

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**APLICACIÓN DE UN BIOESTIMULANTE Y UN FERTILIZANTE PARA LA
OBTENCIÓN DE PLANTONES DE *Theobroma cacao* (CACAO) EN FASE DE
VIVERO EN TINGO MARÍA, HUÁNUCO**

Tesis

**Para optar el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
TONY GRANDEZ AGUILAR**

**Asesor:
GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP
JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO**

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 003-2025-FA-UNAS

BACHILLER : TONY GRANDEZ AGUILAR

TÍTULO : EFECTO DE UN BIOESTIMULANTE Y UN FERTILIZANTE PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTONES DE *Theobroma cacao* (CACAO) EN FASE DE VIVERO EN TINGO MARIA -HUANUCO"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Ing. M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS
VOCAL : Ing. M.Sc. GEIDER FALCON PAREDES
VOCAL : Ing. M.Sc. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES

ASESORES : Ing. M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 05/03/2025

HORA DE SUSTENTACIÓN : 10:00 A.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Sala de Audiovisuales de la F.A.

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 05 DE MARZO DEL 2025

M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS
PRESIDENTE

M.Sc. GEIDER FALCON PAREDES
VOCAL

M.Sc. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES
VOCAL

M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP
ASESOR



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 307 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
APLICACIÓN DE UN BIOESTIMULANTE Y UN FERTILIZANTE PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTONES DE <i>Theobroma cacao</i> (CACAO) EN FASE DE VIVERO EN TINGO MARÍA-HUÁNUCO	TONY GRANDEZ AGUILAR	13 % Trece	Menor a 20 %

Tingo María, 22 de setiembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**APLICACIÓN DE UN BIOESTIMULANTE Y UN FERTILIZANTE PARA LA
OBTENCIÓN DE PLANTONES DE *Theobroma cacao* (CACAO) EN FASE DE
VIVERO EN TINGO MARÍA, HUÁNUCO**

Autor	: Grandez Aguilar, Tony
Asesor (es)	: M. Sc. Giannfranco Egoavil Jump Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
Área de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos
Eje temático	: Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados
Lugar de ejecución	: Vivero facultad de agronomía - Tingo María - UNAS
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: S/. S/ 7 006,00

Tingo María – Perú, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

FORMATO PARA REGISTRAR EL PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la selva
Facultad	: Agronomía
Escuela profesional/	: Agronomía
Departamento Académico	: Ciencias agrarias
Título de la Tesis	: Aplicación de un bioestimulante y un fertilizante para la obtención de plántones de <i>Theobroma cacao</i> (cacao) en fase .de vivero en Tingo María, Huánuco
Objetivo General	: Determinar la mejor tecnología y dosis de un bioestimulante y un fertilizante en la obtención de plántones de <i>Theobroma cacao</i> (cacao) en la fase de vivero, con dos tipos de sustrato.
Autor de la Tesis	: Tony Grandez Aguilar
DNI	: 71985435
Correo electrónico	: tony.grandez@unas.edu.pe
Asesores	: M. Sc. Giannfranco Egoavil Jump Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
Área de Investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos
Grupo de Investigación	: Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos
Lugar de Ejecución	: Vivero facultad de agronomía - Tingo María - UNAS
Fecha Inicio	: Enero de 2023
Fecha Término	: Junio de 2023
Presupuesto	: S/. 7 006,00
Financiamiento	: Propio (X) FIF () Externo ()

Según: **Resolución:** N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

DEDICATORIA

A Dios,

Quién siempre me da su infinito amor, paz, sabiduría para alcanzar las metas trazadas en mi vida, fortaleza para superar los diferentes obstáculos.

A mi familia,

En especial a mi Tía Redy Aguilar Soto por el apoyo, comprensión y sabios consejos brindados para culminar la carrera y la realización del presente trabajo de tesis.

A mis padres,

Loyola Aguilar Soto y Teddy Grandez Pérez quienes son lo más importante en mi formación, a ellos atribuyo todo lo que he podido lograr en mi vida, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Ciencias Agrarias por ser parte de mi formación académica.
- A mis asesores el M. Sc. Giannfranco Egoavil Jump y Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano por sus enseñanzas, consejos y supervisión hasta culminación de este trabajo y por la revisión de la redacción técnica en base a las normas de redacción.
- A M. Sc. Jaime Josseph Chávez Matías en condición de presidente, por su apoyo en la ejecución, culminación y revisión académica del proyecto.
- A los miembros del jurado de tesis el M.Sc. Jimmy Alcides Ocaña Reyes y M.Sc. Geider Falcón Paredes, por la revisión del trabajo y aportes en la mejora que fueron valiosos en el desarrollo y culminación del informe del presente trabajo de investigación.
- A mis docentes por su apoyo y orientación incondicional en el transcurso de la ejecución de mi tesis, y por compartir sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE

	Página
Resumen	
Abstract	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cultivo del cacao	3
2.1.1. Importancia del cacao en el Perú.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica	3
2.1.3. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo del cacao	4
2.1.4. Vivero de cacao	4
2.2. Sustancias para el desarrollo y crecimiento de las plantas.....	6
2.2.1. Reguladores de crecimiento	6
2.3. Bioestimulantes	8
2.3.1. Características de los bioestimulantes en estudio.....	9
2.4. Trabajos relacionados sobre esta investigación.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Campo experimental.....	15
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	15
3.2. Historial del vivero	15
3.3. Ecología y clima.....	15
3.4. Materiales	18
3.5. Método estadístico.....	18
3.5.1. Componentes en estudio.....	18
3.5.2. Tratamientos en estudio.....	19
3.5.3. Diseño Experimental	19
3.5.4. Análisis estadístico	20
3.5.5. Regresión lineal	20
3.5.6. Características del campo experimental	21
3.5.7. Croquis del experimento.....	21
3.6. Metodología.....	22
3.6.1. Efecto de la aplicación en las características biométricas de los plan- tones de <i>Theobroma cacao</i> (cacao)	22

3.6.2. Características físicas y químicas de los plantones de <i>Theobroma cacao</i> (cacao).....	24
3.6.3. Análisis económico de los tratamientos	27
3.7. Ejecución del experimento	27
3.7.1. Petición del vivero	27
3.7.2. Preparación del sustrato	28
3.7.3. Análisis de suelo	28
3.7.4. Llenado de bolsas	29
3.7.5. Obtención de semilla	29
3.7.1. Siembra.....	30
3.7.2. Aplicación de los tratamientos.....	31
3.7.3. Manejo de los plantones en vivero	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Características biométricas de los plantones	33
4.1.1. Determinación diámetro, altura, número de hojas y longitud de raíz ..	33
4.1.2. Área foliar.....	45
4.1.3. Longitud y volumen radicular.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Características físicas y químicas.....	49
4.2.1. Peso fresco y seco.....	52
4.2.2. Clorofila.....	58
4.2.3. Análisis de suelo	59
4.2.4. Análisis económico	64
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. PROPUESTAS A FUTURO	67
VII. REFERENCIAS.....	68
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación geográfica del proyecto de investigación	15
2. Croquis del área experimental.	22
3. Unidad experimental de acuerdo con los tratamientos en estudio.....	22
4. Plantones de cacao: a. Acondicionamiento y limpieza de camas, b. Delimitación de 24 plantas por unidad experimental, c. Medición de diámetro y altura d. Conteo de hojas.....	23
5. Medición de área foliar con imageJ: a. Área foliar del T1BI y b. Área foliar del T1BIII.....	23
6. Parámetro radicular de plantones de cacao: a. Medición de longitud y b. Volumen radicular	24
7. Registro de peso fresco y peso seco de plantas de cacao.	25
8. Determinación de clorofila	25
9. Área de la tesis: a. Limpieza y b. Acondicionamiento	27
10. Preparación del sustrato a utilizar.....	28
11. Obtención de muestra de suelo	28
12. a) Llenado de bolsas, b) acomodo de las bolsas y c) distribución de los tratamientos.....	29
13. Preparación de la semilla: a. Obtención de semillas y retiro de mucilago, b. Aplicación de fungicida y pregerminado en aserrín.	30
14. Sembrado de las semillas: a. Semilla germinada y b. Siembra de semillas germinadas.....	30
15. Rotulación de los tratamientos.....	31
16. Dosificación y aplicación de los tratamientos: a. Preparación del bioestimulante, b. Aplicación del bioestimulante, c. Pesado del fertilizante, d. Aplicación y e. Distribución del fertilizante en los plantones de cacao.....	31
17. Manejo agronómico: a) Riego, b) Evaluación sanitaria, c) Control manual de malezas y d) Aplicación de fungicidas e insecticidas en los plantones Riego, b) Evaluación sanitaria, c) Control manual de malezas y d) Aplicación de fungicidas e insecticidas en los plantones	32
18. Incremento de altura de la planta en el cultivo de cacao cada 30 días en los tratamientos en estudio	42

19. Incremento del diámetro de tallo de las plantas de cacao cada 30 días en los tratamientos en estudio	43
20. Incremento del número de hojas en el cultivo de cacao cada 30 días en los tratamientos en estudio.	44
21. Análisis de suelo infértil inicial del experimento	74
22. Análisis foliar final del experimento	75
23. Análisis de suelo final del experimento	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición del bioestimulante Agrostemin®-GL.....	10
2. Ahorra el tiempo. Excelente manejo y capacidad de dispersión. Composición de YaraMila™ COMPLEX	12
3. Datos agrometeorológicos registrados en la ejecución del experimento con aaaaaaaa respecto al periodo desde enero del 2023 a julio del 2023	16
4. Análisis inicial de suelo de dos zonas MOYANO – BRUNAS	17
5. Descripción de los tratamientos en estudio.	19
6. Modelo del análisis de variancia.	20
7. Análisis de variancia de medidas repetidas ($\alpha= 0,05$) del diámetro de la planta, altura de la planta, número de hojas y longitud de raíz de las plantas de cacao	35
8. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del diámetro de la planta, altura de la planta y número de hojas de las plantas de cacao	36
9. Análisis de variancia (ANVA) ($\alpha= 0,05$) área foliar y longitud de raíz en las plantas de cacao.....	45
10. Evaluación de Tratamientos y su efectividad por Bloque del área foliar de apiantones de cacao	46
11. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) de la longitud y volumen de la raíz de las plantas de cacao	47
12. Prueba de clorofila a de las plantas de cacao.....	50
13. Análisis de variancia (ANVA) ($\alpha= 0,05$) del peso fresco de la planta (PFP), peso de la planta (PSP), peso fresco de la hoja (PFH) y peso seco de la hoja (PSH)	54
14. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta(PSP), peso fresco de la hoja(PFH), peso seco de la hoja(PSH), peso fresco del tallo (PFT), peso seco del tallo (PST), peso fresco de la raíz (PFR), peso seco de la raíz (PSR), de las plantas de cacao.....	57
15. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del %H de la planta, hoja, tallo y raíz	58
16. Análisis físico químico del suelo antes y después del experimento	63
17. Evaluación de costos de producción y rentabilidad por Ha en 12 Tratamientos de plantones de cacao	65
18. Promedios de evaluación de variables fisiológicas al terminar el experimento	77
19. Promedios de variables biométricas durante el experimento	77

20. Análisis nutrimental de los plantones.....	77
21. Análisis de clorofila.....	78

Resumen

La investigación evaluó la respuesta de plántulas de *Theobroma cacao* a la aplicación de Agrostemin® y YaraMila™ Complex en suelos de Moyano y Brunas bajo condiciones de vivero. El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos ($p < 0,05$) de los tratamientos sobre variables biométricas (altura, diámetro, número de hojas, área foliar y raíces). En la 3.^a y 4.^a evaluación, los tratamientos T₇ (Agrostemin 75 mL/20 L + Moyano) y T₃ (Agrostemin 25 mL/20 L + Moyano) registraron los mayores diámetros de tallo (5,96–7,03 cm), mientras que el testigo en suelo Moyano (T₁) alcanzó la máxima altura (35,59 cm) y número de hojas (15,23). En área foliar, T₁ y T₁₂ (YaraMila 2 dosis + Brunas) presentaron valores sobresalientes (1406,9 y 1249,8 mm², respectivamente).

En el sistema radicular se evidenció diferenciación funcional: T₂ (Brunas sin aplicación) logró la mayor longitud (34,08 cm), mientras que T₁₂ alcanzó el mayor volumen (18,75 cm³), confirmando que la calidad del sustrato y la disponibilidad de fósforo influyen diferencialmente en la morfología de la raíz. Los modelos de regresión mostraron tendencias lineales positivas en todas las variables, con coeficientes de determinación (R^2) entre 0,60 y 0,90, lo que refleja un alto poder predictivo de los tratamientos sobre el crecimiento. El suelo Moyano (T₁, T₃ y T₇) fueron los más consistentes en promover crecimiento aéreo (altura, hojas y diámetro), confirmando que la fertilidad de este suelo, combinada con Agrostemin®, potencia el vigor del cacao.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, Bioestimulantes, YaraMila™ Complex, Agrostemin, Suelos

Abstract

The study evaluated the effect of bio-stimulants (Agrostemin®) and mineral fertilizer (YaraMila™ Complex) applied to Moyano and Brunas soils on the growth of *Theobroma cacao* seedlings under nursery conditions. Results showed significant effects ($p < 0.05$) on stem diameter, plant height, leaf number, root length, and leaf area. Treatments T₇ (Agrostemin 75 mL + Moyano) and T₃ (Agrostemin 25 mL + Moyano) achieved the highest stem diameters, while the Moyano control (T₁) recorded the best performance in height and leaf number. Leaf area was highest in T₁ and T₁₂, highlighting soil fertility and phosphorus availability. Root length was greatest in T₂ (Brunas), while root volume was highest in T₁₂. Regression analyses confirmed positive growth trends with determination coefficients (R^2) close to 0.9, indicating strong predictive capacity. Overall, the findings confirm that combining bio-stimulants, mineral fertilization, and fertile substrates significantly enhances early cacao seedling development.

Keywords: *Theobroma cacao*, Biostimulants, YaraMila™ Complex, Agrostemin, Soils

I. INTRODUCCIÓN

La producción de plántulas de cacao que sean viables y de excelente calidad constituye un requisito fundamental para garantizar el éxito de la siembra en el terreno definitivo (Gutiérrez et al., 2011). Sin embargo, en la Provincia de Leoncio Prado se presenta una dificultad significativa: los suelos de la zona son de textura franco arcillosa y se encuentran empobrecidos, ya que anteriormente fueron utilizados para el cultivo de coca y otras actividades que deterioraron gravemente su fertilidad. A ello se suma el inadecuado manejo de los suelos y las prácticas poco sostenibles de los agricultores al extraer tierra agrícola, lo que ha originado múltiples problemas (Waizel et al., 2012).

En el Perú, la superficie destinada al cultivo de cacao ha mostrado un incremento durante la última década. Este crecimiento demanda plántulas con un sistema radicular vigoroso y con alta calidad fisiológica, orientadas a la producción en vivero (Angulo et al., 2021). No obstante, en la preparación e instalación de dichos viveros se recurre con frecuencia al uso de suelos agrícolas degradados, sin la debida atención para mejorarlos, lo que repercute en mayores costos y mayor tiempo requerido para obtener plántulas adecuadas (García et al., 2021). En la búsqueda de estrategias que permitan optimizar la producción de plántulas de cacao, los agricultores intentan reducir gastos, acortar el periodo productivo y obtener plántulas con óptimas condiciones fitosanitarias y de vigor. Pese a ello, en la fase de vivero se identifican limitaciones como el extenso tiempo que requiere la obtención de plántulas tras la germinación, la formación de ejemplares débiles y poco vigorosos con bajos porcentajes de prendimiento, así como una deficiente estructura y masa radicular. Estos problemas se atribuyen principalmente a factores relacionados con la fertilización insuficiente, las características del sustrato y el manejo de la humedad, lo que afecta de manera directa el desarrollo de las plántulas (Sousa et al., 2021).

Frente a estas limitaciones, en otros cultivos se han aplicado con éxito alternativas como la fertilización foliar utilizando productos orgánicos, entre ellos Agrostemin®-GL, un compuesto líquido de acción nutricional y hormonal que estabiliza el crecimiento y desarrollo de las plantas, y YaraMila™ COMPLEX™, un fertilizante con formulación balanceada que asegura un suministro adecuado de nutrientes, independientemente del método de aplicación empleado.

En este contexto, la hipótesis de trabajo sostiene que la aplicación de al menos una dosis de un insumo orgánico en plantones de *Theobroma cacao* (cacao) en vivero permitiría obtener los mejores resultados en la producción de ejemplares de alta calidad. A partir de ello, se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar la mejor tecnología y dosis de un bioestimulante y un fertilizante en la obtención de plantones de *Theobroma cacao* (cacao) en la fase de vivero, con dos tipos de sustrato.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de la aplicación combinada de un bioestimulante y un fertilizante en las características biométricas de los plantones de *Theobroma cacao* (cacao) en fase de vivero.
2. Determinar las características físicas y químicas de los plantones de *Theobroma cacao* (cacao).
3. Determinar el análisis de beneficio y costo de los tratamientos en estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo del cacao

2.1.1. Importancia del cacao en el Perú

En el Perú, más de 100 000 familias dependen del cultivo de cacao en 16 regiones del país, lo que lo convierte en un pilar fundamental de la agricultura familiar, de acuerdo con cifras del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (De la Vega, 2021). La producción nacional de cacao en grano ha mostrado un crecimiento sostenido durante los últimos diez años, con una tasa promedio anual del 12,60 %. Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), alrededor del 75 % de las exportaciones peruanas corresponden a cacao fino y de aroma, lo que lo diferencia del que se produce en África y Asia. Asimismo, cuando el cacao alcanza un puntaje elevado en la cata estándar, el precio por kilogramo del grano aumenta de manera considerable (Mendoza et al., 2023).

