientó de este a oeste, considerando una topografía plana. Además, la ubicación también permitió garantizar la seguridad de los plántones, alejándolos de posibles riesgos como animales de predios cercanos, depósitos de químicos, fertilizantes, combustibles o basureros que puedan representar fuentes de contaminación.

Las camas fueron niveladas con cuidado, organizando las bolsas en hileras a 30 cm de distancia. El tamaño del vivero se ajustó para acomodar 200 plántones por 0.16 hectáreas. Asimismo, el espacio se organizó en áreas claramente delimitadas para diferentes actividades: germinación, adaptación, cuarentena y almacenamiento. Además, se trazaron caminos que facilitaron el acceso, y se instaló un sistema de irrigación eficiente, que asegure un drenaje eficiente, evitando acumulaciones de agua que podrían afectar el desarrollo de los plántones.

Para proteger los plántones de la exposición directa al sol, se implementó un sistema de sombreado que proporciona entre un 50 % y un 60 % de protección, utilizando materiales de la zona, tales como la hoja de shapaja, coco y Yarina siempre verificando que no sean portadores de enfermedades. La instalación del vivero se realizó teniendo en cuenta que el momento del trasplante concuerde con la época final de lluvias.

Llenado de bolsas de cultivo:

El suelo agrícola, extraído de la capa superficial (entre 5 y 10 cm de profundidad) y previamente expuesto a la radiación solar durante 10 días para su desinfección, fue incorporado en las bolsas, rellenándolas hasta la mitad (aproximadamente 1,65 kg). Las bolsas se compactaron dejándolas caer desde una altura de 20 cm, con el objetivo de mejorar la estabilidad del sustrato. Finalmente, las bolsas fueron dispuestas en el área designada sobre camas de cultivo de 1.20 m de ancho, organizadas en filas verticales de cuatro unidades, separadas entre sí por calles de

0.6 m de ancho. La distribución se organizó en filas mellizas con el fin de optimizar el espacio disponible y facilitar las labores de manejo agronómico.

Siembra de las semillas:

De un total de 300 semillas de cacao pregerminadas, se seleccionaron 200 para su siembra en el sustrato contenido en las bolsas. Para ello, se realizó un orificio de 2 cm de profundidad en el sustrato, donde se colocó cuidadosamente cada semilla (desde el segundo día de pregerminado) con el embrión orientado hacia abajo. Los plántones permanecieron en el vivero durante tres meses, abarcando el período comprendido entre julio y septiembre del año 2024.

Aplicación de biofertilizante:

Previamente a su aplicación, el biofertilizante fue diluido en 1 L de agua con el fin de evitar posibles daños a los tejidos foliares de las plantas. La aplicación de la solución diluida se realizó mediante una mochila pulverizadora manual de 20 litros de capacidad. En total, se efectuaron cuatro aplicaciones con una frecuencia quincenal, durante un período de 60 días, correspondiente a la fase de desarrollo vegetativo de los plántones.

Manejo de vivero:

Durante la primera etapa, los plántones de cacao se desarrollaron bajo condiciones de sombra adecuada. A partir del primer mes, se permitió un ingreso progresivo de luz solar, alcanzando aproximadamente un 60 % de exposición. En el segundo mes de crecimiento, se llevó a cabo una selección sanitaria, eliminando aquellas plantas raquíticas, enfermas o con bajo vigor, y clasificando las restantes en categorías de desarrollo medio y alto.

El riego del vivero se realizó considerando las condiciones climáticas locales, priorizando su ejecución en horas de menor radiación solar (temprano por la mañana o al final de la tarde). La frecuencia de riego fue de cada 2 a 3 días en condiciones normales, ajustándose según las variaciones climáticas, con el fin de mantener niveles óptimos de humedad en el sustrato. Además, el área del vivero se mantuvo limpia y libre de malezas para garantizar un entorno favorable para el

desarrollo de los plántones. Las malezas fueron eliminadas de manera manual cada 15 días.

Evaluación de variables de crecimiento de plántones:

Se seleccionaron 80 plántones de cacao para su evaluación de crecimiento en función de la altura, el área foliar, la longitud de la raíz, el diámetro y el número de hojas de los plántones de cacao.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características fisicoquímicas del biofertilizante

A continuación, se presentan los resultados del análisis fisicoquímico del biofertilizante, que permitieron evaluar su calidad, estabilidad y capacidad para incrementar la fertilidad del suelo y el crecimiento de los plántones de cacao.

Tabla 3. Características fisicoquímicas del biofertilizante

Parámetro	Resultado
pH	5
CE (mmhos/cm)	28.31
Materia Orgánica (%)	38.60
Nitrógeno (N) (ppm)	18000
Fósforo (P ₂ O ₅) (ppm)	34000
Potasio (K ₂ O) (ppm)	36000
Calcio (CaO) (ppm)	36800
Magnesio (MgO) (ppm)	2000
Azufre (S) (ppm)	7200
Cobre (Cu) (ppm)	5000
Zinc (Zn) (ppm)	1500
Manganeso (MnO ₂) (ppm)	2500
Boro (B) (ppm)	2700
Silicio (Si) (ppm)	3000
Materia Seca (%)	73.49
Humedad (%)	25.23
Carbono (%)	22.18
Relación C/N (%)	11.92

Como se observa en la tabla 3, el biofertilizante presentó un pH de 5, lo que indica ligera acidez. Según Rosas et al. (2021), este nivel de pH es apropiado para el cultivo del cacao, puesto que esta especie crece en suelos con un pH de 5.0 a 6.5, intervalo que promueve la presencia de nutrientes vitales y la actividad microbiana

beneficiosa en el sustrato, siempre que se monitoreen y ajusten las condiciones del suelo según sea necesario.

Asimismo, su conductividad eléctrica de 28.31 mmhos/cm evidencia una alta cantidad de sales solubles. De acuerdo con Sela (2025) y Garcia et al. (2023), cantidades elevadas de sales pueden interferir en la absorción de agua y nutrientes, provocando estrés osmótico en las raíces y posibles efectos fitotóxicos. Por ello, es recomendable diluir o aplicar el biofertilizante en pequeñas dosis, tal como se realizó en esta investigación.

El contenido de materia orgánica (38.60%) en el biofertilizante es ventajoso, dado que mejora la estructura del sustrato, incrementa la capacidad para retener agua, ofrece una fuente constante de nutrientes durante la descomposición, y promueve la actividad de los microorganismos benéficos, que es crucial para la mineralización de nutrientes (González, 2024; Mamani, 2023).

Respecto a los macronutrientes, el biofertilizante mostró niveles adecuados: nitrógeno (1800 ppm), fósforo (34000 ppm), potasio (36000 ppm) y calcio (36800 ppm). Estos elementos son esenciales para funciones fisiológicas clave como el crecimiento foliar, la formación del sistema radicular, la regulación hídrica, y la fortaleza estructural de la planta. El magnesio (2000 ppm) y el azufre (7200 ppm) también estuvieron presentes en proporciones funcionales para apoyar la fotosíntesis y la síntesis de proteínas (IFA/FAO, 2002).

En cuanto a los micronutrientes, se registraron valores importantes de cobre (5000 ppm), zinc (1500 ppm), manganeso (2500 ppm), boro (2700 ppm) y silicio (3000 ppm). Aunque requeridos en pequeñas cantidades, estos elementos desempeñan funciones críticas en la defensa contra enfermedades, producción hormonal y procesos metabólicos de la planta (IFA/FAO, 2002).

La proporción de materia seca (72.25 %) y humedad (25.23 %) resultó ser apropiada. Esta es importante para preservar la viabilidad de los microorganismos del biofertilizante y simplificar su uso. Un exceso de materia seca puede limitar la actividad microbiana debido a la falta de agua para su movilidad y metabolismo; mientras que niveles de humedad muy altos pueden favorecer el crecimiento de

microorganismos indeseables. Por lo tanto, mantener un equilibrio entre materia seca y humedad contribuye a la eficacia del biofertilizante (García y Félix, 2015).