El territorio peruano concentra aproximadamente el 60 % de la biodiversidad mundial de cacao, sobresaliendo la producción de distintas variedades vinculadas a grupos genéticos como el trinitario, que representa el 53,30 % en Junín; el forastero amazónico, con un 37,30 % en regiones como Cusco y Ayacucho; y el criollo, que corresponde al 9,40 % en San Martín, Amazonas y Cajamarca (Andina, 2020). En el año 2000, la producción nacional se ubicaba en 24 786 toneladas. Una década más tarde, en 2010, la cifra prácticamente se duplicó, alcanzando 46 600 t. Posteriormente, en 2016 se superaron las 100 000 t, y para 2019 se llegó a 135 928 t (De la Vega, 2021). Las regiones líderes en producción de cacao en el país son: San Martín, que con 48 400 t se posiciona como el principal productor regional al concentrar el 35,60 % del total; seguida de Junín, con 25 500 t (18,8 %), y Ucayali, con 17 000 t (12,5 %). Huánuco, con 13 000 t, y Cusco, con 10 000 t. En conjunto, estas cinco regiones concentran cerca del 84 % de la producción total de cacao en el Perú (Andina, 2020).

2.1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del cultivo de cacao es la siguiente ITIS (2023):

Reino	: Plantae.
Subreino	: Viridiplantae.
Superdivisión	: Embryophyta.
División	: Tracheophyta.
Clase	: Magnoliopsida.
Orden	: Malvales.
Familia	: Malvaceae.
Género	: Theobroma
Especie	: <i>Theobroma cacao</i>

2.1.3. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo del cacao

a. Suelo: Los suelos más apropiados para el cultivo de cacao son los de origen aluvial, de textura franca y con buena profundidad, siempre que el subsuelo sea permeable. En cambio, los suelos de tipo arenoso resultan poco convenientes, pues carecen de la capacidad de retener suficiente humedad para cubrir los requerimientos hídricos de la planta. Generalmente, los suelos de color oscuro son los más recomendados debido a que presentan menor lixiviación. Otro aspecto clave es que el subsuelo permita la penetración sin dificultad de la raíz pivotante y disponga de una profundidad adecuada (Noles, 2020).

El pH del suelo juega un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes, factores determinantes para el desarrollo del cacao. Este cultivo alcanza un mejor desempeño cuando el pH oscila entre 6,00 y 6,50, rango que asegura una producción más eficiente. La presencia de materia orgánica enriquece tanto al suelo como a la planta, optimizando las propiedades físicas y biológicas del primero (Noles, 2020). Se considera necesario un suelo con una CIC superior a 25 meq/100 g de suelo, y niveles mínimos de nutrientes como Ca, Mg, K y B de 4; 1; 0,61 y 2 meq/100 g de suelo, respectivamente, con una saturación de bases mayor al 35 % (Gómez et al., 2014).

b. Clima: Debido a su naturaleza, el cacao se desarrolla de manera más eficiente y tiene una mayor producción en las regiones tropicales, cultivándose a altitudes que varían desde los 0 hasta los 800 msnm. Necesita un aporte adecuado de agua para sus procesos metabólicos, por lo que la precipitación ideal oscila entre 1 600 y 2 500 mm, distribuidos de manera uniforme a lo largo del año. La temperatura debe oscilar entre 23 °C como mínimo, 32 °C como máximo, siendo 25 °C la ideal. La velocidad del viento debe ser de 1 a 2 m/s; en plantaciones con vientos superiores a 4 m/s y poca sombra, las plantas sufren la caída de hojas y flores. En las etapas iniciales, se recomienda asociar el cacao con otros cultivos, ya que la exposición directa al sol afecta negativamente a las plantas jóvenes (Noles, 2020).

2.1.4. Vivero de cacao

DEVIDA (2018), nos describe así:

a. Instalación: El vivero se establece directamente en la parcela del productor con el fin de evitar traslados prolongados de los plántones al momento de llevarlos al campo definitivo. Para ello, el terreno seleccionado debe estar próximo a cultivos que proporcionen sombra provisional, como plátano, frijol de palo o yuca, además de ubicarse cerca de una fuente de agua y en una zona de topografía plana que asegure un buen drenaje. Previamente, se procede a la limpieza del área, retirando malezas y restos leñosos, y nivelando el terreno para facilitar la estabilidad de las camas y bolsas. La estructura de sombra o tinglado se

construye con materiales disponibles en la zona, como postes, largueros y hojas de palmera o paja, de manera que proporcione entre un 75 y 80 % de sombra, alcanzando una altura cercana a los 2 m. Las camas se orientan preferentemente de este a oeste para minimizar el impacto de la radiación solar, con un ancho estándar de 1,20 m y una longitud que varía de acuerdo con la cantidad de plántones a producir. El sustrato se obtiene de la capa superficial del suelo, reconocida por su color oscuro, textura suelta y alto contenido de materia orgánica, pudiendo mejorarse mediante la adición de arena, humus o guano de isla. Posteriormente, se tamiza para eliminar impurezas. Las bolsas de polietileno se rellenan casi por completo con esta mezcla, compactándola ligeramente, y se colocan en hileras de diez, dejando un espacio de 5 a 10 cm entre cada una; tras ello, se riegan y se dejan reposar algunos días antes de sembrar las semillas.

b. Siembra de la semilla: En cada bolsa se deposita una semilla, colocándola de forma horizontal a una profundidad cercana a 1 cm, cubriéndola con el mismo sustrato. También es posible inducir el proceso de pregerminación en aserrín descompuesto o tierra suelta y húmeda, preferiblemente bajo sombra o cubierta con hojas; en un lapso de cuatro a seis días aparece la radícula principal. Este procedimiento permite garantizar que la semilla quede en posición vertical, con la raíz dirigida hacia abajo, aplicando una ligera presión dentro del hoyo previamente preparado en la bolsa para su siembra.

c. Mantenimiento y manejo del vivero: El adecuado desarrollo de los plántones depende de cuidados constantes en el manejo del vivero. El riego debe efectuarse en horas de la mañana o al final de la tarde, especialmente durante los periodos de sequía, aplicándose de manera uniforme sobre hojas y sustrato, con riegos frecuentes pero ligeros. El control de malezas se realiza desde los primeros días y de manera continua, retirando manualmente las hierbas que compiten por nutrientes, de modo que tanto las bolsas como el entorno permanezcan libres de vegetación indeseada que pueda albergar plagas. La selección de plántones inicia al mes de instalado el vivero, eliminando las bolsas donde no hubo germinación; en el segundo mes se descartan los ejemplares débiles, malformados o enfermos, y entre el segundo y tercer mes se realiza la selección definitiva para su traslado al campo. En cuanto al manejo fitosanitario, se aconseja reducir al mínimo el empleo de plaguicidas químicos, priorizando la desinfección de semillas y sustratos con cal o ceniza, además de la preparación de bioinsumos a base de plantas con propiedades biocidas para la prevención de plagas y enfermedades. El abonamiento no es necesario si se cuenta con un sustrato fértil; no obstante, en caso de deficiencias, se recomienda aplicar abonos orgánicos como compost o humus cada 30 días, complementando con bioabonos foliares cuando los plántones presenten hojas de color verde pálido. Asimismo,

la regulación de la sombra en el tinglado debe realizarse de manera gradual, reduciéndola progresivamente desde el primer mes y retirándola por completo unos 15 días antes del trasplante, lo que favorece la adaptación de los plántones a las condiciones de campo abierto.

d. Recomendaciones de la fertilización en etapa de vivero: La fertilización de cacao en la etapa de vivero aún es un tema de investigación, lo que genera incertidumbre respecto a la oportunidad, frecuencia y método más adecuado de aplicación. Sin embargo, algunos autores sugieren que, en sustratos con bajos contenidos de N-P-K, se realice una aplicación foliar de urea a razón de 100 g/20 L de agua en plántulas de 45 días de edad. Para plántulas de 75 días, se recomienda aplicar N-P-K en proporción 15-45-30, lo que equivale a 3 g de nitrógeno, 9 g de fósforo y 6 g de potasio por plántula en bolsas con 3 kg de sustrato. Existen propuestas que incluyen la aplicación al sustrato de fertilizantes con fórmula 10-30-10 cada dos meses, en dosis de 5 g por planta, complementada con fertilización foliar con Nitrofoska cada 15 días en dosis de 100 cc o 100 g/20 L de agua. Otros especialistas recomiendan fertilizar mensualmente las plántulas de cacao con 5 g/planta de fórmulas como 18-10-6-5, 23-12-6-7 o equivalentes, aplicando el producto en el borde de la bolsa. En suelos con alto contenido de materia orgánica, la fertilización puede limitarse a una sola aplicación de cualquiera de estas fórmulas, realizada 45 días después de la siembra (Enríquez et al., 2018).

2.2. Sustancias para el desarrollo y crecimiento de las plantas

2.2.1. Reguladores de crecimiento

Las fitohormonas son compuestos orgánicos producidos de manera natural por las plantas, los cuales se transportan hacia órganos específicos donde, en bajas concentraciones, modulan múltiples procesos de desarrollo. Estas sustancias pueden estimular, inhibir o modificar el crecimiento vegetal, dependiendo de su estructura química y de la etapa fenológica en la que actúen. Entre los reguladores de crecimiento más relevantes se encuentran las auxinas, como el ácido indolacético (AIA); las citoquininas, como la bencilaminopurina (BAP) y la quinetina; el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D); y las giberelinas, siendo la más empleada el ácido giberélico (GA₃). También se incluyen otras moléculas como el etileno, el ácido abscísico, así como diversos inhibidores y poliaminas. En la agricultura, estos compuestos se aplican para inducir diferentes respuestas fisiológicas, cuya efectividad depende tanto de la dosis utilizada como de la fase de desarrollo en que se apliquen, ya que una misma hormona puede generar efectos distintos según las condiciones de uso (Elizondo, 2010).

a. Crecimiento y desarrollo: Una mínima cantidad de hormonas resulta suficiente para regular la morfogénesis en las plantas, lo que permite la formación de una amplia diversidad de órganos y estructuras. Las variaciones en la concentración hormonal, tanto en los

tejidos como en las células, condicionan los diferentes caminos morfogénicos, que aparecen de acuerdo con la fase de desarrollo. En términos generales, las células vegetales responden mediante división y elongación celular; sin embargo, en condiciones *in vitro*, se ha evidenciado que ciertos niveles hormonales inducen procesos de diferenciación específicos, como la formación de vasos del xilema. A nivel tisular, estas respuestas pueden ser aún más complejas y variadas (Jordán y Casaretto, 2016). La interacción entre auxinas y citoquininas puede originar diversas respuestas en los tejidos. Cuando ambas se encuentran en altas concentraciones, se estimula una proliferación celular intensa con escasa diferenciación. En cambio, un predominio de citoquininas sobre auxinas favorece la formación de nuevos brotes, mientras que una mayor proporción de auxinas estimula la aparición de raíces. Las células vegetales, gracias a su núcleo y a su relativa diferenciación, pueden regresar a un estado meristemático bajo condiciones adecuadas, lo que les confiere flexibilidad para regenerar órganos y plantas completas (Gubler et al., 2002).

b. Descripción de los principales reguladores

Auxinas: Son compuestos de naturaleza ácida, derivados fenólicos, que intervienen en numerosos procesos del crecimiento vegetal, como los tropismos, la dominancia apical, la abscisión y la rizogénesis. Promueven el alargamiento celular y la formación de raíces adventicias, aunque en bajas concentraciones pueden inhibir su desarrollo. Favorecen la dominancia apical, inducen la floración, estimulan la diferenciación de tejidos vasculares y retrasan la caída de hojas, flores y frutos jóvenes. Además, acidifican las paredes celulares, lo que facilita su expansión, y en determinadas condiciones actúan como herbicidas. También median los tropismos, respondiendo a estímulos como la luz (fototropismo) o la gravedad (gravitropismo), dirigiendo el crecimiento hacia el estímulo mediante una acumulación localizada de la hormona.

Giberelinas: Estimulan la división y elongación celular cuando se aplican de forma exógena, siendo su efecto más característico la elongación de tallos. Intervienen en la germinación de semillas, la ruptura de la dormancia y la movilización de reservas para el desarrollo inicial de la plántula. También pueden inducir partenocarpia en frutos y reducir los efectos negativos de condiciones ambientales adversas, como baja luminosidad o temperaturas no óptimas. Asimismo, retrasan la senescencia en hojas y frutos, particularmente en cítricos. Sin embargo, su influencia en la elongación puede provocar tallos más delgados, hojas pequeñas y una menor intensidad del color verde.

Citoquininas: Aunque constituyen un grupo menos amplio, son fundamentales en la regulación de procesos fisiológicos. Están asociadas al crecimiento, la dominancia apical, la diferenciación celular, la morfogénesis y la senescencia. Estimulan la división celular y la expansión de brotes laterales, favorecen el transporte de nutrientes hacia las hojas, promueven la germinación de semillas, la maduración de cloroplastos y la expansión celular, además de retrasar la senescencia foliar. Se sintetizan principalmente en los meristemos apicales de las raíces, en tejidos embrionarios y en frutos. Su transporte es mayormente acropétalo, es decir, desde la raíz hacia la parte aérea a través del xilema.

Etileno: Es la única hormona vegetal gaseosa en condiciones normales de presión y temperatura. Incluso en concentraciones muy bajas, regula procesos como la senescencia, la abscisión foliar y la maduración de frutos. Se ha demostrado que estimula el crecimiento de raíces, inhibe el transporte de auxinas, y puede inducir la síntesis o liberación de enzimas, como sucede en los granos de cereales durante la maduración. Asimismo, facilita la ruptura de la dormancia en yemas y órganos vegetativos. En cuanto al crecimiento celular, puede provocar elongación diferencial en las células del lado superior de tallos y raíces, lo que reduce su alargamiento longitudinal y aumenta el grosor de los órganos vegetales.

2.3. Bioestimulantes

a. *Ascophyllum nodosum* (algas marinas): Se trata de un alga marina de coloración parda, incluida dentro del grupo de las talofitas, las cuales se caracterizan por carecer de órganos diferenciados como raíces, tallos u hojas. Estas algas pueden presentarse tanto en forma unicelular como pluricelular y se desarrollan principalmente en medios acuáticos. A pesar de poseer clorofila, su tonalidad verde suele quedar oculta por la presencia de otros pigmentos. En las especies pluricelulares, el talo puede adquirir múltiples formas filamentos, láminas o cintas e incluso presentar ramificaciones. Desde tiempos antiguos, las algas marinas han sido utilizadas como materia prima en la elaboración de productos destinados a la fertilización y al estímulo del crecimiento vegetal. En los ecosistemas costeros cumplen un papel esencial y, durante siglos, las comunidades agrícolas cercanas al litoral las han empleado como fertilizantes naturales debido a su elevado contenido de materia orgánica, lo cual mejora distintos tipos de suelos y favorece de manera especial a los cultivos hortícolas y frutales (Vesga, 2018).

Estas algas poseen una serie de propiedades sobresalientes, entre ellas su elevado contenido de fibra y su capacidad para retener humedad en el suelo. Asimismo, son ricas en macronutrientes y micronutrientes, lo que las convierte en un aporte nutritivo de gran valor que potencia la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Contribuyen también a contrarrestar

la degradación del suelo causada por el uso excesivo de agroquímicos y funcionan como un bioestimulante natural del crecimiento y desarrollo vegetal gracias a su abundancia de citoquininas, hormonas que favorecen estos procesos. De igual manera, contienen diversas sustancias con actividad biológica semejante a la de ciertos reguladores de crecimiento de las plántulas. Entre ellas se incluyen vitaminas, carbohidratos, proteínas, compuestos biocidas que ayudan a combatir plagas y enfermedades, así como agentes quelantes tales como ácidos orgánicos y manitol (López et al., 2020).

b. Uso en la agricultura: El uso de extractos de algas en la agricultura es una opción eficaz en la fertilización de cultivos, destacándose principalmente por sus efectos como bioestimulante. Se ha demostrado que las algas suministran a las plantas tanto macro y micronutrientes esenciales como sustancias naturales con efectos similares a los reguladores de crecimiento. Entre los micronutrientes presentes en las algas se encuentran cobre, zinc, magnesio, hierro, molibdeno y boro, además de aminoácidos, manitol, betaínas, auxinas y citoquininas, que son hormonas vegetales esenciales. También contienen polisacáridos: laminarinas, fucoi-danos y alginatos, compuestos que, según diversos bioensayos, pueden inducir la producción de auxinas y citoquininas naturales en las plantas tratadas (Quitral et al, 2012).

Al ser utilizados como bioactivadores, incrementan tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos. Su acción se debe a su capacidad para estimular la síntesis de hormonas vegetales, además de influir en la absorción y translocación de nutrientes. Adicionalmente, su alto contenido de fibra cumple una función acondicionadora en los suelos, mejorando su capacidad de retención de humedad y favoreciendo la actividad de microorganismos beneficiosos. Dado que el crecimiento y desarrollo de las plantas están regulados por fitohormonas, las cuales controlan directa e indirectamente diversas reacciones fisiológicas e integran el metabolismo general, los extractos de algas marinas favorecen el crecimiento vegetal, estimulan la germinación de semillas, reducen la infestación por nematodos e incrementan la resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas. Estos extractos son ricos en citoquininas y auxinas, fitorreguladores que participan en el crecimiento y en la movilización de nutrientes en los órganos vegetativos (Pérez, 2020).

2.4. Características de los bioestimulantes en estudio

2.4.1.1. Agrostemin®-GL

a continuación se describe al producto Agrostemin®-GL de la forma siguiente (SERFI, 2020):

a. Características generales: Es un producto elaborado a partir de extracto natural de algas frescas de *Ascophyllum nodosum*, sin aditivos artificiales, garantizando

su origen 100% natural. Este bioestimulante está aprobado para su uso en la agricultura orgánica y se caracteriza por ser un depósito naturalmente equilibrado de más de 60 componentes, entre los cuales se incluyen macro y micronutrientes (biológicamente quelatizados por carbohidratos), aminoácidos, de igual manera que los promotores biológicos de fitohormonas, tales como auxinas, giberelinas y citoquininas (1).