Finalmente, el contenido de carbono (22.18 %) y la relación C/N (11.92) indican una descomposición rápida de la materia orgánica, lo que permite una liberación más ágil de los nutrientes disponibles para las plántulas. Una relación C/N en el rango 10-14 es ideal para promover la mineralización y evitar la inmovilización del nitrógeno (Gamarra et al., 2018).

El conjunto, la composición fisicoquímica del biofertilizante empleado fueron idóneas como insumo agrícola sostenible para mejorar las condiciones del sustrato y potenciar el desarrollo y crecimiento de los plantones de cacao en vivero.

4.2. Concentración del biofertilizante para el adecuado crecimiento de plantones de cacao.

A continuación, se presentan los resultados de las variables de crecimiento de los plantones de cacao, que comprenden la altura del plantón, área foliar, longitud de la raíz, diámetro del tallo y número de hojas, tanto por cada uno de los diferentes tratamientos con biofertilizante y sin este, como por cada día de evaluación, la misma que se realizó en distintos momentos posteriores a cada aplicación.

4.2.1. Altura del plantón

El análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en la altura de los plantones de cacao entre al menos un par de tratamientos con biofertilizante ($P < 0.05$). Esto indica que la concentración de biofertilizante tuvo un efecto significativo en la altura de los plantones de cacao.

La prueba de Tukey, con un nivel de confianza al 95%, reveló diferencia significativa en la altura de los plantones entre el tratamiento control (T0, sin biofertilizante) y los tres tratamientos con aplicación de biofertilizante T1 (17,5 mL/L), T2 (25 mL/L) y T3 (37,5 mL/L), así como entre el tratamiento T1 y los tratamientos T2 y T3, tal como se presenta en la tabla 4.

Estos resultados se reflejan en el gráfico de medias (figura 2), donde se observa que los tratamientos con biofertilizante generaron un incremento en la altura de los plántones de cacao en comparación con el tratamiento control. En particular, el tratamiento T2 mostró la mayor altura promedio de los plántones (21,05 cm).

El bajo C.V. de 5,03 % indica una alta precisión en los datos, reforzando la confiabilidad de los resultados y evidenciando que el biofertilizante influyó positivamente en el crecimiento en altura de los plántones.

Tabla 4. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en la altura de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Tratamientos	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Concentración de biofertilizante	T2	21,05	80	0,11	A
	T3	20,96	80	0,11	A
	T1	18,45	80	0,11	B
	T0	16,65	80	0,11	C
				C.V. = 5.03	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

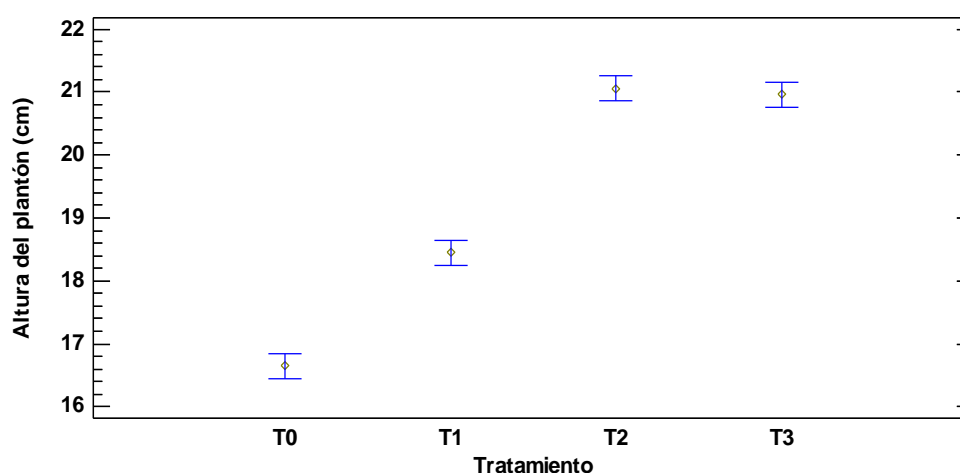


Figura 2. Efecto de la concentración de biofertilizante en la altura del plánton de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Asimismo, el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en la altura de los plántones de cacao entre al menos un par de los días de evaluación tras cada aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos ($P < 0.05$). Esto indica que el tiempo tuvo un efecto significativo en la altura de los plántones de cacao.

La prueba de Tukey reveló diferencia estadísticamente significativa en la altura de los plántones entre todos los cuatro días de evaluación, tal como se presenta en la tabla 5. Esto se confirma en la figura 3, donde se observa que en el día 60, correspondiente al cuarto día de evaluación después de la cuarta aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos, se alcanzó la mayor altura promedio de los plántones de cacao (26,66 cm).

Tabla 5. Test Tukey ($\alpha=0.05$), para el factor día de evaluación en la altura de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Día	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Día de evaluación	Día 60	26,66	80	0,11	A
	Día 45	24,41	80	0,11	B
	Día 30	20,07	80	0,11	C
	Día 15	5,98	80	0,11	D
C.V. = 4.94					Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

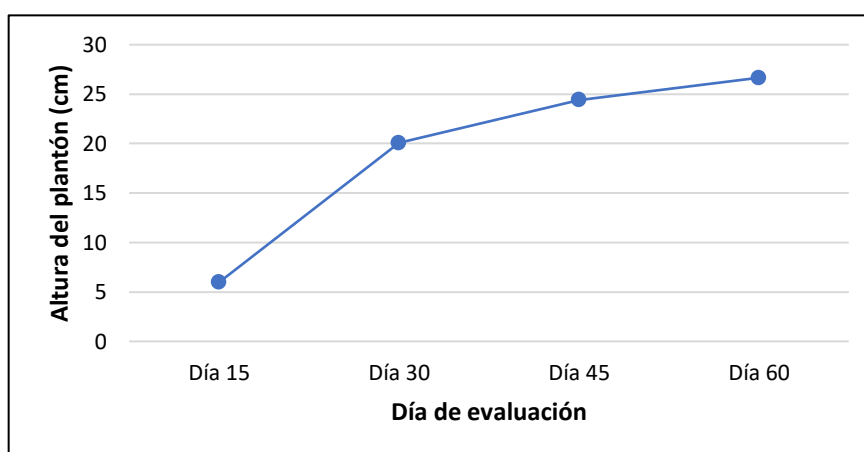


Figura 3. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en la altura de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Chevez et al. (2023) evaluaron biofertilizantes en cacao injertado en vivero en Ecuador, usando dosis de 10, 15 y 25 ml/l a los 30, 60 y 90 días post-injerto. La dosis de 15 mL/L generó alturas promedio de 10.12 cm, inferiores a las de este estudio, mientras que la de 150 ml fue la más efectiva en crecimiento general. En el mismo país, Cargua et al. (2020) aplicaron 5 ml/l de biofertilizante a plantones de cacao en sustrato con tierra, arena y compost. El tratamiento con biofertilizante promovió un buen desarrollo, alcanzando una altura de 30.71 cm frente al tratamiento control (12.93 cm). Arreaga (2022) comparó biofertilizantes de broza de café (T2) y bovino (T1). Ambos mejoraron significativamente la altura del plantón respecto al control, alcanzando 27.80 cm (T2, 4 L/ha) y 32.46 cm (T1, 5 L/ha).

En el presente estudio, tratamiento con 25 mL/L resultó en mayores valores de altura de la planta, seguido por el tratamiento 3 (37,5 mL/L), que presentó valores muy cercanos, ambos en el día 60. Esto puede deberse a la contribución de nutrientes como boro, manganeso y nitrógeno por la presencia balanceada de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que promueven el crecimiento del sistema radicular y la extensión celular. Además, la materia orgánica y el carbono presentes en el biofertilizante fomentaron la actividad de los microorganismos, lo que optimiza la estructura del sustrato y la disponibilidad de nutrientes (dos Santos et al., 2024).

4.2.2. Área foliar

El análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, indicó la existencia de diferencia estadísticamente significativa en el área foliar de los plantones de cacao entre al menos un par de los tratamientos aplicados con biofertilizante ($P < 0,05$). Esto indica que la concentración de biofertilizante tuvo un efecto significativo en el área de todas las hojas de los plantones de cacao.

La prueba de Tukey mostró diferencia estadísticamente significativa en el área foliar de los plantones entre el tratamiento control T0 y los tratamientos T1 (17,5 mL/L), T2 (25 mL/L) y T3 (37,5 mL/L), así como entre el tratamiento T1 y los tratamientos T2 y T3 respecto, como se presenta en la tabla 6. La figura 4 reafirma estos

resultados al mostrar que el área foliar de los plántones de cacao a los que se les aplicó tratamientos con biofertilizante fue mayor en comparación con el tratamiento control, destacando el tratamiento T2 con la mayor área foliar promedio de los plántones de cacao (1,89 cm²).

El C.V. de 17,19 % indica una variabilidad moderada, aceptable para experimentos de naturaleza biológica, lo cual respalda que el biofertilizante tuvo un efecto positivo y consistente sobre el desarrollo foliar de los plántones.

Tabla 6. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el área foliar de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Tratamientos	Promedio (cm ²)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Concentración de biofertilizante	T2	1,89	80	0,08	A
	T3	1,88	80	0,08	A
	T1	1,44	80	0,08	B
	T0	1,12	80	0,08	C
				C.V. = 17,19	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

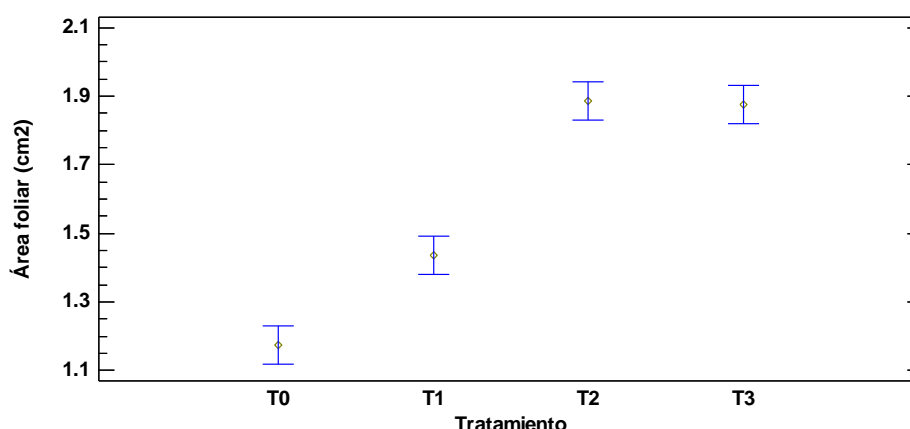


Figura 4. Efecto de la concentración de biofertilizante en el área foliar de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Similarmente, López (2021) también reportó que las mayores concentraciones de dos biofertilizantes resultaron en los valores más altos de área foliar en plántulas de cacao.

Asimismo, el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en el área foliar de los plantones de cacao entre al menos un par de los días de evaluación tras cada aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos ($P < 0,05$). Esto indica que el tiempo tuvo un efecto significativo en el área de todas las hojas de los plantones de cacao.

La prueba de Tukey reveló diferencia estadísticamente significativa en el área foliar en los plantones entre todos los días de evaluación, como se presenta en la tabla 7. Esto se reafirma en la figura 5, que, además, evidencia que en el día 60 se alcanzó la mayor área foliar promedio de los plantones de cacao (3,16 cm²).

Tabla 7. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el área foliar de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Días	Promedio (cm ²)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Día de evaluación	Día 60	3,16	80	0.03	A
	Día 45	1,74	80	0.03	B
	Día 30	1,26	80	0.03	C
	Día 15	0,22	80	0.03	D
C.V. = 17,19					Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

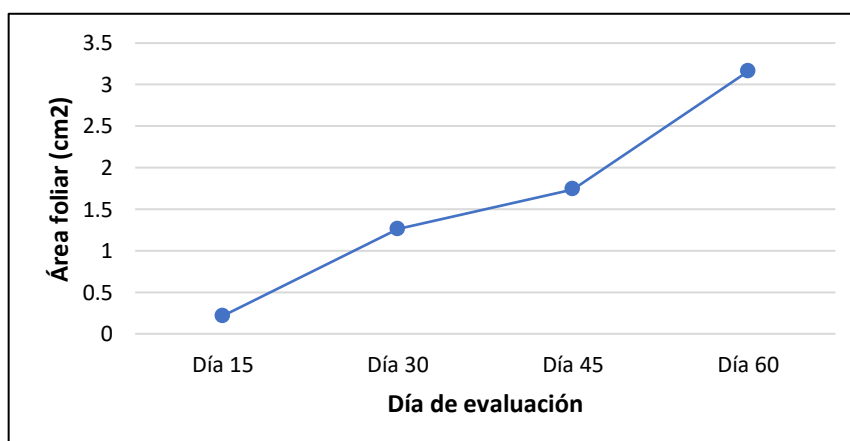


Figura 5. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el área foliar de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Estos resultados sugieren un mejor estado nutricional de las plantas tras la aplicación del biofertilizante, lo que se traduce en un mayor desarrollo foliar. Nutrientes como fósforo, magnesio y potasio presentes en el biofertilizante favorecen la formación de tejidos foliares, la fotosíntesis y el transporte de fotoasimilados, mientras que la materia orgánica mejora la retención de agua y la turgencia celular, lo que también favorece la expansión foliar (dos Santos et al., 2024).

4.2.3. Longitud de la raíz

El análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa entre al menos un par de los tratamientos aplicados con biofertilizante ($P < 0.05$) en relación a la longitud de la raíz de los plantones de cacao. Esto indica que la concentración de biofertilizante tuvo un efecto significativo en la longitud de la raíz de los plantones de cacao.

La prueba de Tukey reveló diferencia estadísticamente significativa en la longitud de la raíz en los plantones de cacao entre el tratamiento control (T0) y los tres tratamientos con biofertilizante T1 (17,5 mL/L), T2 (25 mL/L) y T3 (37,5 mL/L), así como entre el tratamiento T1 y los tratamientos T2 y T3, como se presenta en la tabla 8. Estos resultados se reflejan también en la figura 6, donde se observa que los tratamientos con biofertilizante también aumentaron la longitud de la raíz de los plantones de cacao respecto al tratamiento control. En particular, el tratamiento T2 resultó en la mayor longitud promedio (20,10 cm).

El C.V. de 4,96 % indica una baja dispersión de los datos, y respalda la alta confiabilidad de estos, y por ende, el impacto positivo del biofertilizante en crecimiento radicular de los plantones.

Tabla 8. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Tratamientos	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Concentración de biofertilizante	T2	20,10	80	0,10	A
	T3	19,99	80	0,10	A
	T1	17,74	80	0,10	B
	T0	15,72	80	0,10	C
				C.V. = 4,96	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

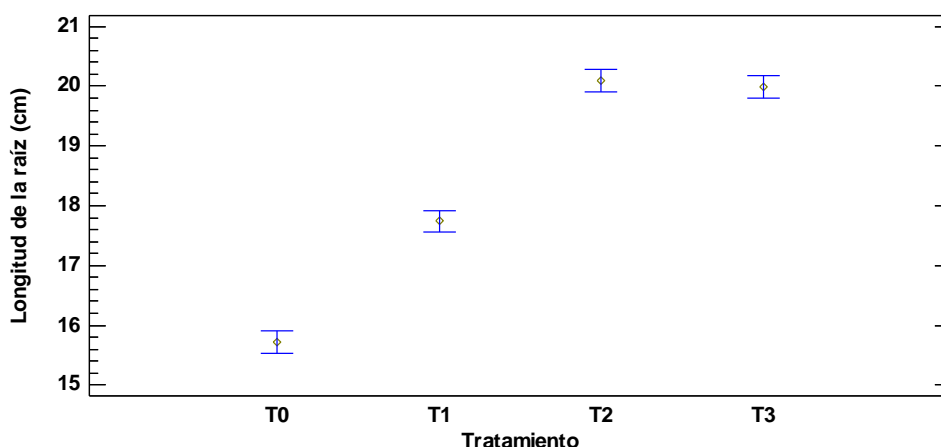


Figura 6. Efecto de la concentración de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Asimismo, el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en la longitud de la raíz de los plántones de cacao entre al menos un par de los días de evaluación tras cada aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos ($P < 0,05$). Esto indica que el tiempo tuvo un efecto significativo en la longitud radicular de los plántones de cacao.