Tabla 1. Composición del bioestimulante Agrostemin®-GL

Composición	Cantidad
Macronutrientes	
Nitrógeno total (%)	0,25 a 0,50
Fósforo (%)	0,25 a 0,75
Potasio soluble (%)	3,50 a 4,00
Magnesio (Mg) (%)	0,12 a 0,19
Calcio (Ca) (%)	0,03 a 0,05
Micronutrientes	
Boro (B) (ppm)	325,00 a 350,00
Hierro (Fe) (ppm)	413,00 a 475,00
Manganeso (Mn) (ppm)	377,00 a 379,00
Cobre (Cu) (ppm)	33,00 a 40,00
Zinc (Zn) (ppm)	513,00 a 525,00
Cobalto (Co) (ppm)	0,75
Molibdeno (Mo) (ppm)	25
Níquel (Ni) (ppm)	0,75
Otros	
Materia seca (%)	24
Materia orgánica (%)	11,00 a 14,00
Ceniza (%)	11,00 a 14,00

Fuente: SERFI (2020)

b. Recomendaciones de uso: Este producto es completamente soluble en agua y puede aplicarse tanto por vía foliar como radicular, además de poder inyectarse directamente en sistemas de riego por goteo o aplicarse en el drenaje hacia el suelo. Para las aplicaciones foliares, se recomienda llenar la mochila hasta la mitad con agua, iniciar la agitación, añadir la dosis indicada y luego completar con el agua restante antes de realizar la aplicación. En el caso de aplicaciones mediante riego por goteo, la dosis sugerida es de 0,50 L por cada 10 L de agua, asegurando una calibración adecuada de la presión del sistema para mantener un caudal uniforme en los goteros. Cuando se emplea este método, deben aplicarse

las dosis máximas por hectárea. De manera general, la dosis recomendada para cualquier cultivo es de 25 a 30 mL por cada 20 L de agua, o bien de 1 a 2 L por hectárea en cada campaña.

c. Beneficios en la agricultura: Este insumo puede utilizarse como tratamiento de semillas, ya que promueve una germinación y/o brotación vigorosa y homogénea. Favorece un crecimiento fuerte de las plántulas, adelantando el tiempo de trasplante y mejorando la adaptación en la fase posterior. También contribuye a incrementar el tamaño y la calidad de los frutos, tubérculos, bulbos, turiones y raíces, repercutiendo positivamente en el rendimiento y la calidad de las cosechas. En particular, aumenta el contenido de aminoácidos y azúcares, elevando los valores de °Brix. Asimismo, actúa como apoyo en la recuperación de las plantas frente a situaciones de estrés, tanto de origen biótico como abiótico. En estos casos, se recomienda utilizar la dosis máxima de 0,50 L por cilindro de 200 L de agua.

2.4.1.2. YaraMila™ COMPLEX

La empresa YARA (2014) presenta a YaraMila™ COMPLEX™ como un fertilizante granulado en forma perlada que garantiza una distribución uniforme de nutrientes y una fertilización balanceada en cada gránulo. Este producto está desarrollado con la tecnología de nitrofosfato de Yara, la cual combina polifosfatos y ortofosfatos, asegurando así que el fósforo se encuentre disponible para la planta tanto de manera inmediata como sostenida en el tiempo. Su formulación equilibrada aporta nitrógeno en sus formas nítrica y amoniacal, junto con fósforo, potasio, azufre, magnesio y micronutrientes como boro, hierro, manganeso y zinc. La inclusión simultánea de nitrógeno nítrico y amoniacal permite acompañar el crecimiento de la planta a lo largo de sus distintas fases fenológicas, mientras que el fósforo disponible favorece un desarrollo radicular profundo y prolongado.

El producto incorpora potasio soluble y fácilmente asimilable, proveniente del sulfato, lo que garantiza un bajo contenido de cloro. Esto lo convierte en un fertilizante seguro para diversos cultivos, particularmente frutales y hortalizas, en los que el potasio es clave para la síntesis de azúcares y la mejora de la calidad de los frutos. A su vez, su formulación libre de polvo facilita tanto el manejo como la aplicación, ya sea en la siembra o durante las labores de cobertura. El aporte de magnesio, azufre y micronutrientes respalda procesos fisiológicos esenciales como la producción de clorofila, la formación de enzimas, proteínas y vitaminas, lo cual se traduce en un mejor rendimiento y en una mayor calidad de la producción agrícola.

Tabla 2. Ahorra el tiempo. Excelente manejo y capacidad de dispersión. Composición de YaraMila™ COMPLEX

Elemento	Contenido
Nitrógeno total (N)	12 %
Nitrógeno (N) Nítrico	5 %
Nitrógeno (N) Amoniacal	7 %
Fósforo (P ₂ O ₅)	11 %
Potasio (K ₂ O)	18 %
Magnesio (MgO)	2,7 %
Azufre (S)	8 %
Zinc (Zn)	0,02 %
Hierro (Fe)	0,2 %
Manganeso (Mn)	0,02 %
Boro (B)	0,015 %

Fuente: YARA (2014)

2.5. Trabajos relacionados sobre esta investigación

Se analizó el impacto de tres bioestimulantes en el proceso de enraizamiento de *Theobroma cacao* (cacao) clon CCN - 51, utilizando la técnica de acodos aéreos en Tingo María. Los resultados indicaron que las dosis más efectivas para promover el enraizado de los acodos fueron: 1 % para el Root-Hor y 1 % para el Agrostemin-GL (Rueda, 2008).

En Tingo María, se evaluó el impacto de diversos sustratos en la producción de plántones de *Theobroma cacao* (cacao), concluyendo que una mezcla de suelo agrícola y mantillo en proporción 1:1 favoreció un óptimo desarrollo en altura y en la formación de hojas de los plántones en fase de vivero, en comparación con los demás tratamientos. El crecimiento inicial de la planta de cacao está predominantemente influenciado por las características físicas del sustrato utilizado (Espejo, 2010).

Se evaluó el efecto de abonos orgánicos en el cultivo de cacao en vivero, concluyendo que los tratamientos con mejores resultados para la germinación de la semilla fueron los sustratos de los tratamientos T₅ (50 % suelo + 25 % arena + 25 % estiércol de cuy +

sarán) y T₆ (50 % suelo + 25 % arena + 25 % estiércol de cuy + plástico), ambos alcanzando una germinación del 100 %. A los 120 días, se determinó que los plantones con mayor altura provenían de estos mismos tratamientos (Cuvi et al., 2013).

También se evaluó el efecto de la aplicación de seis dosis de algas marinas sobre la germinación y características fenotípicas de *Theobroma cacao* en vivero. Los resultados concluyeron que las semillas tratadas mostraron un excelente vigor inicial en la germinación. Además, la aplicación de algas marinas en dosis de 5, 10 y 15 g/planta, al sustrato en vivero, resultó beneficiosa para la germinación de la semilla (Rodríguez, 2013).

En el Fundo "La Esperanza", en Tingo María, se investigó el Efecto de tres bioestimulantes orgánicos en la producción de plantones en vivero del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), donde se evaluaron los bioestimulantes Revite, Vita-Gib y Agrispon en plantones de cacao, empleando un diseño experimental de bloques completos al azar. Se concluyó que el tratamiento con Revite (0,50 l/ha) permitió obtener plantones con mejores características agronómicas, logrando un diámetro de 0,7 cm a los 94 días, frente a los 108 días del control. Los parámetros como altura de planta, número de hojas, área foliar y biomasa mostraron mejoras significativas con este tratamiento, destacando su eficacia para optimizar la injertación en menor tiempo (Núñez, 2016).

La tesis titulada "Productividad de *Theobroma cacao* clon CCN 51, mediante la aplicación de un biorregulador y un bioestimulante" se realizó en una plantación comercial de Palmas del Espino, Uchiza, San Martín, con el objetivo de evaluar la productividad del cacao mediante la aplicación del biorregulador TRIGGRR Trihormonal y el bioestimulante Terra-Sorb Foliar. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos al azar con 8 tratamientos y 3 repeticiones. Los resultados indicaron que los tratamientos T₃ (TRIGGRR 2 l/ha) y T₆ (TRIGGRR 2 l/ha + Terra-Sorb 1 l/ha) lograron los mayores rendimientos, con 2 056,23 kg/ha y 1 782,36 kg/ha de grano seco, respectivamente. En términos de rentabilidad, el tratamiento T₃ presentó la mejor relación beneficio-costos (B/C), generando una utilidad neta de S/ 9 593,61, destacándose como la opción más eficaz para optimizar la productividad del cacao (Pisco, 2022).

En la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, se desarrolló la tesis titulada "*Evaluación del efecto de tres bioestimulantes para la obtención de plantones de cacao (Theobroma cacao L.) Tingo María – Huánuco*". En este estudio, se evaluó el impacto de tres bioestimulantes (Amino Q-30, Zoberaminol y Aminofarm) sobre los plantones de cacao utilizando un diseño completamente al azar con 10 tratamientos y 4 repeticiones. Aunque no se hallaron diferencias significativas en la mayoría de las

características evaluadas, los tratamientos T₄ (Zoberaminol 20 mL/20l), T₈ (Aminofarm 30 ml/20L) y T₃ (Amino Q-30 50 ml/20L) destacaron por su mayor área foliar, volumen radicular y porcentaje de biomasa. El tratamiento control no mostró diferencias estadísticas debido a la alta fertilidad del sustrato utilizado. Los índices de rentabilidad varían entre 0,63 y 0,66 lo que indica un rendimiento económico moderado (Romero, 2019).

Efecto de tres bioestimulantes y dos tipos de sustratos, en la obtención de plantones para patrón de Cacao en vivero en Tingo María en este estudio, se evaluaron en el desarrollo de plantones de cacao, destacándose el tratamiento T₅ con los mejores resultados en altura (63,25 cm), diámetro del tallo (1.01 cm) y área foliar (98,40 cm²), así como en la relación beneficio-costo (1 316 soles), indicando una ganancia de 0,316 soles por cada sol invertido. En contraste, el tratamiento T₄ mostró la menor rentabilidad (0,771 soles). Aunque los tratamientos presentaron utilidades generales, el T₅ fue el más efectivo, mientras que el T₄ no fue recomendado debido a su bajo rendimiento económico (Damiano, 2021).

En la provincia de Leoncio Prado, se realizó el trabajo de investigación Efecto de dos bioestimulantes en el rendimiento de *Theobroma cacao* (cacao) en Tingo María, Huánuco, donde se evaluó el efecto de dos bioestimulantes (Super Estim y Evergreen) en diversas dosis (0,5; 1,0 y 2,0 l/ha) sobre el rendimiento del cacao mediante un diseño experimental con siete tratamientos y un análisis estadístico de DGC ($\alpha = 0,05$). Los resultados mostraron que el tratamiento T₆ (Evergreen 1 l/ha) generó el mayor número de cojines florales (57,13) y floración (593,13 flores/planta), mientras que el T₅ (Evergreen 0,5 l/ha) destacó en frutos cuajados (23,63 kg/planta), frutos sanos (33 %), rendimiento potencial (1 319,3 kg/ha), y rendimiento real (324,8 kg/ha). Este último también presentó la mejor relación beneficio-costo (7,61), evidenciando su alta rentabilidad (Pajuelo, 2024)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación política y geográfica

El experimento se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Sus coordenadas geográficas en UTM son: 390540 m E, 8970031 m N y a 659 m.s.n.m.

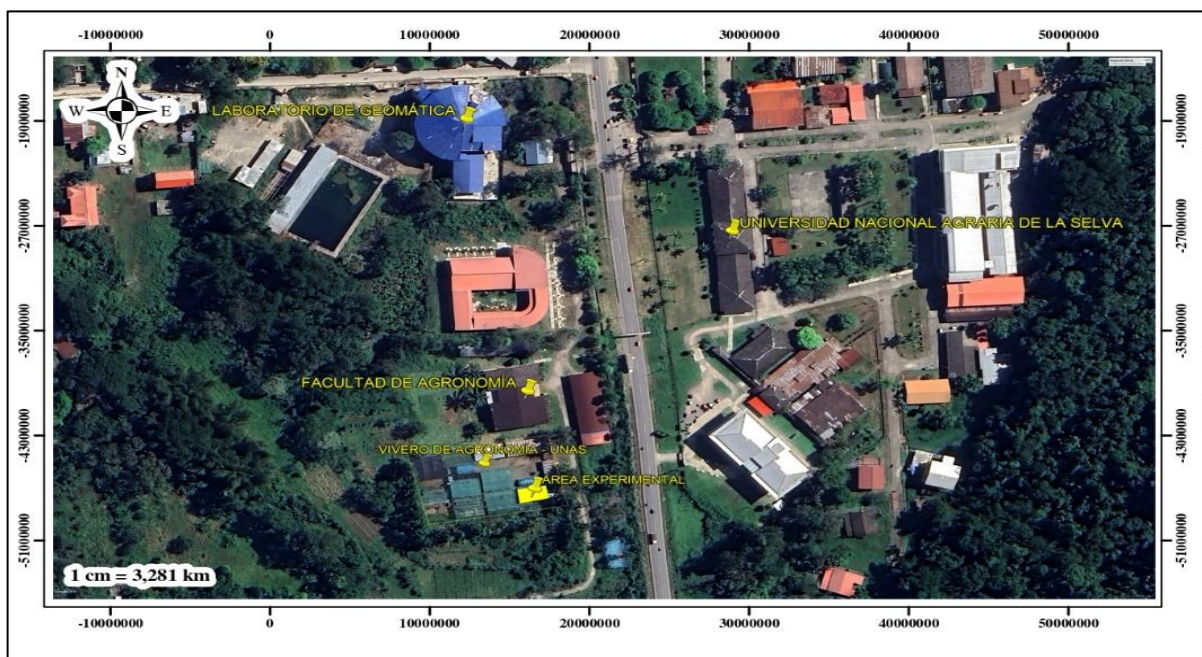


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto de investigación

3.2. Historial del vivero

El Vivero Agrícola de la FA, se dedica principalmente a la producción de plántones de cítricos, cacao, café, hortalizas y plantas ornamentales con tecnología propia que cumple con los estándares mínimos de producción técnica.

3.3. Ecología y clima

La zona de vida de Tingo María está situada en la formación vegetal de bosque muy húmedo premontano subtropical (bmh - PST) (Holdridge, 1987) y el lugar de estudio se encuentra a 10 minutos de Tingo María, para la cual las condiciones a Tingo María son similares, tales como en altitud es de 660 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 24 °C, una precipitación anual promedio de 3600 mm y una humedad relativa del 87 % (SENAMHI, 2022).

Durante el año en que se llevó a cabo esta tesis, los datos meteorológicos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos agrometeorológicos registrados en la ejecución del experimento con respecto al periodo desde enero del 2023 a julio del 2023

Meses	Temperatura (°C)		H.R. (%)	Precipitación (mm)
	Max	Min		
Enero	29,26	20,62	85,65	373,50
Febrero	30,15	20,75	84,33	344,10
Marzo	29,84	21,07	84,85	297,10
Abril	31,02	20,67	82,33	180,90
Mayo	30,92	21,22	84,05	158,50
Junio	30,45	20,30	82,04	214,40
Julio	31,66	20,43	80,48	64,80
Total	213,33	145,06	583,63	1633,30
Promedio	30,47	20,72	83,38	233,33

Fuente: Gabinete de meteorología y climatología UNAS – TINGO MARÍA.

El área de prueba presenta un clima de bosque tropical húmedo, con temperaturas máximas promedio de 30,47 °C y mínimas de 20,72 °C. La temperatura más alta se registró entre los meses de mayo y julio, mientras que la más baja ocurrió en enero. La humedad relativa promedio fue de 83,38 %, alcanzando su valor máximo en enero. La precipitación promedio fue de 233,33 mm/mes, con la mayor cantidad de lluvia también en enero.

Durante el período de evaluación se identificaron dos estaciones climáticas: la temporada lluviosa, de enero a marzo, en la cual se registraron altas precipitaciones que provocaron la saturación de los sustratos con agua. Esto favoreció la proliferación de agentes fúngicos, lo que pudo haber inducido enfermedades en los plantones. Para mitigar este riesgo, se instaló una malla adicional en el techo del vivero, evitando que los almácigos se saturaran con agua. Por otro lado, la estación seca, de abril a julio, con bajas precipitaciones, disminución de la humedad relativa y aumento de las temperaturas, pudo haber ocasionado estrés hídrico en los plantones, lo que resultó en una desaceleración del ritmo de crecimiento. Ante ello, se prestó especial atención al control de este factor. Meurer (2007) señala que el agua es un factor clave, ya que su falta o exceso influye significativamente en el desarrollo de las plantas.

a. Análisis de suelo

Se recolectó una muestra representativa del suelo antes de la aplicación de los tratamientos y otra al finalizar el experimento. Ambas fueron enviadas al

Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su respectiva evaluación. En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis inicial del suelo procedente de la localidad de Moyano, utilizado para la producción de plantones en vivero, se determinó una textura franca, con un pH de 7,30, un contenido de materia orgánica (M.O.) de 2,64 %, fósforo (P) de 9,34 ppm, potasio (K) de 155,93 ppm y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 8,40 Cmol(+)/mg. De acuerdo con David (2008), el suelo franco es considerado el más apropiado para la agricultura, ya que representa una mezcla balanceada de aproximadamente 40 % arena, 40 % limo y 20 % arcilla. Asimismo, Andrade y Martínez (2014) y Pellegrini (2017) señalan que un suelo con más de 2 % de materia orgánica es adecuado, además de que resulta favorable contar con niveles elevados de fósforo disponible, potasio disponible y CIC. Bajo estas referencias, puede afirmarse que el sustrato utilizado es apto para la propagación de plantones de cacao. Por otro lado, también se evaluó el suelo inicial proveniente de la localidad de Brunas, el cual igualmente presentó una textura franca, con un pH de 7,15, M.O. de 2,58 %, fósforo (P) de 54,74 ppm, potasio (K) de 145,936 ppm y una CIC de 5,83 Cmol(+)/mg..