Adicionalmente, la prueba de Tukey mostró que existió diferencia estadísticamente significativa entre todos los días de análisis respecto a la longitud de la raíz en los

plantones, como se presenta en la tabla 9. La figura 7 corrobora estas diferencias, y, además, muestra que en el día 60 se alcanzó la mayor longitud de raíz promedio de los plantones de cacao (25,99 cm)

Tabla 9. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en la longitud de la raíz de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Días	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Día de evaluación	Día 60	25,99	80	0,10	A
	Día 45	23,05	80	0,10	B
	Día 30	19,20	80	0,10	C
	Día 15	5,30	80	0,10	D
				C.V. = 5,01	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

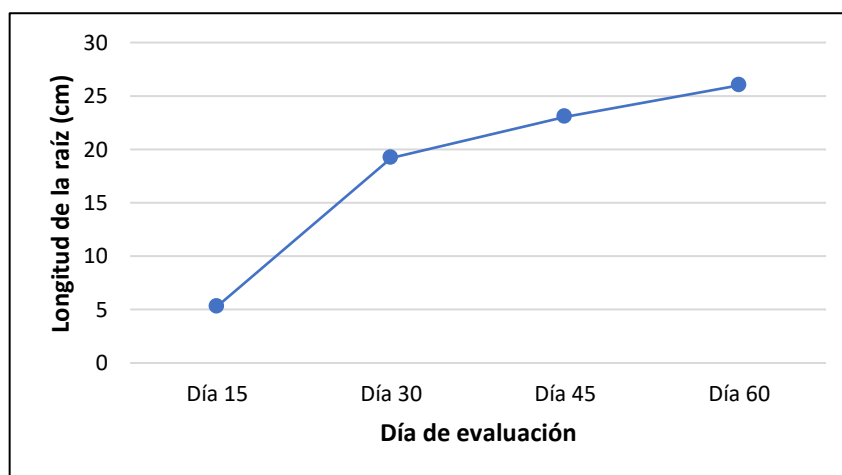


Figura 7. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en la longitud de la raíz de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

En contraste a estos resultados, Cargua et al. (2020) informaron que la longitud de la raíz de los plantones evaluados alcanzó un valor de 33,71 cm respecto a la muestra control que alcanzó una longitud de 13,24 cm, valores mayores a los obtenidos. Por su parte, Arreaga (2022) informó longitud de raíz de 16,41 cm con 5L/ha de biofertilizante y 14,92 cm con 4L/ha, valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio.

El aumento en la longitud de la raíz con biofertilizante indica mayor exploración del sustrato rico en fósforo y calcio, que favorece el desarrollo y fortalecimiento radicular. Asimismo, la materia orgánica mejora la estructura del suelo, aireación y humedad, mientras que la relación C/N asegura nitrógeno, que es esencial para el crecimiento celular de la raíz (de Santos et al., 2024).

4.2.4. Diámetro de los plantones

El análisis de varianza, con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en el diámetro del tallo de los plantones de cacao entre al menos un par de tratamientos aplicados con biofertilizante ($P < 0.05$). Esto indica que la concentración de biofertilizante tuvo un efecto significativo en el diámetro de los plantones de cacao.

La prueba de Tukey reveló diferencia estadísticamente significativa en el diámetro del tallo de los plantones entre el tratamiento control T0 y los tratamientos T1 (17,5 mL/L), T2 (25 mL/L) y T3 (37,5 mL/L), así como entre el tratamiento T1 y los tratamientos T2 y T3, como se presenta en la tabla 10. Estos resultados se reflejan en la figura 8, donde también se evidencia que el diámetro de los plantones aumentó con los tratamientos con biofertilizante en comparación al control, resaltando el tratamiento T2 con el mayor diámetro de tallo promedio (1,14 cm).

El C.V. de 15,42 % representa una variabilidad moderada, pero dentro del rango aceptable para estudios de este tipo, brindando solidez a la influencia positiva del biofertilizante en un desarrollo más robusto del tallo.

Tabla 10. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el diámetro de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Tratamientos	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Concentración de biofertilizante	T2	1,14	80	0,02	A
	T3	1,11	80	0,02	A
	T1	0,83	80	0,02	B
	T0	0,60	80	0,02	C
				C.V. = 15,42	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

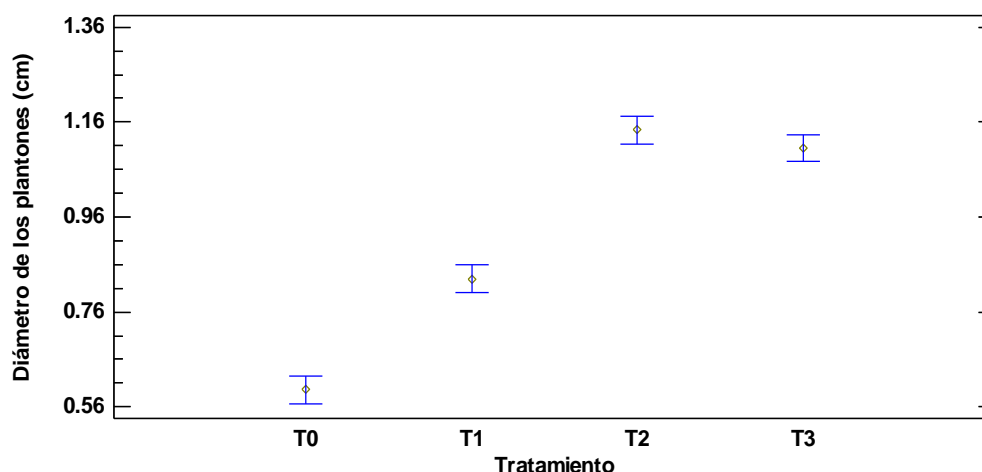


Figura 8. Efecto de la concentración de biofertilizante en el diámetro de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Del mismo modo, el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en el diámetro de los plántones de cacao entre al menos un par de los días de evaluación tras cada aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos ($P < 0,05$). Esto indica que el tiempo tuvo un efecto significativo en el diámetro de los plántones de cacao.

La prueba de Tukey mostró que existe diferencia estadísticamente significativa entre todos los días evaluados en relación al diámetro de los plántones, como se presenta en la tabla 11. Esto se reafirma también en la figura 9, además, que muestra que el día 60 resultó en el mayor diámetro promedio de los plántones de cacao (1,75 cm).

Tabla 11. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el diámetro de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Días	Promedio (cm)	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Día de evaluación	Día 60	1,75	80	0,02	A
	Día 45	0,96	80	0,02	B
	Día 30	0,58	80	0,02	C
	Día 15	0,38	80	0,02	D

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

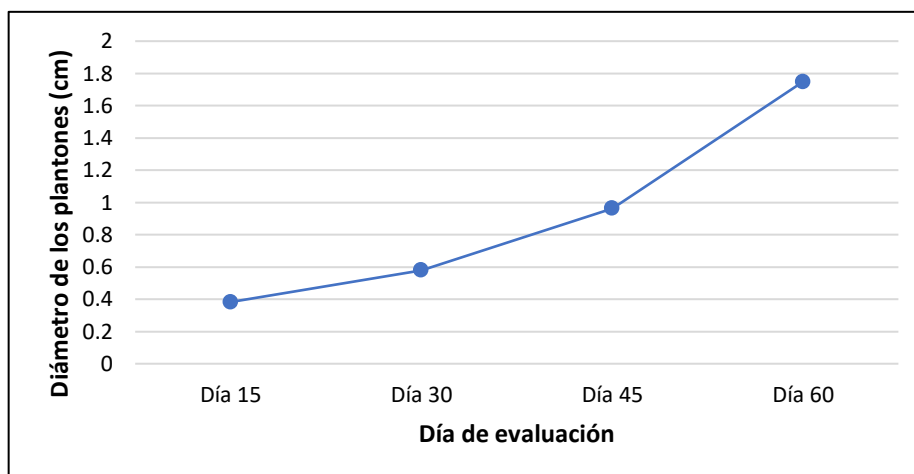


Figura 9. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el diámetro de los plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Estos resultados fueron superiores a los reportados por Chevez et al. (2023), quienes encontraron que la dosis de 15 ml/l de biofertilizante brindó uno de los mayores valores promedio de diámetro de tallo (0.99 cm). Por su parte, Cargua et al. (2020) revelaron que el biofertilizante empleado logró un aumento del diámetro del tallo hasta 0.836 cm; mientras que, Arreaga (2022) reportó que el diámetro del tallo presentó valores promedio de 0.497 cm y 0.421 cm con 5L de biol de bovino y 4L biol de broza de café, revelando también diferencias estadísticas entre los tratamientos.

El mayor diámetro del tallo con biofertilizante se debe al aporte de los nutrientes esenciales calcio, potasio y fósforo, que fortalecen los tejidos estructurales. El calcio aporta rigidez celular, el potasio regula la presión osmótica y la materia orgánica mejora las propiedades físicas del sustrato, propiciando la acción conjunta de nutrientes y mejoradores del suelo y favoreciendo un crecimiento más sólido y robusto del plánton (de Santos et al., 2024).

4.2.4. Número de hojas

El análisis de varianza, con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas en los plantones de cacao entre al menos un par de tratamientos aplicados con biofertilizante ($P < 0.05$). Esto indica que la concentración de biofertilizante tuvo un efecto significativo en cantidad de hojas en los plantones de cacao.

La prueba de Tukey reveló diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas en los plantones entre el tratamiento control T0 y los tres tratamientos con aplicación de biofertilizante T1 (17,5 mL/L), T2 (25 mL/L) y T3 (37,5 mL/L), así como entre el tratamiento T1 y los tratamientos T2 y T3. Estos resultados se reafirman en la figura 10, que, además, muestra que los tratamientos con biofertilizante incrementaron el número de hojas de los plantones de cacao en comparación con el tratamiento control, resaltando el tratamiento T2 y T3 con el mayor número de hojas promedio (5).

El C.V. de 14,48 % respalda la validez de los datos obtenidos, pese a una leve dispersión, propia de estudios con material biológico. Esto valida el hecho que la aplicación del biofertilizante estimuló una mayor producción foliar en los plantones.

Tabla 12. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor concentración de biofertilizante en el número de hojas de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor	Tratamientos	Promedio	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Concentración de biofertilizante	T2	5	80	0,08	A
	T3	5	80	0,08	A
	T1	4	80	0,08	B
	T0	4	80	0,08	B
				C.V. = 14,48	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

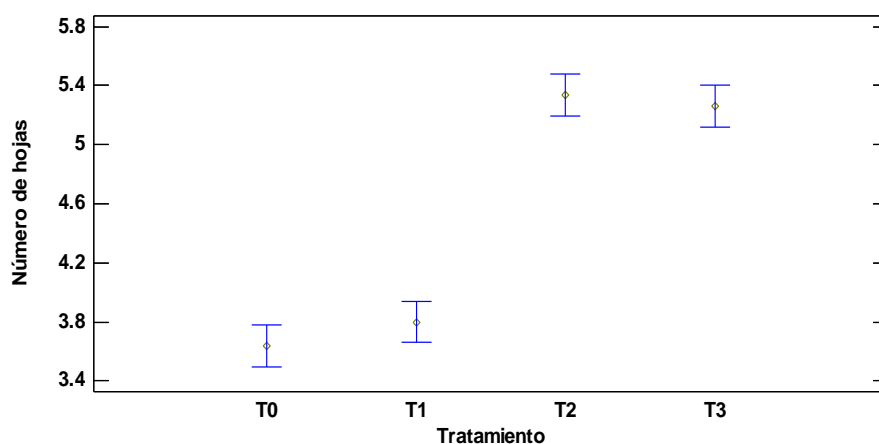


Figura 10. Efecto de la concentración de biofertilizante en el número de hojas de los plántones de cacao (*Theobroma cacao L.*)

Asimismo, el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, mostró diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas de los plántones de cacao entre al menos un par de los días de evaluación tras cada aplicación de biofertilizante en todos los tratamientos ($P < 0.05$). Esto indica que el tiempo tuvo un efecto significativo en la cantidad de hojas los plántones de cacao.

La prueba de Tukey mostró que existió diferencia estadísticamente significativa al en el número de hojas en los plántones entre todos los días evaluados, como se presenta en la tabla 13. Esto también se corrobora en la figura 11, donde, además, se observa que en el día 60 se consiguió el mayor número de hojas en los plántones de cacao (8).

Tabla 13. Test Tukey ($\alpha = 0.05$), para el factor día de evaluación en el número de hojas de los plántones de cacao (*Theobroma cacao L.*)

Factor	Días	Promedio	N	E.E.	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Día de evaluación	Día 60	8	80	0,08	A
	Día 45	5	80	0,08	B
	Día 30	3	80	0,08	C
	Día 15	2	80	0,08	D
				C.V. = 15,27	Sign.*

Nota. E.E.: Error estándar, C.V.: Coeficiente de variación.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

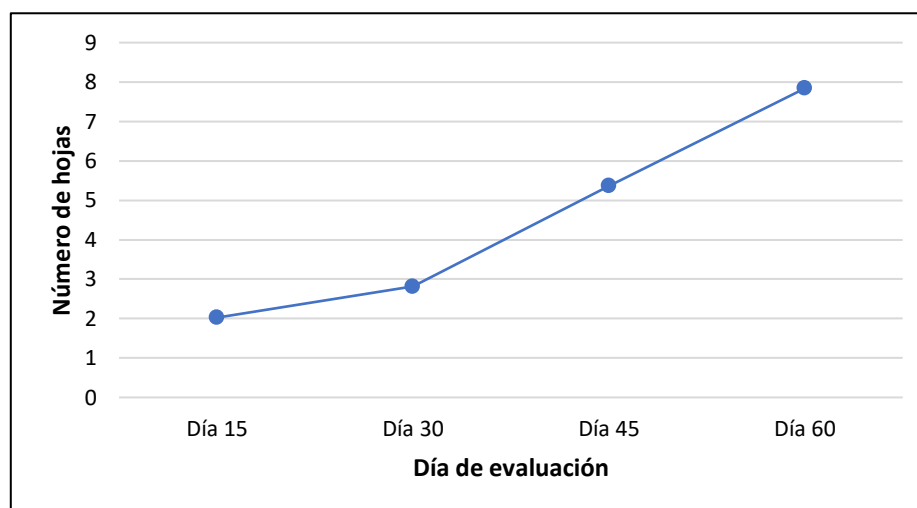


Figura 11. Efecto de los días de evaluación tras la aplicación de biofertilizante en el número de hojas de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Por su lado, Chevez et al. (2023) reportaron que la dosis de biofertilizante de 15 mL/L produjo el mayor promedio de número de hojas (3). Mientras que, Arreaga (2022) mostró que los biofertilizantes alcanzaron un promedio de 11 y 12 hojas con 4 L/ha y 5 L/ha, respectivamente.

Esto se debe al enriquecimiento con nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo por parte del biofertilizante, los cuales promueven la brotación y el crecimiento de las hojas. El nitrógeno, vital para la creación de proteínas, fomenta la formación de nuevos tejidos foliares, mientras que una relación correcta C/N garantiza un abastecimiento de nutrientes y un desarrollo sostenido.