Tabla 4. Análisis inicial de suelo de dos zonas MOYANO – BRUNAS

Parámetros	Suelo MOYANO		Suelo BRUNAS		Método
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	
Textura	Franco		Franco Arcillo arenoso		Hidrómetro Bou- youcos
pH	7,30	Ligeramente alcalino	7,15	Neutro	Potenciómetro
M.O (%)	2,640	Alto	2,581	Alto	Walkley y Black
N (%)	0,132	Bajo	0,129	Bajo	Micro Kjeldahl
P (disponible) ppm	9,344	Medio	54,745	Alto	Olsen modificado
K (disponible) ppm	155,932	Bajo	145,936	Bajo	Desplazamiento
CIC (Suma de ca- tiones)	8,402	Medio	5,825	Bajo	Acetato de amonio 1N pH
Ca (Cmol+)/kg	6,700	Medio	4,711	Bajo	Absorción atómica
Mg Cmol+)/kg	1,079	Medio	0,674	Bajo	Absorción atómica
K (Cmol+)/kg	0,523	Bajo	0,345	Bajo	Absorción atómica
Na (Cmol+)/kg	0,101	Bajo	0,095	Bajo	Absorción atómica
Bases cambiables (%)	100 %		100 %		

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, agua y ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (2023)

3.4. Materiales

Se utilizaron 1 500 semillas de *Theobroma cacao* (cacao) para la producción de plántones en fase de vivero, a los cuales se les aplicarán complementos nutricionales orgánicos Agrostemin®-GL y YaraMila™ COMPLEX™.

Se emplearon los siguientes materiales y herramientas para llevar a cabo el experimento:

- Bomba de mochila, machetes, palas, wincha métrica, sustrato (suelo agrícola, arena y materia orgánica), bolsas de polietileno (6”x10”), rafia, estacas de madera (1 m), tableros de triplay (0,10 m x 0,20 m), malla Rashell, entre otros.
- Regadera metálica de 30 L, jeringas milimétricas, baldes de 20 L y otros implementos para la preparación de las soluciones orgánicas.
- Vernier mecánico y wincha métrica, herramientas que se utilizarán para medir las características de altura de planta y diámetro de tallo.
- Probeta y estufa, materiales que se emplearán en el laboratorio para la evaluación del volumen radicular y área foliar de las plantas.
- Cuaderno de campo, lapiceros, plumones indelebles y calculadora, para registrar los datos y realizar cálculos durante las evaluaciones del experimento.
- Balanza digital para determinar el peso de la biomasa de las muestras extraídas.

3.5. Método estadístico

3.5.1. Componentes en estudio

a. Variable dependiente

- Plántones de *Theobroma cacao* (cacao)

b. Variables independientes

- Tipos de suelo
- Suelo de Moyano
- Suelo del BRUNAS
- Dosis de Agrostemin®-GL
- 25 mL/20 L de agua.
- 50 mL/20 L de agua.
- 75 mL/20 L de agua.
- Dosis de YaraMila™ COMPLEX™
- 1 aplicación de 2 gramos

- 2 aplicaciones de 2 gramos

3.5.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio son (5).

Tabla 5. Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamientos en estudio		Aplicaciones	Plantones de cacao
Clave	Descripción		
T ₁	Testigo + MOYANO	Ninguna	96
T ₂	Testigo + BRUNAS	Ninguna	96
T ₃	Agrostemin (25 mL/20 L agua) + MOYANO	3	96
T ₄	Agrostemin (25 mL/20 L agua) + BRUNAS	3	96
T ₅	Agrostemin (50 mL/20 L agua) + MOYANO	3	96
T ₆	Agrostemin (50 mL/20 L agua) + BRUNAS	3	96
T ₇	Agrostemin (75 mL/20 L agua) + MOYANO	3	96
T ₈	Agrostemin (75 mL/20 L agua) + BRUNAS	3	96
T ₉	YaraMila™ COMPLEX™ (1 dosis de 2 gramos) + MOYANO	1	96
T ₁₀	YaraMila™ COMPLEX™ (1 dosis de 2 gramos) + BRUNAS	1	96
T ₁₁	YaraMila™ COMPLEX™ (2 dosis de 2 gramos) + MOYANO	2	96
T ₁₂	YaraMila™ COMPLEX™ (2 dosis de 2 gramos) + BRUNAS	2	96

3.5.3. Diseño Experimental

Para cada prueba se empleó el Diseño de Bloques Completamente Aleatorios con submuestreo (DBCA), compuesto por cuatro bloques, doce tratamientos (5) y doce submuestras. El esquema del Modelo Aditivo Lineal del DBCA con unidades de muestreo se expresa en la siguiente ecuación (1):

$$\gamma_{ij} = \mu + a_i + \beta_j + \xi_{ij} + \varepsilon_m \quad \dots(1)$$

Dónde:

γ_{ij} : Es la respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente al j-ésimo bloque, al cual se le aplicó el i-ésimo tratamiento.

μ : Efecto de la media general.

a_i : Efecto del i - ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j - ésimo bloque

ξ_{ij} : Efecto aleatorio del Error experimental.

ε_m : Efecto aleatorio del Error muestral.

Para:

i =1, 2, 3, 4...12 tratamientos

j = 1, 2, 3 y 4 bloques

3.5.4. Análisis estadístico

Para cada ensayo se usó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (6) con submuestreo (DBCA), un análisis de variancia (p-valor $\alpha = 0,05$) y se determinó el coeficiente de variabilidad, ecuación (2). Además, se halló las diferencias de medias con la prueba de DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) ($\alpha = 0,05$), para lo cual se utilizó el programa Infostad.

Tabla 6. Modelo del análisis de variancia.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	p-valor (0,05)	F.Tab.
Bloques	r - 1	SCB	CMB = SCB / (r - 1)	> 0,05 S	F α (r - 1, (t - 1)(r - 1))
Tratamientos	t - 1	SCTrat	CMTrat = SCTrat / (t - 1)	< 0,05 NS	F α (t - 1, (t - 1)(r - 1))
Error muestral	t × (r - 1)	SCEM	CMEM = SCEM / [t(r - 1)]		
Error experimental	(t - 1)(r - 1)	SCEE	CMEE = SCEE / [(t - 1)(r - 1)]		
Total	t × r - 1	SCTotal			

r = repetición. t = tratamientos. S=significativo NS=no significativo

$$CV = \frac{\sqrt{CM_e}}{Y_{..}} \times 100 \quad \dots(2)$$

3.5.5. Regresión lineal

La ecuación de la regresión lineal es la siguiente ecuación (3):

$$Y_i = aX_i + b + \epsilon_i \quad \dots(3)$$

Leyenda:

Y_i = Variable dependiente

X_i = Variable independiente

a = Intercepta con el eje Y o tasa.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \dots(4)$$

b = Coeficiente de regresión (pendiente de la línea recta):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n} = Y - aX \quad \dots(5)$$

ϵ_i = Error asociado a la medición del valor X_i y siguen los supuestos de modo que $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ (media cero, varianza constante e igual a un σ $\epsilon_i \perp \epsilon_j$ con $i \neq j$).

El coeficiente de determinación:

$$r = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \cdot \sqrt{n(\sum_{i=1}^n Y_i^2) - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \quad \dots(6)$$

Leyenda:

r	=	Coefficiente de determinación
Yi	=	Variable dependiente
Xi	=	Variable independiente
n	=	n-esima evaluación

El coeficiente de correlación lineal:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad \dots(7)$$

3.5.6. Características del campo experimental

En la (Figura 3) se muestra el croquis del campo experimental y en la (Figura 4) se muestra el croquis del tratamiento experimental:

a. Dimensiones del área experimental

Largo	: 9,40 m.
Ancho	: 2,60 m.
Área total del experimento	: 24,44 m ²
Número de tratamientos	: 12
Total de plántones de cacao	: 1 152
Plántones de cacao a evaluar	: 384

b. Repeticiones

Largo	: 9,40 m.
Ancho	: 0,50 m.
Área total del experimento	: 4,70 m ²
Número de repeticiones	: 4
Distancia entre repeticiones	: 0,20 m
Plántones de cacao por repetición	: 288

c. Tratamientos

Largo	: 0,60 m.
Ancho	: 0,50 m.
Área total del experimento	: 0,3 m ²
Distancia entre tratamientos	: 0,20 m
Total de plántones de cacao	: 24
Plántones de cacao a evaluar	: 8

3.5.7. Croquis del experimento

El croquis del campo experimental del presente trabajo de investigación se presenta de la siguiente manera (Figura 2):

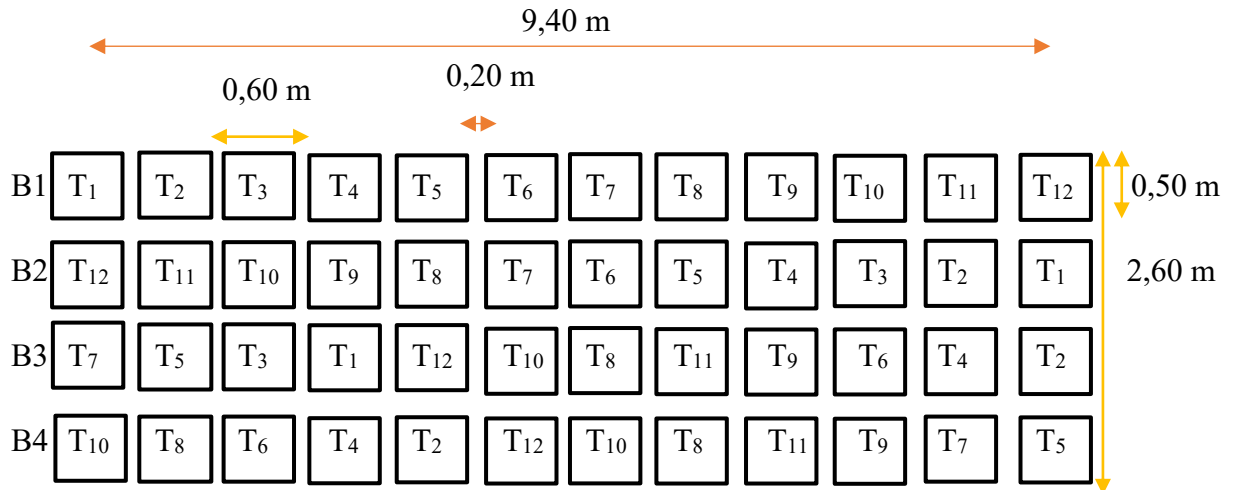


Figura 2. Croquis del área experimental.

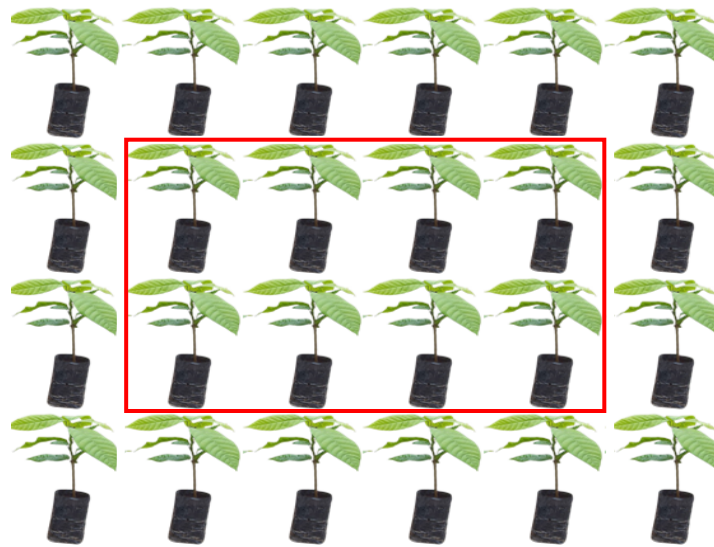


Figura 3. Unidad experimental de acuerdo con los tratamientos en estudio

3.6. Metodología

3.6.1. Efecto de la aplicación en las características biométricas de los plantones de *Theobroma cacao* (cacao)

a. Determinación de altura, diámetro y número de hojas

Se llevó a cabo en cuatro ocasiones, a los 30, 60, 90 y 120 días después de siembra (dds), evaluando ocho (8) plantas de la parcela neta de cada tratamiento, las cuales fueron marcadas para futuras mediciones, las plantas evaluadas tuvieron 100 % de supervivencia. Para la altura, la medición se realizó desde el cuello de la planta hasta la yema terminal visible, utilizando una regla de metal graduada en centímetros. El diámetro se midió con un vernier a la altura de la cicatriz cotiledonal, y el número de hojas se determinó mediante un conteo visual como se muestra en la Figura 4 y 5 respectivamente.



Figura 4. Plantones de cacao: a. Acondicionamiento y limpieza de camas, b. Delimitación de 24 plantas por unidad experimental, c. Medición de diámetro y altura d. Conteo de hojas.

b. Área foliar



Figura 5. Medición de área foliar con imageJ: a. Área foliar del T₁B_{II} y b. Área foliar del T₁B_{III}

Al finalizar el experimento de cada tratamiento se seleccionaron ocho plantas para el análisis de imágenes. con el software ImageJ (NIH), un programa de uso público utilizado en análisis de imágenes biológicas. Las imágenes fueron procesadas siguiendo un enfoque cuantitativo: calibración de la escala (cm) y segmentación de área foliar, los datos obtenidos se registraron por planta y se organizaron por tratamiento para el posterior análisis estadístico comparativo.

c. Longitud y volumen radicular



Figura 6. Parámetro radicular de plántones de cacao: a. Medición de longitud (cm) y b. Volumen radicular (cm³)

A los 120 días después de la germinación, se midió la longitud radicular de cada plánton con una cinta métrica en centímetros, desde la base del tallo hasta la punta terminal de las raíces (Figura 6 a). Para esta medición, se sacrificaron tres plántones centrales de cacao por repetición para determinar la longitud y el volumen radicular. Además, se calculó el volumen radicular sumergiendo toda la raíz en una probeta graduada con agua destilada, desde la inserción con el tallo. Posteriormente, se retiró la raíz y se registró el volumen de agua que quedó en la probeta, lo que permitió calcular el volumen radicular de cada planta de cacao (Figura 6 b).

3.6.2. Características físicas y químicas de los plántones de *Theobroma cacao* (cacao)

a. Peso fresco y seco de la planta en la parte aérea y radicular

Al concluir el experimento, se evaluaron dos plantas de cada unidad experimental, siendo un total de ocho plantas por cada Tratamiento. Las muestras por repetición y tratamiento; estas fueron pesadas individualmente en una balanza electrónica de precisión

modelo FS-4000H (DigitalPresicion) para determinar su peso fresco. Posteriormente, se cortaron en partes y se trasladaron al Laboratorio de Fisiología, donde se colocaron en una estufa a una temperatura de 73 ± 2 °C durante 48 horas. Una vez completado este proceso, las muestras secas fueron pesadas en una balanza. Finalmente, se calculó el porcentaje de materia seca.



Figura 7. a. Registro de peso fresco y b. peso seco de plantas de cacao.

b. Determinación de la clorofila

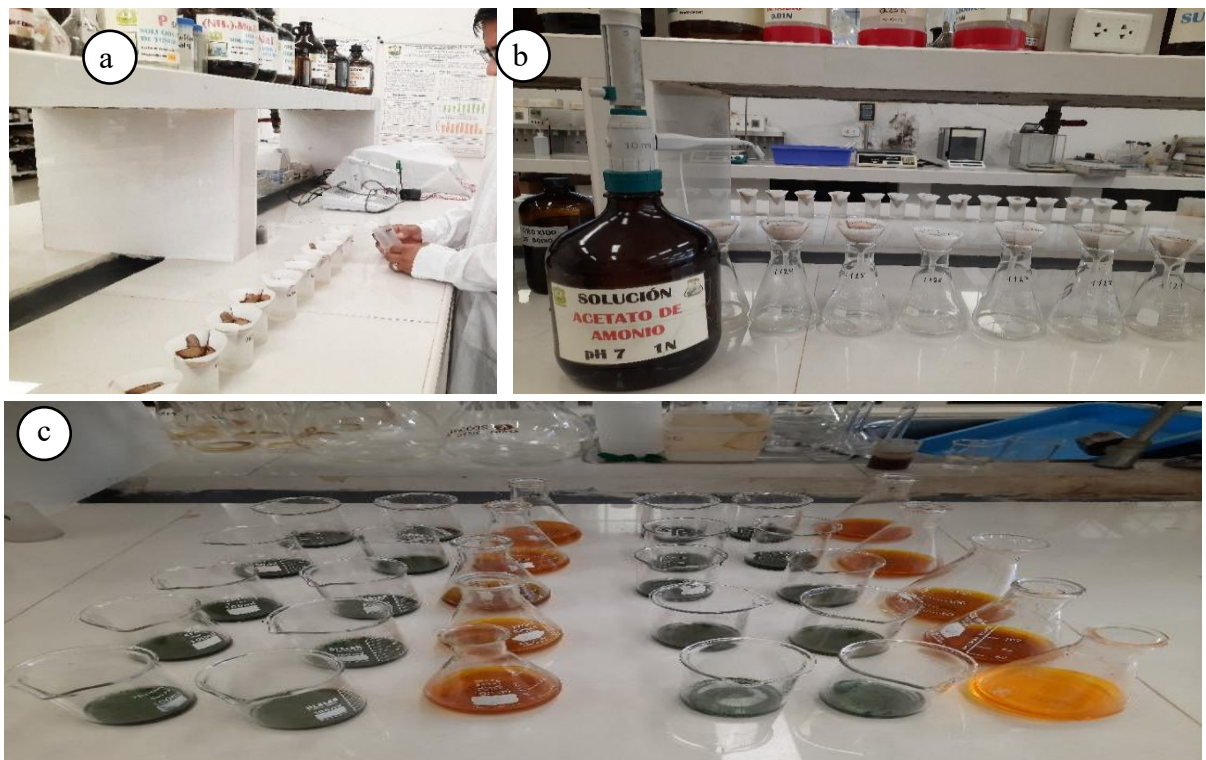


Figura 8. Determinación de clorofila a. toma de muestras, b. aplicación de etanol y c. obtención de pigmentos clorofílicos

Para determinar el contenido de clorofila, se siguió el protocolo de análisis por espectrometría de Rodés y Collazo (2006), citado por Pineda, 2021. Se tomaron muestras de hojas funcionales (tres hojas por tratamiento) ubicadas en el segundo tercio de la planta. Las hojas fueron lavadas, secadas y cortadas en secciones sin nervadura. Para la extracción de los pigmentos, se pesaron 0,50 g de hojas, que luego se introdujeron en un tubo de ensayo con 6 ml de etanol al 90 %, asegurándose de que los segmentos quedaran sumergidos en el solvente orgánico. Posteriormente, se colocó el tubo en una incubadora a baño maría a 80 °C durante 20 minutos para permitir que los pigmentos fotosintéticos (clorofila) se liberaran y se disolvieran en el solvente. Al finalizar este tiempo, los segmentos se decoloraron completamente y el solvente adoptó un color verde. Luego, los tubos de ensayo se envolvieron en papel aluminio para evitar la exposición a la luz solar. Finalmente, se extrajeron los restos de las muestras de los tubos, se filtraron y centrifugaron.

Según Pineda (2021); las ondas para medir la cantidad de absorbancia serán 645 y 663 nm; mientras que para la evaluación de clorofila A (C_a), clorofila B (C_b) y clorofila total (C_{total}) se utilizó las siguientes fórmulas:

$$C_a \left(\mu \frac{g}{mL} \right) = [(12.70 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times \frac{VE (mL)}{PH (g)} \quad \dots(8)$$

Leyenda:

- Ca = Clorofila A.
 VE = Volumen del extracto.
 PH = Peso de las hojas.

$$C_b \left(\mu \frac{g}{mL} \right) = [(12.70 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times \frac{VE (mL)}{PH (g)} \quad \dots(9)$$

Leyenda:

- Cb = Clorofila B.
 VE = Volumen del extracto.
 PH = Peso de la hojas.

$$C_{Total} \left(\mu \frac{g}{mL} \right) = [(12.70 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times \frac{VE (mL)}{PH (g)} \quad \dots(10)$$

Leyenda:

- Ctotal = Clorofila total.
 VE = Volumen del extracto.
 PH = Peso de las hojas.

c. Análisis foliar

Al final del experimento; se tomó muestras foliares por cada tratamiento

y se realizó el análisis foliar respectivo para determinar el contenido nutricional de las hojas de cada tratamiento en estudio. Este análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos de la UNAS.

d. Análisis de suelo por tratamiento

Al final del experimento; se tomó muestras de suelo por cada tratamiento obtenidas de las plantas que fueron previamente retiradas de las bolsas de vivero, se mezclaron los contenidos se obtuvo 1kg y se realizó el análisis completo físico y químico respectivo para determinar el contenido nutricional del sustrato de cada tratamiento en estudio. Este análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos de la UNAS (Anexos: Figura 21-23)

3.6.3. Análisis económico de los tratamientos

Se realizó un análisis económico para calcular el índice de rentabilidad de los tratamientos en estudio, utilizando la siguiente fórmula

$$IR = \frac{UN}{CT} * 100 \quad \dots(11)$$

Donde:

IR =	Índice de rentabilidad
UN =	Utilidad Neta
CT =	Costo Total

El ingreso bruto en todos los tratamientos se determinó multiplicando el número de plántones producidos para 1 ha por el precio de cada plántón.

3.7. Ejecución del experimento

3.7.1. Petición del vivero

Se solicitó a la administradora del Vivero Agrónomo de la F.A. la asignación de un área para la realización del presente ensayo. Ubicado el lugar, se procedió a su delimitación, limpieza y acondicionamiento del área (Figura 9)



Figura 9. Área de la tesis: a. Limpieza y b. Acondicionamiento

3.7.2. Preparación del sustrato y llenado de bolsas

El sustrato que se obtuvo fue obtenido de dos fuentes, la primera fue obtenida de la manera tradicional que hace uso un vivero de producción agrícola, en este caso el suelo obtenido es de la localidad de Moyano del Distrito de Castillo Grande y el otro suelo usado fue sacado del BRUNAS, en donde se procedió a cernir la tierra agrícola para eliminar las piedras y cualquier otro material que dificulte el proceso de llenado de bolsas, crecimiento y desarrollo de las plántulas. El sustrato mezclado se preparó proporción de 3:1 (375 kg de suelo) y un contenido de Roca fosfórica, cal agrícola, Dolomita, Cascarilla, Ceniza (25 kg * c/u)



Figura 10. Preparación del sustrato que se utilizó en el llenado de bolsas de 1 kg

3.7.3. Análisis de suelo

Del sustrato preparado se obtuvo una muestra representativa y de ella se envió al Laboratorio de Análisis Físico-químico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS para el análisis físico químico del suelo.



Figura 11. Obtención de muestra de suelo

3.7.4. Llenado de bolsas

Las bolsas que se emplearon fueron de las dimensiones 6'' x 10'' x 0,2 mm, las cuales con la ayuda de los practicantes del vivero se llenaron con el sustrato preparado.



Figura 12. a) Llenado de bolsas, b) acomodo de las bolsas y c) distribución de los tratamientos

Luego se acomodaron en los bloques correspondientes (Figura 12). Cada tratamiento estuvo constituido de un total de 24 plantas distribuidos al azar en grupos de 6 x 4 que forman un tratamiento en un bloque, cada bolsa tuvo un distanciado de 10 cm entre cada una de ellas.

3.7.5. Obtención de semilla

Para minimizar la variabilidad genética por la libre polinización cruzada, se obtuvo de un clon con características de autocompatibilidad que por disponibilidad fue elegido del clon CCN-51. Los frutos de sanidad garantizada fueron trasladados al Laboratorio de Semilla de la FA-UNAS para su extracción y procesamiento. El mucilago de la semilla se eliminó, a través de la frotación con aserrín, seguido se desinfectó con la aplicación de un fungicida comercial disponible. Posteriormente se realizó el pregerminado en aserrín de madera blanca, teniendo un espesor de 4 cm, regándose todos los días para mantener la humedad. Se consideró semilla germinada aquella en la que se emita su radícula. Se consideró un 15 % más de semillas y plantas para poder suplantar las pérdidas por diferentes factores.



Figura 13. Preparación de la semilla: a. Obtención de semillas y retiro de mucilago, b. Aplicación de fungicida y pregerminado en aserrín.

3.7.6. Siembra

Para la siembra se regó las bolsas con el sustrato, un día antes y se colocó una semilla germinada por bolsa con la radícula hacia abajo a una profundidad aproximada de 1 a 1,5 cm y se cubrió con el sustrato (Figura 14). Cada una de las plantas se codificó empleando etiquetas de plastificadas de acuerdo con el croquis experimental (Figura 2)



Figura 14. Sembrado de las semillas: a. Semilla germinada y b. Siembra de semillas germinadas



Figura 15. Rotulación de los tratamientos

3.7.7. Aplicación de los tratamientos

En este momento se seleccionó las 1 152 plantas que conformó el ensayo, considerando para su selección uniformidad en tamaño. Los fertilizantes se prepararon en cada una de las concentraciones para cada tratamiento (5). Las dosis de Agrostemin®-GL y YaraMila™ COMPLEX a aplicar; fueron de 2 g/planta pesado en una balanza analítica ZSA120, realizando en dos momentos: la primera aplicación a los 30 días y la segunda aplicación 60 días después de la emergencia (Figura 16). Las dosis para aplicar de Agrostemin®-GL XL son 25 mL, 50 mL y 75 mL por 20 L de agua respectivamente



Figura 16. Dosificación y aplicación de los tratamientos: a. Preparación del bioestimulante, b. Aplicación del bioestimulante, c. Pesado del fertilizante, d. Aplicación y e. Distribución del fertilizante en los plantones de cacao

La aplicación se realizó mediante la aspersión empleando un aspersor único para cada tratamiento para evitar contaminación cruzada. Para la aplicación las 24 plantas fueron agrupados en un solo lugar distante, para evitar la contaminación de los tratamientos por deriva del producto. Una hora después de la aplicación cada planta fue nuevamente reubicadas en sus respectivos lugares al momento de la instalación. La aplicación de los tratamientos se realizó a la salida de las dos primeras hojas que se muestren completamente extendidas.

3.7.8. Manejo de los plantones en vivero

El manejo agronómico de las plantas que conforman el ensayo se realizó siguiendo los protocolos establecidos en vivero, cuyas labores fueron (Figura 17):

- El riego de forma interdiaria en horas de la mañana.
- Evaluación permanente la sanidad de cada una de las plantas, la ocurrencia de cualquier síntoma anómalo fue registrado y se procedió a su diagnóstico; y de ser el caso se aplicó un fungicida o insecticida; pero en ningún caso se aplicó un producto que tuvo en su composición elementos nutricionales químicos u orgánicos.
- Control de malezas: El control se realizó de forma manual cada quince días y según sea necesario.



Figura 17. Manejo agronómico: a) Riego, b) Evaluación sanitaria, c) Control manual de malezas y d) Aplicación de fungicidas e insecticidas en los plantones Riego, b) Evaluación sanitaria, c) Control manual de malezas y d) Aplicación de fungicidas e insecticidas en los plantones

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características biométricas de los plantones

El ANVA se realizó para determinar el efecto de los tratamientos y bloques sobre cuatro parámetros del crecimiento de las plantas de cacao: Se evaluaron dos momentos (3° y 4° evaluación), y los valores de significancia (S) y no significancia (NS) fueron determinados según el p-valor ($\alpha=0,05$).

4.1.1. Determinación diámetro, altura, número de hojas

Para el diámetro de las plantas en la 3° evaluación, el efecto del bloque fue significativo ($p=0,0002$), indicando variabilidad entre bloques, mientras que en la 4° evaluación no fue significativo ($p=0,1685$). Los tratamientos mostraron un efecto significativo en ambas evaluaciones ($p=0,0011$ y $p=0,0009$), lo que sugiere que la aplicación de Agrostemin y YaraMila™ favoreció la absorción de nutrientes y el crecimiento radial del tallo. Para el parámetro de altura en la 3° evaluación, el efecto del bloque no tuvo un efecto significativo ($p=0,2345$), mientras que para los tratamientos mostró un efecto significativo ($p=0,0628$), sin embargo, para la 4° evaluación si encontramos efectos significativos tanto para bloques como para tratamientos ($p=0,0009$ y $p=0,0001$ respectivamente) indicando una respuesta tardía al uso de los productos. Esto sugiere que los tratamientos requieren más tiempo para influir positivamente en el crecimiento vertical de las plantas.

El número de hojas tuvo el efecto del bloque significativo en ambas evaluaciones ($p=0,0001$ en la 3° y $p<0,0001$ en la 4° evaluación), al igual que los tratamientos ($p=0,0001$ en la 3° y $p<0,0026$ en la 4°). Esto indica que favorecieron la formación de hojas, posiblemente debido a una mejor absorción de nutrientes y estimulación fisiológica, lo que incrementó el vigor de las plantas. Los valores del Coeficiente de Variación (CV) fueron aceptables en general, aunque el parámetro altura de planta mostró una mayor dispersión ($CV=35,47\%$), lo que podría explicarse por la variabilidad en la respuesta fisiológica de las plantas. El Coeficiente de Determinación (R^2) indica que entre el 23 % y 35 % de la variabilidad en los datos fue explicada por los modelos estadísticos, lo cual es adecuado en estudios agronómicos.

En la 7, en el análisis de varianza (ANVA), los resultados muestran efectos significativos ($p < 0,05$) del factor tratamiento en la mayoría de las variables evaluadas, particularmente en la altura de planta, longitud de raíz y número de hojas. Estos efectos se indican con la letra "S", mientras que las diferencias no significativas se representan con "NS", lo cual denota ausencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Se observa que los tratamientos tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la longitud de la raíz en ambas evaluaciones ($p < 0,0001$), lo que indica que la aplicación de Agrostemin® y YaraMila™ Complex influyó positivamente en el desarrollo radicular de los plántones de *Theobroma cacao*. Este resultado es coherente con lo señalado por Reyes et al. (2018), quienes reportaron que el uso de bioestimulantes con acción hormonal promovió un mayor crecimiento de raíces en plántulas de café, especialmente en condiciones de vivero. El efecto positivo puede atribuirse al mecanismo de acción de Agrostemin®, que estimula la producción de auxinas, hormonas responsables del crecimiento radicular. Además, YaraMila™, al contener fósforo, elemento esencial para el desarrollo del sistema radicular (Sánchez y Villalba, 2017), actúa en sinergia con el bioestimulante, favoreciendo una mayor absorción y distribución de nutrientes en las plántulas.

Sin embargo, los valores del coeficiente de determinación (R^2) fueron relativamente bajos (entre 0,23 y 0,35), lo que sugiere que solo una fracción de la variabilidad total puede atribuirse al efecto del tratamiento y bloque. Esta baja capacidad explicativa podría deberse a factores no controlados durante el ensayo, tales como condiciones ambientales heterogéneas dentro del vivero, diferencias en la calidad de los sustratos, o posibles errores en la medición de variables morfológicas. Según Lara (2005), un R^2 bajo no invalida el modelo, pero sí indica que es necesario mejorar el control experimental o incluir variables adicionales que puedan explicar mejor la variabilidad observada. No obstante, se observó cierta variabilidad en la respuesta entre tratamientos, lo cual podría deberse a la interacción entre las dosis aplicadas y las condiciones microclimáticas del vivero, como la temperatura o humedad. Esto coincide con lo expuesto por Lozano y Fonseca (2016), quienes afirman que los factores ambientales influyen significativamente en la respuesta fisiológica de las plantas, incluso dentro de bloques experimentales homogéneos.

Asimismo, uno de los factores externos que pudo haber contribuido a la variabilidad de los resultados fue la exposición desigual a la radiación solar dentro del vivero. Algunas áreas podrían haber recibido mayor incidencia de luz natural que otras, afectando el crecimiento de las plantas independientemente del tratamiento aplicado. Esta afectación de sol, al no ser controlada experimentalmente, puede haber influido en el bajo valor del coeficiente de determinación (R^2), al introducir una fuente de variación adicional no atribuible al diseño del ensayo. Según Rodríguez et al. (2023), la distribución no uniforme de la luz en ambientes semicontrolados puede alterar significativamente las respuestas fisiológicas de las plántulas, especialmente en etapas tempranas de desarrollo.

Tabla 7. Análisis de variancia de medidas repetidas ($\alpha=0,05$) del diámetro de la planta, altura de la planta, número de hojas y longitud de raíz de las plantas de cacao

Fuente de variación		GL	Diámetro de la planta				Altura de la planta				Número de hojas								
Entre sujetos																			
Bloque		3	4,13 (p=0,0002) S				1,96 (p=0,1685) NS				125,81 (p=0,2345) NS								
Tratamiento		11	1,85 (p=0,0011) S				2,85 (p=0,0009) S				154,03 (p=0,0628) NS								
Error entre sujetos		132	0,61				0,92				86,34								
Intra-sujeto (Tiempo)																			
Tiempo (90 vs 120 dds)		1	404,78 (p=0,0009) S				192,12 (p<0,0001) S				231,95 (p<0,0001) S								
Tratamiento × Tiempo		11	176,30 (p=0,0001) S				32,25 (p<0,0001) S				41,79 (p=0,0026) S								
Bloque × Tiempo		3	–				–				–								
Error intra-sujeto (Tiempo)		132	45,84				5,77				14,92								
Total		575																	
Shapiro-Wilk	0,09	NS	0,21	0,05	NS	0,21	0,07	NS	0,42	0,07	NS	0,31	0,06	NS	0,31	0,0,6	NS	0,37	
Levene						0,18	NS			0,27	NS					0,11		NS	
CV (%)	14,08			16,37			35,47			25,79			28,80			30,94			
R ²	0,30			0,24			0,26			0,23			0,35			0,29			

S : Significativo

NS : no significativo

CM : Cuadrados medios

GL : Grados de libertad

CV : Coeficiente de varianza

R² : Coeficiente de determinación

90 dds : Es la 3ª Evaluación, son los días después del trasplante a bolsa de vivero, 53, 23 días después de la 1ª y 2ª aplicación de Agrostemin y YaraMila™.

120 dds : Es la 4ª Evaluación, son los días después del trasplante a bolsa de vivero, 84, 54, 23 días después de la 1ª, 2ª y 3ª aplicación de Agrostemin y YaraMila™.

Tabla 8. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del diámetro de la planta, altura de la planta y número de hojas de las plantas de cacao

Diámetro de la planta						Altura de planta						Número de hojas					
3er			4to			3er			4to			3er			4to		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T ₇	5,96	a	T ₇	7,03	a	T ₁	29,40	a	T ₁	35,59	a	T ₇	10,77	a	T ₁	15,23	a
T ₃	5,81	a	T ₃	6,93	a	T ₁₁	29,35	a	T ₁₀	34,96	a	T ₃	10,40	a	T ₃	15,02	a
T ₁	5,67	b	T ₁	6,87	a	T ₇	27,52	a	T ₂	34,78	a	T ₁	10,08	a	T ₇	14,60	a
T ₁₁	5,63	b	T ₂	6,63	b	T ₃	27,31	a	T ₇	34,34	a	T ₁₂	9,77	b	T ₄	14,38	a
T ₁₀	5,58	b	T ₁₂	6,53	b	T ₅	27,06	a	T ₃	34,25	a	T ₄	9,53	b	T ₁₂	14,25	a
T ₁₂	5,58	b	T ₁₁	6,50	b	T ₂	26,65	a	T ₁₂	33,93	a	T ₅	9,23	b	T ₁₀	14,06	a
T ₅	5,56	b	T ₁₀	6,47	b	T ₁₂	26,54	a	T ₅	33,13	a	T ₁₀	8,94	b	T ₂	13,50	b
T ₈	5,52	b	T ₅	6,46	b	T ₁₀	26,06	a	T ₄	32,31	a	T ₂	8,92	b	T ₅	13,23	b
T ₉	5,44	b	T ₄	6,40	b	T ₉	24,60	a	T ₈	31,46	b	T ₁₁	8,71	b	T ₆	13,19	b
T ₄	5,38	b	T ₈	6,35	b	T ₄	24,50	a	T ₆	31,05	b	T ₆	8,71	b	T ₈	12,71	b
T ₂	5,33	b	T ₆	6,35	b	T ₈	24,40	a	T ₁₁	30,41	b	T ₈	8,52	b	T ₉	12,67	b
T ₆	5,27	b	T ₉	6,33	b	T ₆	24,38	a	T ₉	29,99	b	T ₉	8,06	b	T ₁₁	12,56	b
ts	0,033/día		fr	0,99		ts	0,231/día		fr	6,92		ts	0,153/día		fr	4,58	

Promedios seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas.