En ese sentido, los resultados obtenidos tras la aplicación del biofertilizante sugieren que su uso contribuyó significativamente en el crecimiento de los plantones. En particular, el tratamiento 2 con biofertilizante (0.50 ml/l) mostró los valores más altos en las distintas variables de crecimiento al día 60, tras la cuarta aplicación del producto, seguido por el día 45. Es importante destacar que el tratamiento con mayor dosis de producto, el tratamiento 3 (0.75 ml/l) presentó promedios ligeramente menores, pero sin diferencias estadísticas significativas con

el tratamiento 2. Los valores del C.V. obtenidos en las diferentes variables de crecimiento evaluadas en los plántones de cacao se mantuvieron dentro de rangos bajos a moderados, lo que indica una adecuada homogeneidad y precisión en los datos experimentales. Esta consistencia estadística respalda la validez de los efectos observados por la aplicación de los tratamientos con biofertilizante y permite afirmar con mayor confianza que las diferencias encontradas en altura, área foliar, longitud de raíz, diámetro y número de hojas se deben al efecto real del biofertilizante, y no al azar ni a errores de medición.

Estos resultados confirman la efectividad del biofertilizante en el desarrollo de los plántones de cacao en la comunidad nativa de Zungaroyali, Pasco, utilizando como suelo agrícola exclusivamente de la capa superficial del terreno, y sin el manejo tradicional sofisticado que suele realizarse previamente a un vivero.

Asimismo, cabe resaltar que, el suelo utilizado como sustrato en los viveros de plántones de cacao presentaba una textura franco arcillosa, un pH moderadamente ácido (5.62) y un bajo contenido de materia orgánica (1.25%), nitrógeno (0.06%), fósforo (6.91 ppm), calcio (6.83 meq/100g), magnesio (0.82 meq/100g) y potasio (0.12 meq/100g). En contraste, el nivel de sodio se mantuvo normal (0.02 meq/100g). Estas propiedades del terreno pueden restringir el óptimo desarrollo de los plántones de cacao. No obstante, la utilización de biofertilizante se evidenció como una táctica eficaz para optimizar estas condiciones y fomentar un crecimiento sano de las plantas.

Los sustratos enriquecidos con biofertilizantes optimizan las condiciones de crecimiento de las plántulas, ya que aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo que impulsa su crecimiento foliar y radicular, y consecuentemente, la actividad fotosintética, de acuerdo con Cargua et al. (2020). Los principales mecanismos que utilizan los microorganismos para ejercer su efecto biofertilizante son la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y potasio, la producción de sideróforos, la producción de reguladores e inductores del crecimiento, el cambio en la morfología de las raíces y la estimulación de simbiosis beneficiosas para las plantas (León et al., 2021).

El uso de biofertilizantes presenta diversas ventajas, tales como su producción con materiales accesibles en la comunidad, siendo sencilla su elaboración y apta para diferentes tipos de envases. Además, ayudan a potenciar la vitalidad del cultivo, incrementando su capacidad de resistir plagas, enfermedades y condiciones meteorológicas desfavorables. Los biofertilizantes no solo facilitan y aumentan la disponibilidad de nutrientes, estimulando un crecimiento vigoroso en las plantas, sino que también generan compuestos bioactivos que inhiben a los patógenos del suelo y de las plantas (López, 2021; Díaz et al., 2024; León et al., 2021). Asimismo, la utilización de fertilizantes biológicos representa una alternativa para limitar el uso de abonos químicos, reduciendo el impacto ambiental y socioeconómico negativo que estos producen, contribuyendo a la sostenibilidad (Arreaga, 2022).

4.3. Período de crecimiento de los plántones de cacao aptos para el trasplante, según la concentración del biofertilizante

El trasplante de cacao a campo definitivo es una etapa crucial en el cultivo de esta planta, y aunque no existe un reglamento universal, existen buenas prácticas agronómicas y recomendaciones que pueden ser adoptadas para tal fin. Estas señalan que el tamaño adecuado para el trasplante de cacao a campo definitivo puede variar dependiendo de varios factores, como la variedad de cacao, las condiciones de crecimiento y el manejo agronómico. Sin embargo, en general, se recomienda que las plántulas de cacao tengan entre 25 y 30 cm de altura y que tengan al menos 4 a 6 hojas verdaderas antes de ser trasplantadas.

De acuerdo con los parámetros establecidos y los resultados obtenidos, se observa que los plántones tratados con el tratamiento 1 de biofertilizante fueron aptos para el trasplante a partir del día 45, al alcanzar una altura promedio de 23.69 cm y un número promedio de 7 hojas. En el caso del tratamiento 2, los plántones también fueron aptos desde el día 45, mostrando un desarrollo más acelerado, con una altura promedio de 26.64 cm y 7 hojas. De manera similar, los plántones con tratamiento 3 presentaron condiciones adecuadas para el trasplante en el mismo período, con valores similares a los del tratamiento 2 en ambas variables de crecimiento (26.59 cm y 7 hojas) (ver anexo 1 y anexo 5). En ese sentido, a partir del día 45, los plántones sometidos a los tratamientos 2 y 3 mostraron mejores condiciones de crecimiento, que los hizo aptos para su traslado al campo definitivo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo específico 1, se concluye que el biofertilizante presentó una acidez moderada, alta concentración de sales solubles, alto contenido de materia orgánica, nutrientes esenciales (N, P, K y Ca) y trazas de micronutrientes (Mg, S, Cu, Zn, Mn, B, Si), además de un alto contenido de materia seca, humedad y contenido de carbono.

Con respecto al objetivo específico 2, se concluye que el tratamiento 2 (25 mL/L) mostró los mayores valores de los indicadores de crecimiento en los plantones, seguido por el tratamiento 3 (37,5 mL/L), con el que no presentó diferencia estadísticamente significativa.

Con respecto al objetivo específico 3, se concluye que a partir del día 45, los plantones sometidos a los tratamientos 2 y 3 se encontraban en mejores condiciones de crecimiento para ser trasladados al campo definitivo.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Investigar la composición y microbiota del suelo de cultivo de la comunidad nativa de Zungaroyali, Pasco, para comprender mejor su interacción con el biofertilizante.

Evaluar el impacto del biofertilizante en la capacidad de resistencia de los plántones de cacao frente a condiciones climatológicas adversas y plagas, en la comunidad nativa de Zungaroyali, Pasco.

Diseñar experimentos que comparen los resultados obtenidos en el presente con el efecto del biofertilizante en el crecimiento de los plántones de cacao con manejo tradicional del vivero, en la comunidad nativa de Zungaroyali, Pasco.

Examinar la viabilidad económica del empleo del biofertilizante y su mejora en la productividad del cacao en la comunidad nativa de Zungaroyali, Pasco.

Evaluar el efecto del biofertilizante en otros cultivos clave de la comunidad, como plátano y yuca, para determinar su potencial beneficio en la producción agrícola de la zona.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, T. (2022). *Producción de biogás y biol a partir de los residuos de la pulpa de café mediante un biodigestor artesanal en el distrito de Milpuc, provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas* [Tesis de titulación, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11551>
- Alava, D. y Farinango, L. (2023). *Respuesta agronómica del cultivo de cacao (Theobroma cacao) a la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en el sector los laureles del cantón La Maná*. [Tesis de Titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10106>
- Alvarado, W. y Medal, R. (2018). Efecto del Biol como fertilizante orgánico en tres cultivares de *Pennisetum purpureum* Juigalpa, Chontales, Nicaragua, 2015-2016 [Tesis de pregrado]. <https://repositorio.una.edu.ni/3783/1/tnf04a472e.pdf>
- Arias, E. y Yauri, C. (2021). *Obtención de biosol y biol, a partir de la cáscara del cacao (theobroma cacao l.), utilizando microorganismos eficientes. Provincia de Padre Abad-Ucayali* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/5129>
- Arreaga, A. (2022). *Efecto de la aplicación de dos biofertilizantes en plántulas de viveros de cacao (Theobroma cacao L.) en el sector de Naranjal* [Tesis de licenciatura, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARREAGA%20CHOEZ%20ADRIAN%20ALEXANDER.pdf>
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes IFA/FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. <https://www.fertilizer.org/?s=los+fertilizantes+y+su+uso>