90 dds : Es la 3ª Evaluación, son los días después del trasplante a bolsa de vivero, 53, 23 días después de la 1ª y 2ª aplicación de Agrostemin y YaraMila™.

120 dds : Es la 4ª Evaluación, son los días después del trasplante a bolsa de vivero, 84, 54, 23 días después de la 1ª, 2ª y 3ª aplicación de Agrostemin y YaraMila™.

ts= Tasa de crecimiento promedio fr= frecuencia de crecimiento promedio

T₁ (MOYANO (MYN)) T₂ (BRUNAS (BRN)) T₃ (Agrostemin 25mL+MYN) T₄ (Agrostemin 25mL+ BRN) T₅ (Agrostemin 50mL+MYN) T₆ (Agrostemin 50mL+BRN)
 T₇ (Agrostemin 75mL+ MYN) T₈ (Agrostemin 75mL+ BRN) T₉ (YaraMila 1/2g+MYN) T₁₀ (YaraMila 1/2g+ BRN) T₁₁ (YaraMila 2/2g+MYN) T₁₂ (YaraMila 2/2g+BRN)

En la 8 se presentan los efectos de los tratamientos sobre el diámetro del tallo, la altura y el número de hojas de los plántones de *Theobroma cacao*. De manera consistente, los tratamientos T₁ (suelo Moyano), T₃ (Agrostemin 25 mL/20 L + Moyano) y T₇ (Agrostemin 75 mL/20 L + Moyano) evidenciaron un desempeño superior en las variables evaluadas, lo que resalta la eficacia tanto del suelo fértil de Moyano como de la combinación con bioestimulantes.

En la tercera evaluación, el mayor diámetro de tallo correspondió al tratamiento T₇ (5,96 cm), seguido muy de cerca por T₃ (5,81 cm). Ambos compartieron la misma letra estadística (a), lo que indica ausencia de diferencias significativas entre ellos. En contraste, el tratamiento T₁ alcanzó un diámetro ligeramente menor (5,67 cm) y fue clasificado con la letra (b), quedando estadísticamente por debajo de T₇ y T₃. Estos resultados ponen en evidencia que la interacción entre un suelo fértil y el uso de Agrostemin favorece de manera significativa el engrosamiento del tallo en esta etapa.

En la cuarta evaluación, los tratamientos T₇ (7,03 cm) y T₃ (6,93 cm) se mantuvieron en la categoría estadística superior (a), mostrando consistencia en el estímulo al crecimiento del tallo. Sorprendentemente, el tratamiento T₁ también alcanzó un valor elevado (6,87 cm) y fue ubicado dentro del mismo grupo estadístico (a), lo que revela que el suelo Moyano, aun sin adición de bioestimulantes, posee un efecto determinante en el desarrollo del tallo de los plántones de cacao.

En cuanto a la altura de planta, el tratamiento T₁ sobresalió en ambas evaluaciones, registrando 29,40 cm en la tercera y 35,59 cm en la cuarta, superando al resto de tratamientos. Aunque T₁₁ (YaraMila COMPLEX, 2 dosis + Moyano) con 29,35 cm y T₇ con 27,52 cm mostraron valores cercanos en la tercera evaluación, el T₁ mantuvo una ventaja numérica. Este comportamiento reafirma el rol determinante de la fertilidad del suelo Moyano en el crecimiento vertical de los plántones, incluso en ausencia de aplicaciones adicionales.

Respecto al número de hojas, en la tercera evaluación el tratamiento T₇ obtuvo el promedio más alto (10,77 hojas), seguido por T₃ (10,40) y T₁ (10,08). Los tres tratamientos fueron agrupados en la misma categoría estadística (a), lo que confirma su eficacia en estimular el desarrollo foliar. En la cuarta evaluación se registró una ligera variación en el orden: T₁ lideró con 15,23 hojas, seguido de T₃ (15,02) y T₇ (14,60), aunque todos se mantuvieron dentro del mismo grupo estadístico (a). Esta consistencia demuestra que los tratamientos basados en suelo Moyano, con o sin aplicaciones de bioestimulantes, promueven de manera sostenida la emisión de hojas en los plántones de cacao.

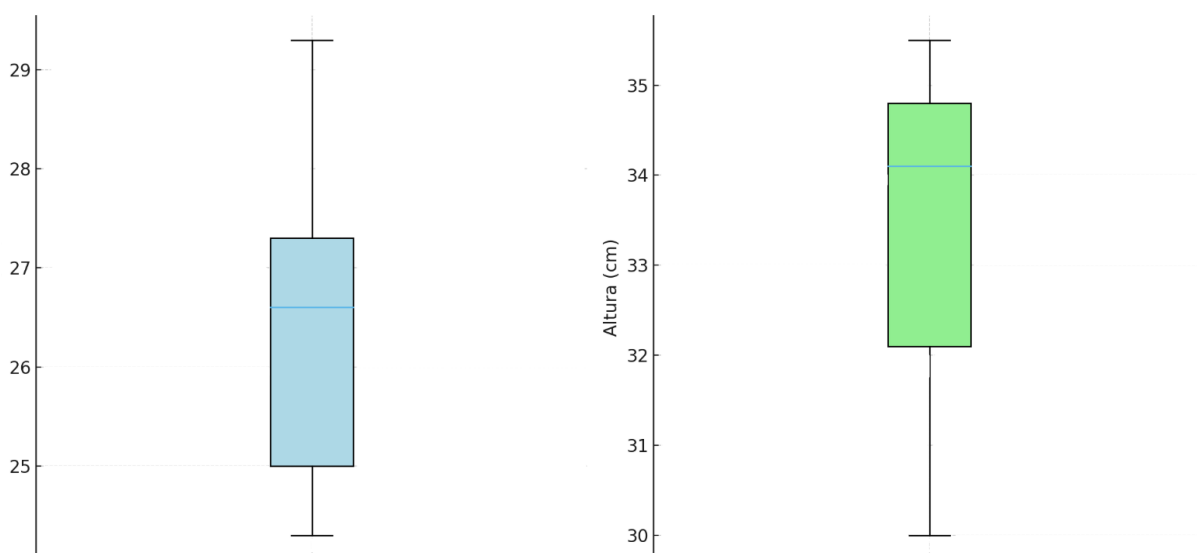


Figura 18. Boxplot de altura de la planta en la 3er y 4ta evaluación

Los resultados indican que la fertilidad intrínseca del suelo Moyano constituye un factor clave en el crecimiento de *Theobroma cacao*. No obstante, su combinación con bioestimulantes como Agrostemin potencia aún más el desarrollo morfológico, en particular en el diámetro de tallo y la producción foliar, generando un efecto complementario de gran valor para el establecimiento de plantaciones vigorosas.

Los tratamientos T₇ y T₁ se destacaron de manera consistente por presentar los valores más altos en diámetro de tallo, altura de planta, número de hojas y longitud de raíz en ambas evaluaciones. Este comportamiento puede explicarse por la interacción entre el uso de bioestimulantes (Agrostemin) y fertilizantes minerales (YaraMila™), junto con las propiedades del suelo fértil de Moyano. La combinación de estos factores habría favorecido el desarrollo integral de las plantas de cacao, particularmente cuando se aplicaron dosis moderadas o altas de los insumos.

De acuerdo con los análisis de varianza (Tablas 7 y 8), los tratamientos basados en Agrostemin + Suelo Moyano y YaraMila™ + Suelo Moyano presentaron diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos. Esto confirma que la aplicación de bioestimulantes y fertilizantes en suelos con alta fertilidad potencia el desarrollo fisiológico de las plantas. En este contexto, los productos a base de fitohormonas cumplen un rol central, ya que regulan de manera natural procesos de crecimiento y desarrollo (Bravo, 2022). La respuesta de las plantas varía según la dosis aplicada, lo que resalta la importancia de ajustar las concentraciones para maximizar el rendimiento.

El efecto observado también está estrechamente relacionado con el sistema radicular. Un sistema de raíces bien desarrollado asegura una mayor eficiencia en la absorción de agua y

nutrientes disponibles en el sustrato, lo que se refleja en mejores resultados de crecimiento en altura y diámetro del tallo. Esto evidencia la importancia de utilizar sustratos enriquecidos, ya sea mediante enmiendas minerales o mejorando sus condiciones microbiológicas (Calvo et al., 2008). Asimismo, estudios previos señalan que una mayor disponibilidad de nutrientes debe ir acompañada de un incremento en la capacidad de absorción para que el efecto sea evidente en la parte aérea de la planta (Angulo et al., 2021). En este sentido, el producto Agrostemin, gracias a su contenido en fibra, no solo contribuyó a retener humedad en el suelo, sino que también mejoró la absorción de nutrientes al aportar elementos nutritivos adicionales (Arana, 2021).

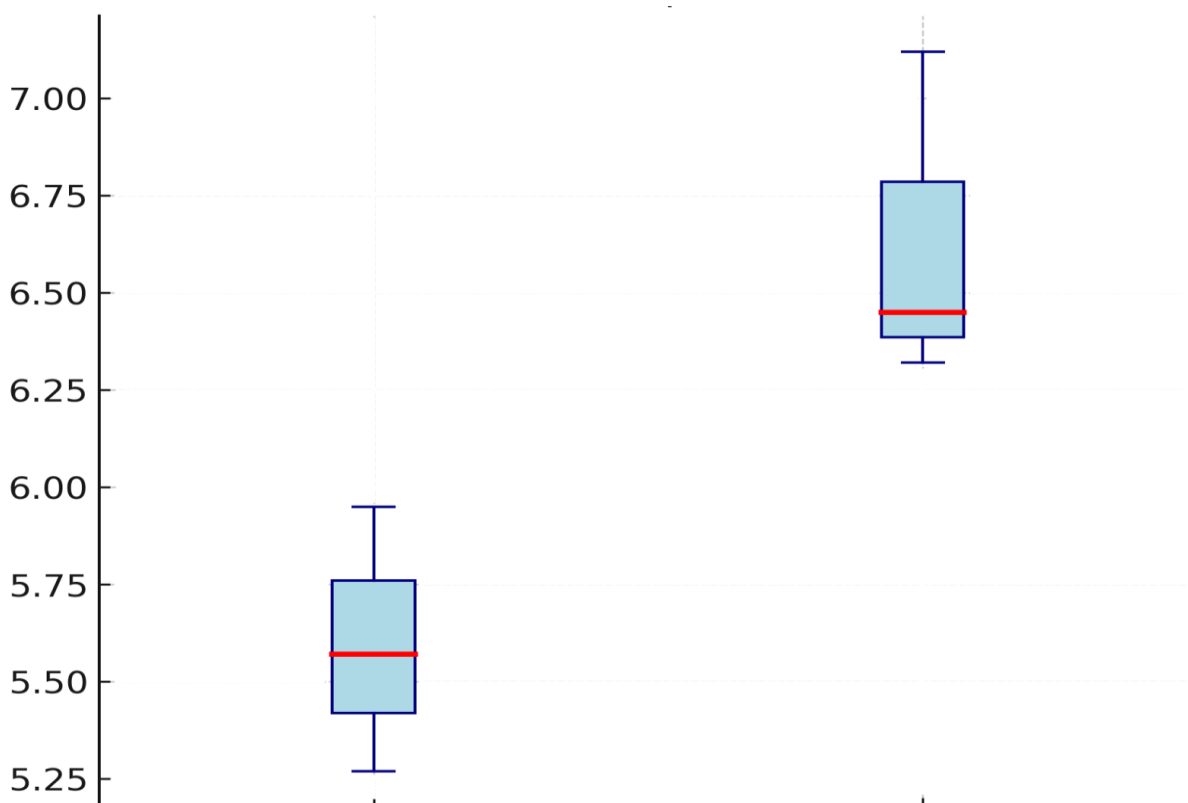


Figura 19. Boxplot correspondiente a la 3era y 4ta evaluación del diámetro

Los resultados de las evaluaciones (Tablas 7 y 8) permitieron calcular los incrementos y ajustar ecuaciones lineales de primer grado para altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas en función del tiempo (Figuras 21, 22 y 23).

En el caso de la altura de planta (Figura 18), se observó una tendencia ascendente en todos los tratamientos, con regresiones lineales positivas. Los tratamientos T₁ y T₇ mostraron las pendientes más pronunciadas, indicando un crecimiento vigoroso y sostenido. Los tratamientos T₁₁ y T₃ también evidenciaron incrementos significativos, aunque con pendientes más moderadas. En contraste, los tratamientos T₆ y T₁₂ registraron incrementos más limitados, aunque siempre positivos.

En relación con el diámetro del tallo (Figura 19), se observaron tendencias similares a las descritas para la altura. Los tratamientos T₇ y T₃ fueron los que alcanzaron mayores incrementos, mostrando pendientes de regresión que reflejan un crecimiento robusto. Por su parte, los tratamientos T₂ y T¹² presentaron incrementos moderados, mientras que los tratamientos T₄ y T₆ evidenciaron aumentos más discretos, aunque también positivos. En el parámetro de número de hojas (Figura 20), los resultados mostraron que todos los tratamientos promovieron un incremento en la cantidad de hojas, aunque con diferentes tasas de crecimiento. Los tratamientos T₇ y T₃ presentaron un aumento constante y significativo en el número de hojas, con líneas de regresión con pendientes más pronunciadas. Los tratamientos T₁₂ y T₈ también mostraron incrementos, pero con una tasa de crecimiento ligeramente más baja. Finalmente, los tratamientos T₅ y T₉ mostraron un aumento, pero en menor magnitud.

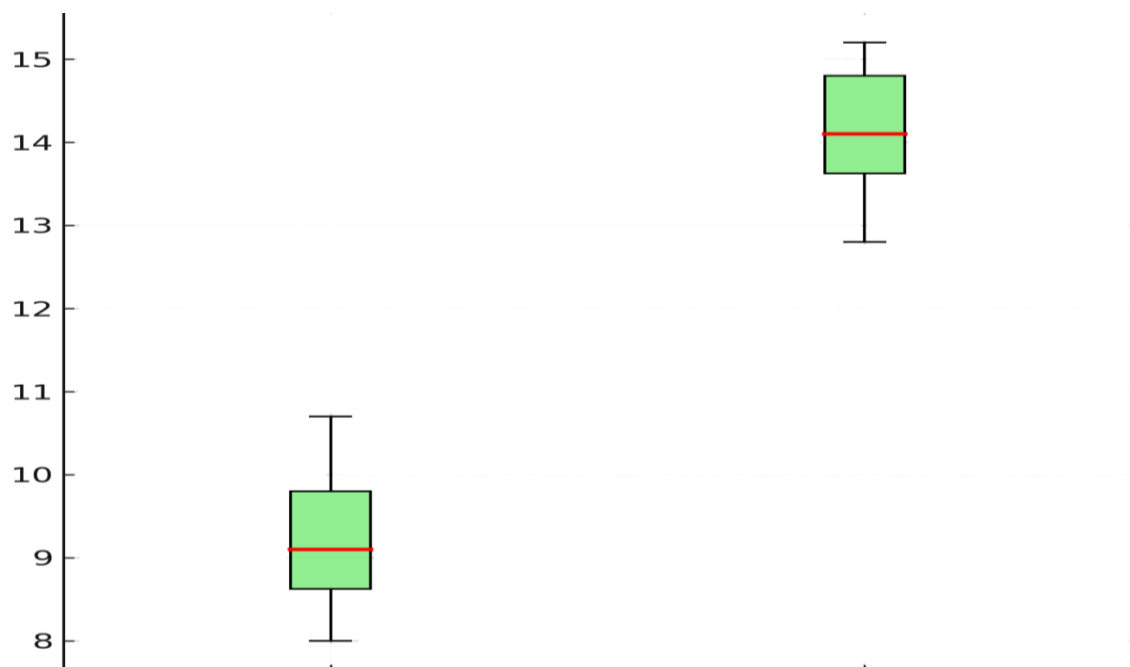


Figura 20. Boxplot correspondiente a la 3era y 4ta evaluación del numero de hojas

Los resultados de las regresiones lineales muestran tendencias positivas para todos los parámetros, lo que indica que, en general, los tratamientos favorecen el crecimiento de las plantas a lo largo del tiempo. Los valores de R^2 fueron elevados, cercanos a 0,9 en la mayoría de los parámetros evaluados, lo que indica que los tratamientos explican más del 90 % de la variabilidad en el crecimiento de las plantas. Este alto R^2 sugiere que los tratamientos tuvieron un efecto positivo y consistente en altura, diámetro y número de hojas, favoreciendo el crecimiento de las plantas a lo largo del tiempo.

De acuerdo con la línea de progresión de las características agronómicas a los 30, 60, y 90 días después del trasplante de los tratamientos en estudio, se ajustan a la ecuación lineal que permite predecir los futuros resultados, ya que los valores de los coeficientes de determinación “R²” son mayor o igual a 0,6, lo cual indica que los datos obtenidos tienen un comportamiento aceptable y uniforme. Por otro lado, los coeficientes de regresión al estar próximos a la unidad significan que las estimaciones obtenidas para los coeficientes hacen a este capaz de explicar una correlación positiva entre las variaciones que experimentan ambas variables de los tratamientos (Novales, 2010), con un buen nivel predictivo, ya que un valor cercano a cero indica una pequeña asociación entre las relaciones dadas, lo que implica un bajo nivel predictivo (Sáenz y Tamez, 2014). En este sentido, los tratamientos pueden utilizarse con confianza para efectuar evaluaciones e inferencias acerca de la cuestión conceptual que los motivó inicialmente (Novales, 2010). Sin embargo, se recomienda que este coeficiente de determinación “R²” cuente con medidas complementarias, de forma que su utilización conjunta garantice una mayor confianza en las conclusiones en base a los resultados obtenidos (Martínez, 2005).