- Barros A., Borja, R., Coronel, K., Merino, E., Oñate, D., Pillapa, Y., Proaño, N. y Torres, W. (2020). *Producción de fertilizantes orgánicos tipo compost, biol y abono líquido, para huertos caseros* [Tesis de titulación, Universidad de Abanto].
- Cargua, J.; Echeverría, C. y Cedeño, G. (2020). Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao. *Espamciencia*, 11(2), 95-100. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.224
- Centro Peruano de Estudios Sociales- CEFES. (2022). La larga espera por la compra de fertilizantes para la nueva campaña agrícola. [Línea]. <https://cepes.org.pe/2022/07/25/la-larga-espera-por-la-compra-de-fertilizantes-para-la-nueva-campana-agricola/>
- Chaparro, E., Vera, M., Herrera, F. y Barahona, J. (2020). Utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos. *Sincretismo - Revista de Divulgación Científica*, 1(1). <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/download/15/13>
- Chevez, M.; Zambrano, L., Chevez, J., y Inga, J. (2024). Biofertilización para la producción de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) injerto CCN51, para la elaboración de chocolate. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(22), 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12787083>
- Cornejo, A. (2021). *Evaluación de una fórmula de Biol en la producción de cacao (Theobroma cacao L) trabajo experimental* [Tesis de titulación, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CORNEJO%20VERA%20ADONIS%20ABEL.pdf>
- Díaz, A., Pinzón, M., y Cárdenas, C. (2024). Potencial nutricional de un biofertilizante a base de equinaza en el crecimiento de dos solanáceas agroalimentarias. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 33-57. <https://doi.org/10.22490/21456453.7268>

- dos Santos, Z., Gross, E., de Souza, J., Martins, M., Mendes, D., Figueiredo, J., Alves, R., Ribeiro, R., Cruz, C., Fagundes, M., y Ramos, A. (2024). Use of biofertilizers in cocoa (*Theobroma cacao*): a review. *Contribuciones a las ciencias sociales*, 17(2). <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-132>
- Escalante, J. (2023). *El uso de abonos orgánicos líquidos tipo biol y su efecto sobre los parámetros productivos en el cultivo de frejol* [Tesis de titulación, Universidad de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37799>
- Ferrua, H. (2023). *Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre - Huanta - Ayacucho* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6002>
- Flores, J. y Tapullima, W. (2022). *Aplicación de biol orgánico, humus y fertilizantes químicos en las características biométricas del (*Lactuca Sativa L.*), Provincia de Lamas* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103602>
- Food and Agriculture Organization- FAO. (2023). *Los suelos necesitan nutrirse: plantas, microorganismos, agua, aire y abonos*. [https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S05.htm#:~:text=Hay%20los%20macro%20nutrientes%20\(nitr%C3%B3geno,tambi%C3%A9n%20indispensables%20para%20las%20plantas.](https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S05.htm#:~:text=Hay%20los%20macro%20nutrientes%20(nitr%C3%B3geno,tambi%C3%A9n%20indispensables%20para%20las%20plantas.)
- Gamarra, C., Díaz, M., Vera, M., Galeano, M., y Cabrera, A. (2018). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García, A. Pico, B., y Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- García, C. y Félix, J. (2015). Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales. CIA Orgánico.

https://www.ciaorganico.net/documypublic/271_Manual_para_la_produccion_de_abonos_organicos_y_biorracionales.pdf

García, M., Santillán, I., Holguín, R., y Sariñana, O. (2022). Impacto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en la biomasa, pigmentos fotosintéticos y compuestos nitrogenados en lechuga. *Biotecnia*, 24(3), 115-122. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1687>

Gonzales (2018). *Efecto de dos abonos orgánicos en el crecimiento de plantones de cacao (Theobroma cacao L.) De los clones CCN- 51 e IMC-67 en vivero* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1573>

Guzmán, D., y Montero, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>

Instituto Peruano de Economía – IPE. (2022). IPE: Importación de urea cayó 84% en el primer trimestre del año impactando a la agricultura. *Diario El Comercio* [Línea]. <https://elcomercio.pe/economia/escasez-de-fertilizantes-ipe-importacion-de-urea-cayo-84-en-el-primer-trimestre-del-ano-impactando-a-la-agricultura-agro-produccion-agricola-noticia/#:~:text=Impacto%20de%20la%20invasi%C3%B3n,toneladas%20frente%20al%20a%C3%B1o%20anterior.>

Kouakou, M., Kouamé, N., Kouassi, I., Koffi, K., Kouamé, K., Zoro, A., y Dogbo, O. (2020). Comparative Effects of Organic Cocoa Shell-Based and Inorganic NPK Fertilization on the Growth and Yield of Four Cassava Varieties. *Journal of Soil Science*, 10(6). <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=100729>

León, D., Alarcón, É., y Gómez, M. (2021). *El mercado de los biofertilizantes* [Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA]. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/37084>

- López, J. (2021). *Efecto de bioles en el crecimiento de plántones de cacao (Theobroma cacao L.) en vivero* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1929>
- Lucano, D. (2021). *Eficiencia de un biol elaborado a partir de residuos de cosecha en la producción del cacao (Theobroma cacao L.), clon TSH 565 en una plantación orgánica agroforestal* [Tesis de titulación, Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tl.2021.2055>
- Luna, Y. (2023). *Efecto del biol y biosol elaborado con cáscara de cacao (theobroma cacao l.) en un suelo degradado por cultivo de coca Magda(erythroxylum coca) en el caserío de la granja, centro poblado de Cachicoto, distrito de Monzón, Huánuco* [Tesis de titulación, Universidad de Huancayo]. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4715>
- Macias, D. (2022). *Los micronutrientes y su importancia en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)* [Tesis de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11363>
- Mamani, A. (2023). Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática. *Revista Acciones Médicas*, 2(4), 43-55. <https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.04.004>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI. (2022). Boletín trimestral de producción de cacao. Observatorio COMMODITIES. https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1363/1/Commodities%20Cacao_%20abr-jun%202022.pdf
- Montaño, F. y Jara, M. (2022). Escasez y alza global de precios en fertilizantes afecta producción de alimentos en Perú y Chile. *Ojo Público* [Línea]. <https://ojo-publico.com/latinoamerica/alza-del-precio-fertilizantes-afecta-la-agricultura-peru-y-chile#:~:text=Una%20%5Bbolsa%20de%5D%20urea%20que,alto%3A%20668'318.900%20d%C3%B3lares.>
- Moreira, A., Cedeño, A., Canchignia, F. & Garcés, F. (2021). *Lasiodiplodia theobromae (Pat.) Griffon & Maul [(sin.) Botryodiplodia theobromae Pat] en*

el cultivo de cacao: síntomas, ciclo biológico y estrategias de manejo. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 653-662. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.068>

Paz, F. (2020). Mejorarán producción de cacao en Pasco con guano de las islas y fertilizantes orgánicos. *Andina* [Internet]. <https://andina.pe/agencia/noticia-ministerio-cultura-presenta-semana-de-diversidad-cultural-y-ling%C3%83%C6%92%C3%82%C2%BCistica-556703.aspx/noticia-mejoraran-produccion-cacao-pasco-guano-las-islas-y-fertilizantes-organicos-914651.aspx>

Ramírez, L., Cabrera, F., Escobedo, M., Vásquez, C., y Torres, C. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>

Rodríguez, N., Chávez, B., Gómez, I., Vásquez, M., Estrada, P. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 7(25), 36–51. <http://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>

Román, A. (2020). Guía para elaborar el Biol. *Centro Bartolomé de las Casas*. <https://www.cbc.org.pe/wp-content/uploads/2020/07/Cartilla-Biol.pdf>

Rosas, G., Puentes, Y., y Menjivar, J. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>

Salas, R. (2022). *Efecto de las precipitaciones sobre los macronutrientes y acidez del suelo en el cultivo de cacao (Theobroma cacao) mediante sig.* [Tesis de titulación, Universidad Agraria del Ecuador]. <http://181.198.35.98/Archivos/SALAS%20PESANTES%20RONNIE%20RAINIERO.pdf>