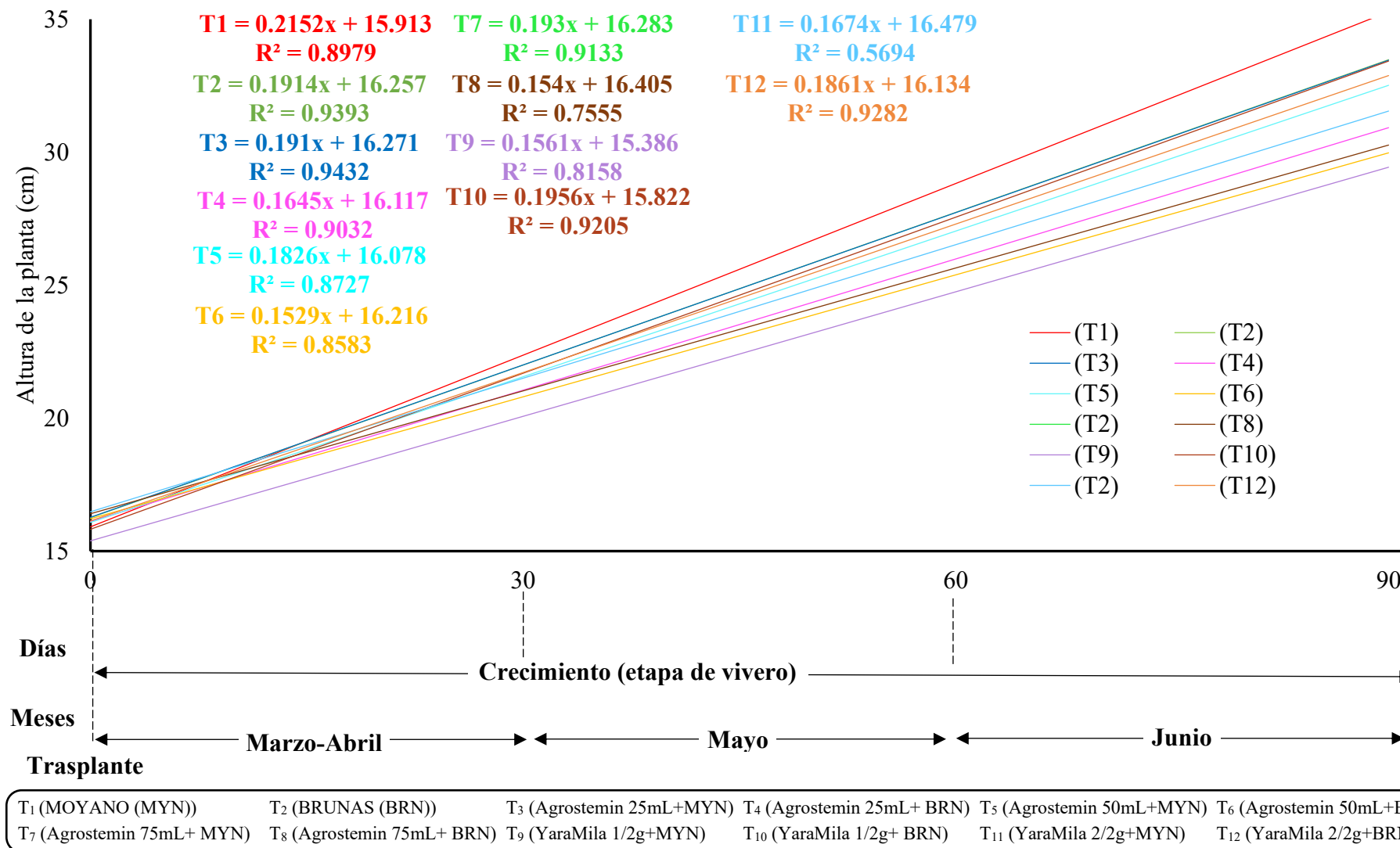
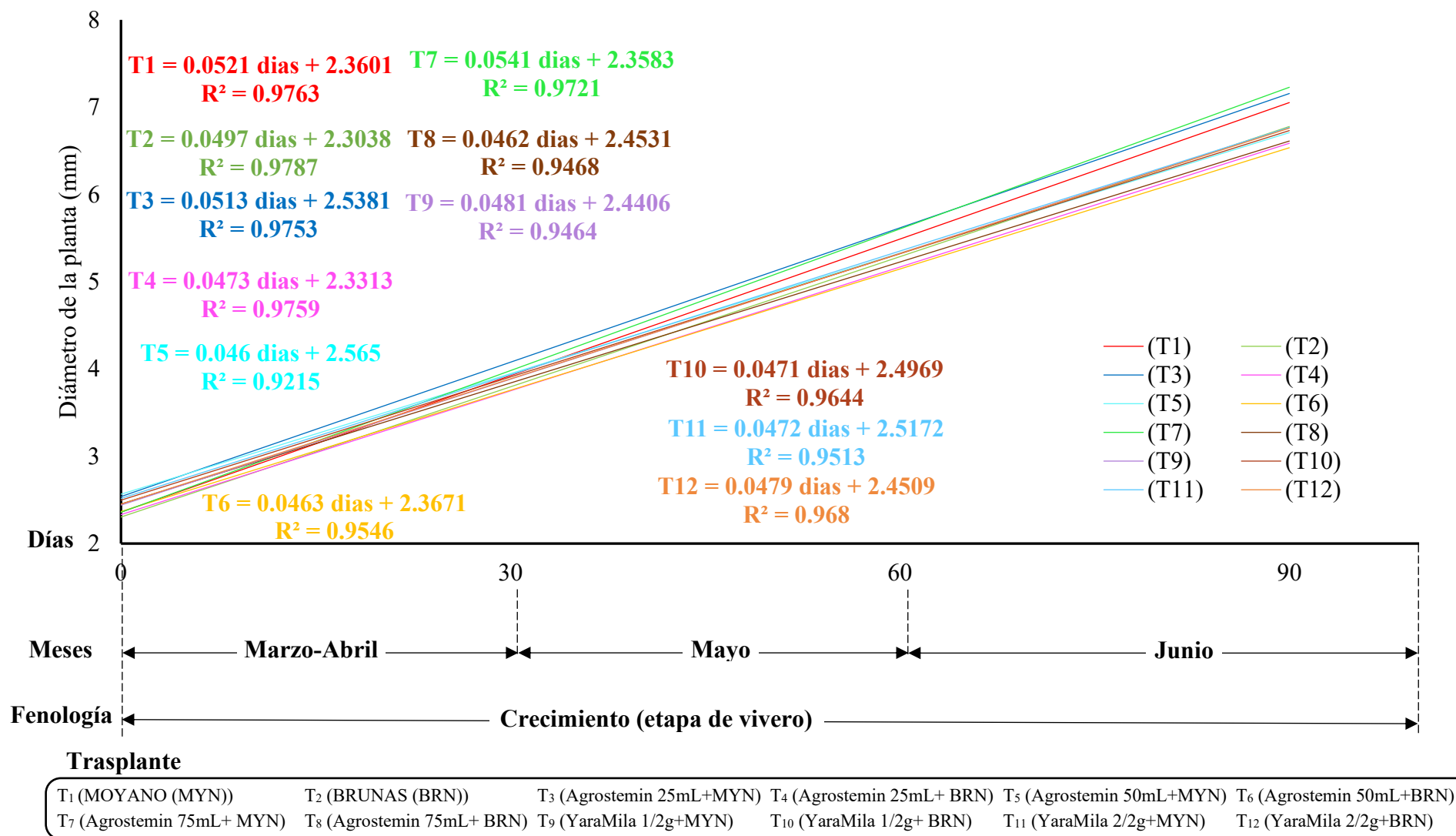


Figura 21. Incremento de altura de la planta en el cultivo de cacao cada 30 días en los tratamientos en estudio



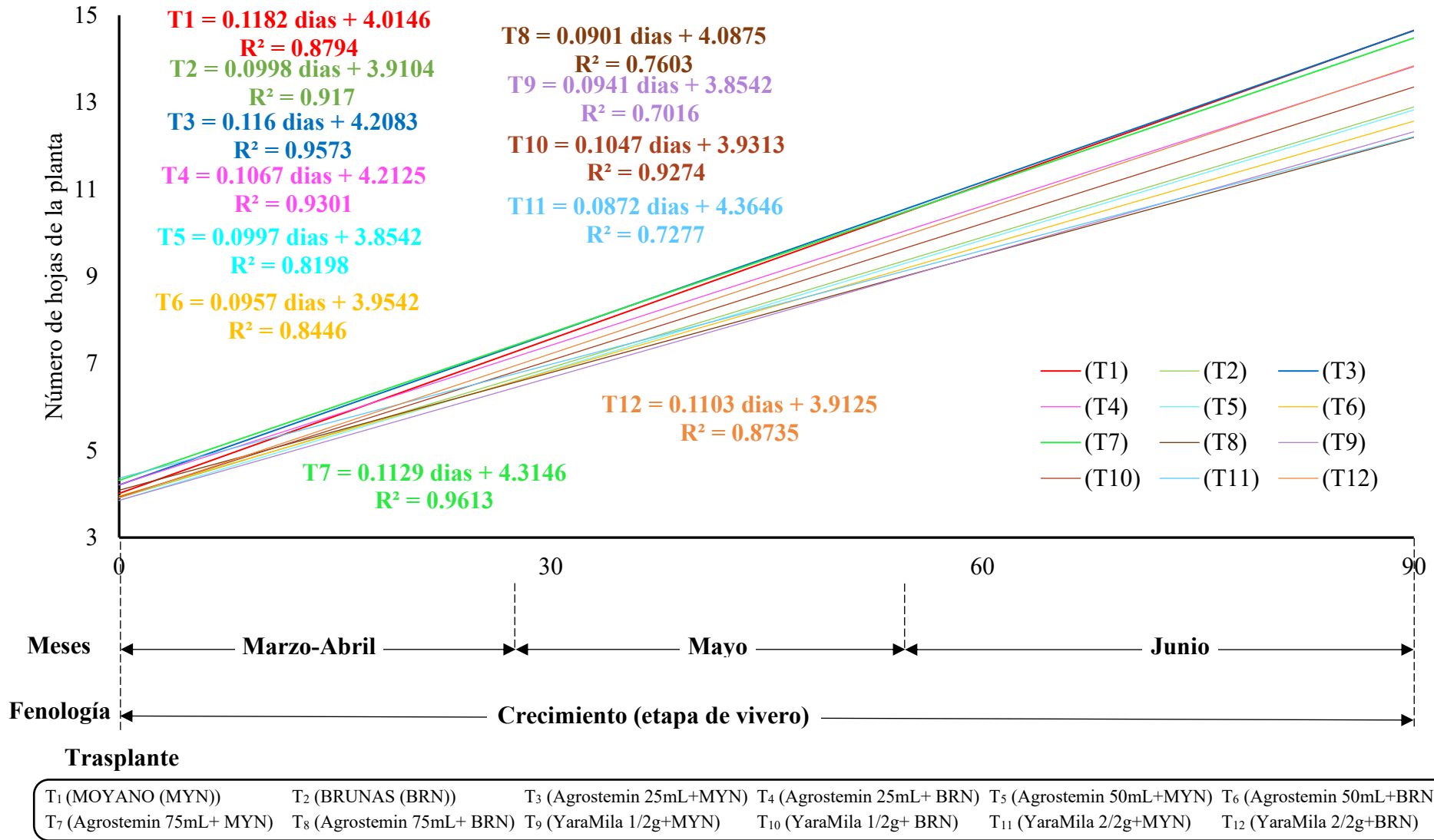


Figura 23. Incremento del número de hojas en el cultivo de cacao cada 30 días en los tratamientos en estudio.

4.1.2. Área foliar, Longitud, volumen radicular y clorofila

La 9 presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el área foliar en plantas de cacao, con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Se observa que tanto el factor bloque como el tratamiento mostraron efectos estadísticamente significativos sobre el área foliar ($p = 0,006$ y $p = 0,0001$, respectivamente), lo que indica que existen diferencias atribuibles tanto a la variación entre bloques como al efecto de los tratamientos aplicados. El error muestral presentó un cuadrado medio relativamente bajo (15,12), lo cual respalda la precisión de las mediciones. El coeficiente de variación ($CV = 12,78\%$) se ubica dentro de un rango aceptable en experimentos de campo con plantas, lo que sugiere que la variabilidad relativa de los datos fue moderada y los resultados son confiables. Sin embargo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,26$) indica que el modelo explica solo el 26% de la variabilidad total observada, lo cual refleja que, aunque los tratamientos ejercen un efecto real sobre el área foliar, existen otros factores no contemplados en el modelo que también influyen en esta variable.

En conjunto, los resultados de la 9 permiten concluir que los tratamientos evaluados generan diferencias significativas en el área foliar de las plantas de cacao, validando el análisis estadístico y justificando la aplicación de pruebas post-hoc para identificar qué tratamientos difieren entre sí. La longitud de raíz en ambas evaluaciones, el efecto del bloque y del tratamiento fue significativo (bloques: $p < 0,0001$; tratamientos: $p = 0,0001$ en la única evaluación realizada). Esto demuestra que los tratamientos aplicados influyeron positivamente en el desarrollo radicular, este resultado podría estar relacionado con la acción bioestimulante del Agrostemin, que habría favorecido una mayor absorción de agua y nutrientes

Tabla 9. Análisis de variancia (ANVA) ($\alpha = 0,05$) área foliar y longitud de raíz en las plantas de cacao

Variable	GL	Bloque	Tratamiento	E.E	Total	CV (%)	R ²	Levene	Shapiro
Área foliar	3	150,44* ($p=0,006$)	117,02* ($p=0,0001$)	25,35	575	13,395	0,27	0,21 NS	0,18 NS
Longitud de raíz	3	243,68* ($p < 0,0001$)	207,77* ($p < 0,0001$)	18,84	575	14,96	0,28	0,24 NS	0,22 NS
Clorofila (a)	3	150,44* ($p=0,006$)	117,02* ($p=0,0001$)	25,35	575	12,78	0,26		

* : Significativo
NS : no significativo

Los resultados obtenidos muestran una clara variabilidad en el rendimiento de los tratamientos evaluados. El tratamiento T₁ (Moyano) se destacó como el más

efectivo, con el promedio más alto (1 406,896 mm²), seguido por T₁₂ (1 249,841 mm²), lo que sugiere que ambos tratamientos ofrecen un rendimiento significativamente superior al de otros. En contraste, tratamientos como T₆ (Agrostemin 50 mL/20 L + Brunas) y T₁₀ (YaraMila™ Complex 1 dosis + Brunas), con promedios bajos (674,408 y 730,784 mm²) respectivamente, indican una menor eficacia, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuadamente los tratamientos para alcanzar los objetivos deseados. Las diferencias de rendimiento entre los tratamientos están reflejadas en las letras de significación, que indican qué tratamientos tienen resultados estadísticamente similares y cuáles muestran diferencias significativas.

Tabla 10. Evaluación de Tratamientos y su efectividad por Bloque del área foliar de plántones de cacao

Tratamientos	B1	B2	B3	B4	Promedio	Sig.
T ₁	1 927,204	1 074,780	1 395,114	1 230,485	1 406,896	a
T ₁₂	1 381,397	1 190,420	1 077,140	1 350,408	1 249,841	a
T ₅	1 682,840	336,200	1 564,730	981,892	1 141,416	b
T ₃	1 321,935	1 319,640	796,170	671,131	1 027,219	c
T ₁₁	1 252,277	770,885	1 252,277	791,850	1 016,822	c
T ₉	1 448,202	1 156,497	948,155	367,799	980,163	d
T ₈	810,590	710,351	967,242	986,714	868,724	e
T ₇	1 005,813	820,944	607,498	871,585	826,460	e
T ₄	822,899	722,687	985,847	718,710	812,536	f
T ₂	566,679	812,338	802,527	796,161	744,426	g
T ₁₀	801,918	576,943	860,336	683,938	730,784	g
T ₆	558,648	865,827	437,403	835,753	674,408	h

Estos posiblemente se deben a que el tratamiento T₁₂ con aplicación de dos veces de Yara Mila (suelo de Brunas) y el tratamiento T₁ (suelo Moyano), fueron independientemente beneficiadas; Básicamente esto se debió a que el tratamiento T₁₂ recibió más dosis de fósforo mejorando su desarrollo de la planta, en relación al tratamiento T₁ que según el análisis de suelo realizado tiene en su composición mayor concentración de nitratos que interviene en la fotosíntesis y acumulación de fotosintatos, de acuerdo con lo señalado por Pineda (2004), citado por Medina et al. (2010), así como por Angulo (2009) y Vinicio (2002), un aumento en el número de hojas en la planta favorece un incremento en el área foliar, lo que a su vez potencia

la producción de foto asimilados. Estos compuestos desempeñan un papel fundamental en el crecimiento de la planta, tanto en altura como en el desarrollo de otros órganos.

Tabla 11. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) de la longitud y volumen de la raíz de las plantas de cacao

Longitud de la raíz			Volumen de la raíz		
unc.			unc.		
Trat.	Media.	Sig.	Trat	Media	Sig.
T ₂	34,08	a	T ₁₂	18,75	a
T ₉	32,83	b	T ₇	17,5	b
T ₁	32,56	b	T ₅	17,5	b
T ₈	32,28	c	T ₉	17,5	b
T ₃	31,95	c	T ₁₀	16,25	b
T ₅	31,45	d	T ₄	16,25	b
T ₄	31,35	d	T ₄	16,25	b
T ₁₀	30,65	e	T ₈	15,0	b
T ₆	29,93	f	T ₁₁	15,0	b
T ₁₁	29,90	f	T ₆	15,0	b
T ₇	28,35	g	T ₃	13,75	c
T ₁₂	26,53	h	T ₁	10,0	c

Promedios seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas.

Unc.: Única evaluación al finalizar la investigación.