Salazar, D. (2022). *Estudio de factibilidad para la producción de fertilizantes líquidos (biol) a partir de residuos orgánicos generados en el barrio Vista*

- Hermosa, Parroquia Amaguaña. [Tesis de Titulación, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22398>
- Santos (2023). *Efecto de dos abonos orgánicos (compost y biol) en plántones de cacao (Theobroma cacao L.), Cumba, Amazonas, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Amazónica]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1573>
- Sela, G. (2025). *La conductividad eléctrica del agua y suelo*. Cropaia. <https://croipaia.com/es/blog/conductividad-electrica-del-agua-y-suelo/>
- Siccha, H. (2021). *Elaboración de abono líquido a partir de residuos de mango por fermentación láctica, Tarapoto* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/21172>
- Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa- SINEACE. (2020). *Caracterización de la región de Pasco*. [https://repositorio.sineace.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12982/6235/Caracterizaci%C3%B3n%20Regional%20Pasco.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20rendimiento%20de%20cacao%20en,%2C9%20toneladas%20por%20hect%C3%A1rea\).](https://repositorio.sineace.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12982/6235/Caracterizaci%C3%B3n%20Regional%20Pasco.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20rendimiento%20de%20cacao%20en,%2C9%20toneladas%20por%20hect%C3%A1rea).)
- Suárez, G., Avendaño, C., Ruiz, P. y Estrada, P. (2019). Estructura e impacto de la diversidad taxonómica en cacao del Soconusco, Chiapas, México. *Agronomía Mesoamérica*, 30(2), 353-365. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34032>
- Tamayo, J., Michell, L. y Urrea, A. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K+) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de Theobroma cacao L. *Revista de la Facultad de Agronomía*; 121 (2). <https://doi.org/10.24215/16699513e094>
- Trindade, P., Sena, W., Sales, T., da Silva, A., Lélis, A., Cantuária, P., de Almeida, S. y Farias, A. (2024). Desenvolvimento de mudas de Theobroma cacao L. sob omissão de macro e micronutrientes. *Observatorio de la economía latinoamericana*, 22(1), 1276–1295. <https://doi.org/10.55905/oelv22n1-068>

Vázquez, K. (2021). *Generación de biogas y biol a partir de la co –digestión de aguas mieles procedentes del café y purín de porcino* [Tesis de titulación, Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tl.2022.2966>

Yenani, E., Santoso, H., Sutanto, A. y Muhfahroyin. (2021). Organic fertilizer of coffee peel with PUMAKKAL starter formula for sustainable plantation cultivation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1796/1/012038/pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Resultados promedio de altura del plantón (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación

Tratamiento	Bloque	Día de evaluación			
		Día 15	Día 30	Día 45	Día 60
T0	B1	5,09	18,16	21,10	22,24
	B2	5,08	18,16	21,10	22,25
	B3	5,09	18,18	21,12	22,25
	B4	5,09	18,18	21,11	22,26
		5,09	18,17	21,11	22,25
T1	B1	5,91	19,23	23,33	25,34
	B2	5,94	19,28	23,33	25,34
	B3	5,91	19,22	23,33	25,34
	B4	5,92	19,23	23,15	25,35
		5,92	19,24	23,29	25,34
T2	B1	2,08	21,45	26,66	29,66
	B2	6,46	21,46	26,64	29,65
	B3	6,46	21,46	26,62	29,65
	B4	6,46	21,46	26,65	29,65
		5,37	21,46	26,64	29,65
T3	B1	6,42	21,44	26,59	29,39
	B2	6,45	21,42	26,58	29,38
	B3	6,42	21,43	26,61	29,41
	B4	6,44	21,43	26,58	29,38
		6,43	21,43	26,59	29,39

Anexo 2. Resultados promedio de área foliar (cm²) por tratamiento, bloque y día de evaluación

Tratamiento	Bloque	Día de evaluación			
		Día 15	Día 30	Día 45	Día 60
T0	B1	0,18	0,90	1,46	2,10
	B2	0,18	1,00	1,50	2,10
	B3	0,19	0,90	1,46	2,08
	B4	0,18	1,00	1,50	2,10
		0,18	0,95	1,48	2,10
T1	B1	0,21	1,00	1,64	2,90
	B2	0,20	1,02	1,62	2,92
	B3	0,21	0,98	1,64	2,94
	B4	0,20	1,00	1,66	2,88
		0,21	1,00	1,64	2,91
T2	B1	0,23	1,56	1,93	3,80
	B2	0,24	1,52	1,93	3,82
	B3	0,23	1,6	1,93	3,82
	B4	0,24	1,56	1,93	3,84
		0,24	1,56	1,93	3,82
T3	B1	0,23	1,54	1,93	3,82
	B2	0,24	1,54	1,90	3,78
	B3	0,24	1,54	1,93	3,82
	B4	0,23	1,56	1,90	3,82
		0,24	1,55	1,92	3,81

Anexo 3. Resultados promedio de longitud de la raíz (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación

Tratamiento	Bloque	Día de evaluación			
		Día 15	Día 30	Día 45	Día 60
T0	B1	4,34	16,80	20,08	21,88
	B2	4,10	16,80	20,08	21,86
	B3	4,06	16,60	20,00	21,82
	B4	4,06	16,80	20,31	21,90
		4,14	16,75	20,12	21,87
T1	B1	5,33	18,80	21,92	25,12
	B2	5,24	18,84	21,92	25,12
	B3	4,94	19,22	21,86	24,76
	B4	5,33	18,40	22,14	24,81
		5,21	18,82	21,96	24,95
T2	B1	5,92	20,70	25,06	28,70
	B2	5,93	20,70	25,06	28,62
	B3	5,93	20,72	25,14	28,70
	B4	5,92	20,60	25,22	28,68
		5,93	20,68	25,12	28,68
T3	B1	5,91	20,50	24,98	28,52
	B2	5,92	20,64	24,98	28,40
	B3	5,92	20,74	25,06	28,32
	B4	5,92	20,22	25,00	28,74
		5,92	20,53	25,01	28,50

Anexo 4. Resultados promedio de diámetro de los plantones (cm) por tratamiento, bloque y día de evaluación

Tratamiento	Bloque	Día de evaluación			
		Día 15	Día 30	Día 45	Día 60
T0	B1	0,26	0,40	0,64	1,12
	B2	0,24	0,40	0,66	1,08
	B3	0,26	0,30	0,68	1,12
	B4	0,26	0,40	0,66	1,10
		0,26	0,38	0,66	1,11
T1	B1	0,34	0,50	0,84	1,64
	B2	0,36	0,46	0,86	1,66
	B3	0,36	0,44	0,88	1,64
	B4	0,36	0,50	0,84	1,66
		0,36	0,48	0,86	1,65
T2	B1	0,50	0,74	1,14	2,10
	B2	0,50	0,78	1,24	2,16
	B3	0,50	0,78	1,16	2,10
	B4	0,50	0,74	1,22	2,14
		0,50	0,76	1,19	2,13
T3	B1	0,42	0,72	1,10	2,10
	B2	0,42	0,78	1,18	2,14
	B3	0,40	0,76	1,16	2,10
	B4	0,44	0,72	1,16	2,08
		0,42	0,75	1,15	2,11

Anexo 5. Resultados promedio de número de hojas por tratamiento, bloque y día de evaluación

Tratamiento	Bloque	Día de evaluación			
		Día 15	Día 30	Día 45	Día 60
T0	B1	2	2	4	6
	B2	2	2	4	6
	B3	2	2	4	7
	B4	2	2	4	7
		2	2	4	7
T1	B1	2	2	4	6
	B2	2	3	4	7
	B3	2	2	4	6
	B4	2	2	4	7
		2	2	4	7
T2	B1	2	3	7	9
	B2	2	3	6	9
	B3	2	3	7	10
	B4	2	3	6	9
		2	3	7	9
T3	B1	2	3	6	9
	B2	2	3	7	9
	B3	2	3	6	9
	B4	2	3	7	10
		2	3	7	9