T₁ (MOYANO (MYN)) T₂ (BRUNAS (BRN)) T₃ (Agrostemin 25mL+MYN) T₄ (Agrostemin 25mL+ BRN) T₅ (Agrostemin 50mL+MYN) T₆ (Agrostemin 50mL+BRN)
T₇ (Agrostemin 75mL+ MYN) T₈ (Agrostemin 75mL+ BRN) T₉ (YaraMila 1/2g+MYN) T₁₀ (YaraMila 1/2g+ BRN) T₁₁ (YaraMila 2/2g+MYN) T₁₂ (YaraMila 2/2g+BRN)

En cuanto a la longitud de la raíz, el tratamiento T₂ presenta la mayor longitud con 34,08 cm, destacándose significativamente del resto de los tratamientos, mientras que el tratamiento T₁₂ tiene la longitud más baja, con 26,53 cm, siendo el único tratamiento en su propio grupo. En cuanto al volumen de la raíz, el tratamiento T₁₂ tiene el volumen más alto, con 18,75 cm³, mientras que el tratamiento T₂ presenta el volumen más bajo, con 10,00 cm³, lo que lo coloca en valores significativos. El T₂ para la longitud y el volumen, muestran un rendimiento distinto respecto a los demás e inversamente proporcional, junto con el T₁₂ en particular destacando por su menor capacidad de crecimiento en longitud, mientras que sobresale en términos de volumen de raíz.

En el caso de la evaluación de la longitud de raíces (10) existió diferencia significativa entre todos los tratamientos. Esto obedece a que hubo un efecto significativo de los tratamientos a base de fitohormonas y nutrientes esenciales sobre los plantones, teniendo como el de mayor longitud al tratamiento T₂ quien no posee ninguna aplicación con un valor de 34,08; el cual a comparación con los resultados obtenidos en otra investigación en donde a

los 40 días el producto a base de algas marinas con una dosis de 25 mL/2 L agua, obtuvo un efecto parecido con una longitud de 33,30 (Ramírez y Zambrano, 2021).

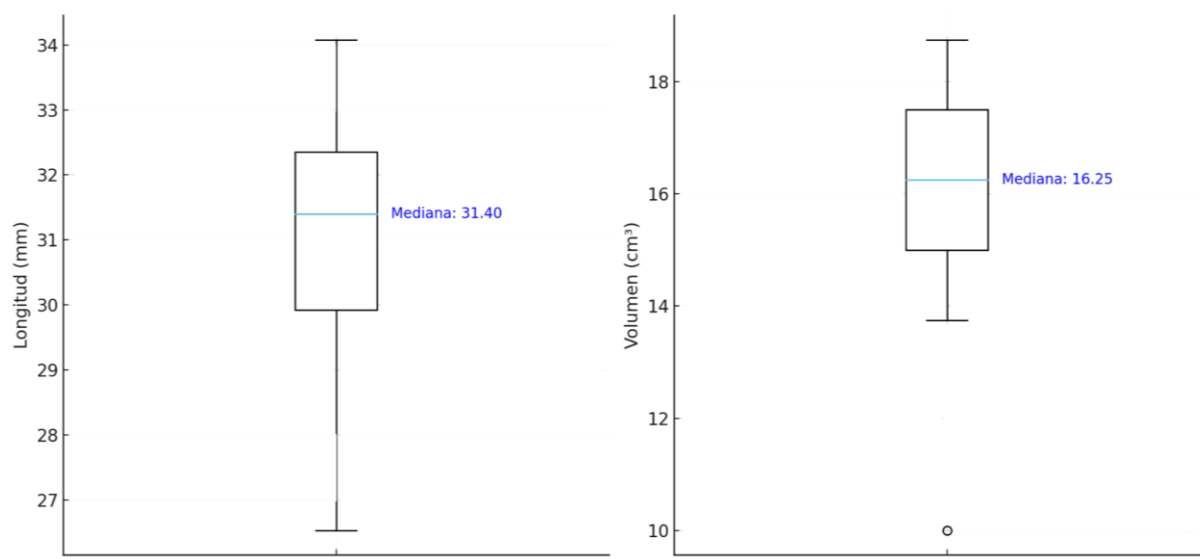


Figura 24. Mediana en Boxplot de la longitud y volumen de raíz de plantas de cacao

La diferencia entre los tratamientos en la longitud de la raíz, está limitada por la textura, tipo y volumen del sustrato, el cual depende del tamaño del contenedor en el que se encuentra, se contrapone a lo dicho por Angulo Villacorta et al.; (2021) de que los tratamientos tienen una manera casi homogénea para todos, mostrando diferencias con lo obtenido en otra investigación realizada (Figura 24), en donde se dice que la aplicación de estos estimulantes no influye significativamente en variables de desarrollo, como la longitud de raíces, contrario al peso en biomasa (Rodríguez Arrobo et al., 2023), explicando los valores obtenidos en el peso fresco de la hoja (PFH) y peso seco de la hoja (PSH) de las plantas de cacao que mostraron diferencias entre sus tratamientos.

Los elementos carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N) son nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, y su presencia o ausencia puede influir significativamente en el desarrollo radicular. En esta investigación, los tratamientos evaluados variaron en la presencia de estos elementos, particularmente a través del uso o no de bioestimulantes y nutrientes. Se observó que el tratamiento T₂, que no recibió aplicación de ningún tipo de nutriente o fitohormona, alcanzó la mayor longitud de raíz (34,08 cm), lo cual sugiere que el crecimiento en longitud no siempre requiere una alta concentración de C, H, O o N aplicados exógenamente, sino que puede deberse a condiciones más naturales del sustrato o a un mayor esfuerzo de la planta por explorar el medio en busca de nutrientes.

En contraste, el tratamiento T₁₂, que tuvo la mayor cantidad de volumen radicular (18,75 cm³) pero la menor longitud (26,53 cm), probablemente recibió una mayor

carga de nutrientes (especialmente N), lo cual habría estimulado una acumulación de biomasa en lugar de un alargamiento de raíces. Esto concuerda con lo reportado por Rodríguez Arrobo et al. (2023), donde el nitrógeno promueve un crecimiento más compacto y denso en las raíces, pero sin necesariamente incrementar su longitud.

Desde una perspectiva bioquímica, el carbono forma parte de las estructuras celulares básicas (paredes celulares, carbohidratos), el nitrógeno está directamente ligado al metabolismo proteico y al crecimiento de tejidos, mientras que el hidrógeno y oxígeno están implicados en procesos metabólicos clave como la fotosíntesis, respiración y absorción de agua. Su interacción equilibrada puede favorecer tanto la expansión celular (longitud) como la división celular (volumen), pero un exceso de uno sobre otro puede alterar esta relación.

En este sentido, el desempeño diferencial de T₂ y T₁₂ podría deberse al tipo y cantidad de C/H/O/N disponibles o aplicados, determinando si la planta prioriza el alargamiento exploratorio de la raíz (como en T₂) o su engrosamiento y acumulación de reservas (como en T₁₂).

4.1.3. Clorofila

El análisis ANVA (9) muestra que los bloques tienen un efecto significativo sobre la concentración de clorofila A, con un p valor de 0,006 y un cuadrado medio de 150,44, lo que indica que las diferencias ambientales o experimentales entre bloques influyen notablemente en la variación observada. Los tratamientos, con un p valor de 0,0001 y un cuadrado medio de 117,02, representan la principal fuente de variación, confirmando que las diferentes aplicaciones realizadas tienen un impacto claro en la acumulación de clorofila A.

Los errores muestral y experimental presentaron cuadrados medios de 15,12 y 25,35, respectivamente, lo que demuestra que las mediciones son consistentes y la variación entre repeticiones es mínima. Con un coeficiente de variación (CV) del 12,78 %, la dispersión de los datos es moderada y aceptable en este tipo de ensayos. Sin embargo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,26$) sugiere que el modelo solo explica el 26 % de la variación total, por lo que sería importante evaluar otros factores que puedan estar influyendo en la síntesis de clorofila a. Los resultados obtenidos (12) muestran que los tratamientos T₁₁, T₅, T₇, T₆, T₂, T₄, T₁, T₉ y T₁₂ alcanzaron valores elevados y estadísticamente similares de clorofila a, con promedios que oscilaron entre 41,57 (T₁₁) y 38,43 (T₁₂). Este comportamiento podría estar directamente relacionado con una mayor capacidad fotosintética, influenciada no solo por las condiciones edáficas favorables, sino también por una adecuada disponibilidad de magnesio (Mg) en el suelo. Según González (2009), un contenido elevado de pigmentos

fotosintéticos, como las clorofilas, incrementa la captación de energía lumínica, lo que permite un mayor rendimiento metabólico y productivo en las plantas.

En este sentido, tratamientos como T₁ (1,49 cmol(+)/kg), T₁₁ (1,228), T₇ (1,285) y T₅ (1,183) presentaron altos niveles de Mg intercambiable, lo que coincide con sus elevados valores de clorofila a, confirmando el papel fundamental de este nutriente en la síntesis de clorofila y en la eficiencia fotosintética (Marschner, 2012; Mengel & Kirkby, 2006). El Mg actúa como el átomo central en la molécula de clorofila y participa en la activación enzimática de numerosas reacciones metabólicas, especialmente en la fotofosforilación (Taiz et al., 2017).

Tabla 12. Prueba de clorofila a de las plantas de cacao

Clorofila a		
Trat.	Media	Sig.
T ₁₁	41,57	a
T ₅	40,80	a
T ₇	40,52	a
T ₆	40,46	a
T ₂	40,28	a
T ₄	39,80	a
T ₁	39,78	a
T ₉	39,77	a
T ₁₂	38,43	a
T ₁₀	37,89	b
T ₃	37,07	b
T ₈	36,58	b

Promedios seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas.

T₁ (MOYANO (MYN)) T₂ (BRUNAS (BRN)) T₃ (Agrostemin 25mL+MYN) T₄ (Agrostemin 25mL+ BRN) T₅ (Agrostemin 50mL+MYN) T₆ (Agrostemin 50mL+BRN)
T₇ (Agrostemin 75mL+ MYN) T₈ (Agrostemin 75mL+ BRN) T₉ (YaraMila 1/2g+MYN) T₁₀ (YaraMila 1/2g+ BRN) T₁₁ (YaraMila 2/2g+MYN) T₁₂ (YaraMila 2/2g+BRN)

Por el contrario, los tratamientos T₁₀, T₃ y T₈ registraron los promedios más bajos de clorofila a (37,89; 37,07 y 36,58, respectivamente). Este comportamiento podría atribuirse a una menor disponibilidad de Mg en el suelo, como se evidenció en los valores de 0,873 (T₁₀), 1,313 (T₃) y 0,807 (T₈). Aunque T₃ muestra un valor relativamente alto de Mg, su bajo contenido de clorofila a podría estar influenciado por otros factores limitantes como el fósforo disponible o la salinidad. En general, los tratamientos con valores bajos de Mg reflejan condiciones menos favorables para la formación de pigmentos fotosintéticos, lo que impacta

negativamente la eficiencia fotosintética y, por consiguiente, el rendimiento de las plantas (Fageria, 2009).

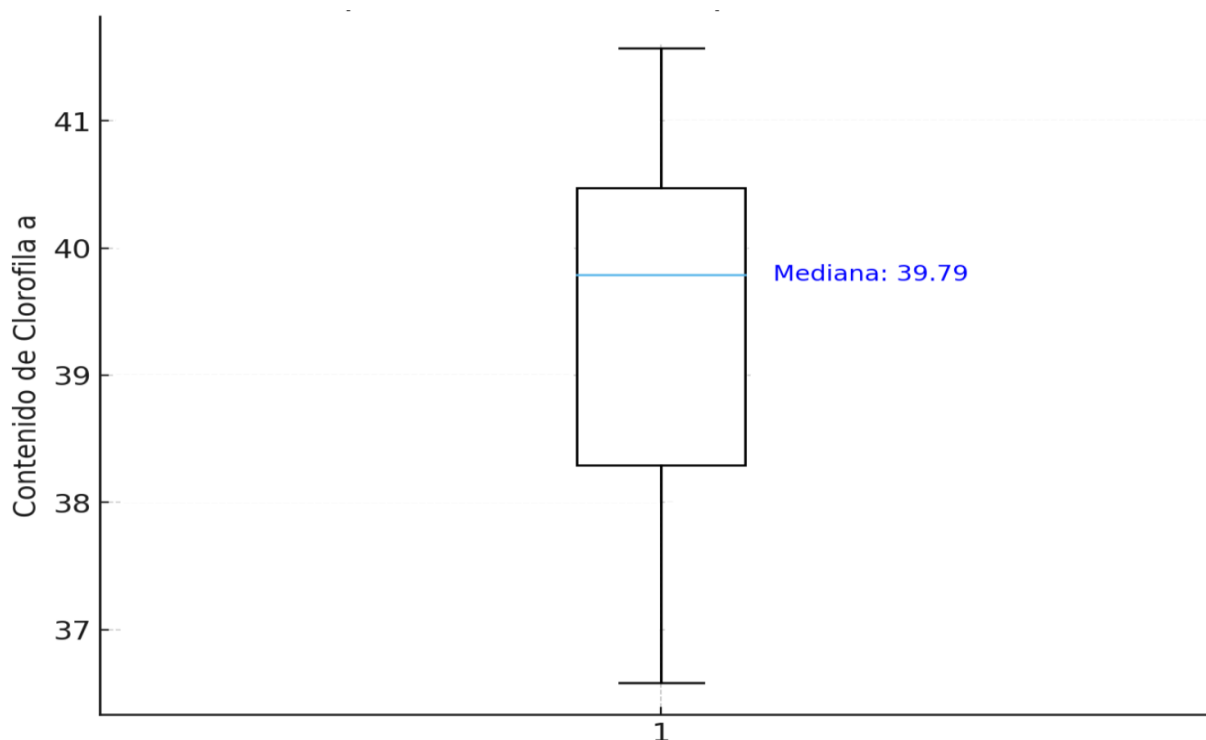


Figura 25. Contenido de clorofila a en las plantas de cacao

Los valores de clorofila a en las plantas de cacao oscilaron entre 36,58 y 41,57, con una mediana de 39,8. El boxplot (Figura 25) muestra una distribución relativamente homogénea, sin presencia de valores atípicos marcados. Según la prueba DGC, la mayoría de los tratamientos se agrupan en la misma letra (a), indicando que no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, mientras que tres tratamientos (T10, T3 y T8) se diferencian significativamente (letra b) al presentar valores menores de clorofila.

Para Luzuriaga (2003), el nitrógeno juega un papel crucial en el aumento del crecimiento vegetativo, lo que podría haber favorecido la producción de clorofila en los tratamientos con mayores promedios. El potasio, por su parte, aumenta la eficiencia en la elaboración y movilización de azúcares, lo que facilita el proceso fotosintético, mientras que el hierro actúa como un activador enzimático en la síntesis de clorofila, interviniendo directamente en la fotosíntesis y en la asimilación de nitrógeno y azufre. Estos nutrientes, presentes en las formulaciones de los tratamientos más efectivos, explican en parte la mayor concentración de clorofila observada, ya que una mejor disponibilidad de estos elementos puede optimizar la eficiencia fotosintética y mejorar el rendimiento vegetal.

4.2. Características físicas y químicas

4.2.1. Peso fresco, seco y porcentaje de humedad (%H)

En la evaluación del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la hoja (PFH), peso seco de la hoja (PSH), peso fresco del tallo (PFT), peso seco del tallo (PST), peso fresco de la raíz (PFR) y peso seco de la raíz (PSR) de las plantas de cacao (11 y 12), se encontraron diferencias estadísticas significativas entre bloques. Esto expresa que los resultados obtenidos se vieron influenciados por la heterogeneidad presente entre los bloques (Lara, 2000), lo que sugiere la presencia de dicha variabilidad. En el caso de los tratamientos, las evaluaciones que mostraron diferencias significativas fueron todos los pesos frescos y secos de las plantas de cacao, lo que permite intuir que los tratamientos aplicados a base de fitohormonas estimulantes del crecimiento y nutrientes esenciales tuvieron efectos sobre los plantones. De acuerdo con Rodríguez et al. (2023), este tipo de insumos ayudan a las plantas de cacao a mejorar el desarrollo vegetativo y la absorción de nutrientes para incrementar la masa foliar.

Con respecto a la evaluación del peso fresco y del peso seco del plantón de cacao (11), los valores obtenidos para ambos fueron ligeramente menores al 30 %, lo que indica la existencia de homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos. En la evaluación del peso fresco de la hoja (PFH) y el peso seco de la hoja (PSH) (Anexo: 11), el PFH presentó un 30,05 %, evidenciando la falta de homogeneidad, mientras que el PSH registró un valor de 26,55 %, lo que sí indica homogeneidad entre las unidades experimentales. En cuanto a la evaluación del peso fresco del tallo (PFT) y el peso seco del tallo (PST) (13), el valor obtenido en el PFT fue ligeramente menor a 26,54 %, lo que confirma homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos. Sin embargo, para el PST se alcanzó un valor de 28,12 %, lo que evidencia una falta de uniformidad entre los tratamientos.

De manera similar, en la evaluación del peso fresco de la raíz (PFR) y el peso seco de la raíz (PSR), los valores obtenidos fueron menores a 28,52 %, indicando que no existió homogeneidad entre las unidades experimentales en estudio. De acuerdo con los resultados de la evaluación del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco del tallo (PFT) y peso seco del tallo (PST) de las plantas de cacao (13), se evidenció la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Esto indica que los tratamientos influyeron de manera distinta en las variables evaluadas. Sin embargo, al estar agrupados estadísticamente algunos de ellos, se sugiere que los efectos fueron similares en ciertos casos.

En términos generales, el tratamiento T₁ presentó los valores más elevados en la mayoría de las variables, destacándose como el más favorable en esta evaluación. Para el PFP, el tratamiento T₁ (Suelo Moyano) alcanzó el mayor peso fresco de planta (46,20 g), mostrando su superioridad en comparación con todos los demás tratamientos, probablemente debido a la disponibilidad óptima de nutrientes en un suelo fértil. En contraste, el tratamiento T₂ (Suelo Brunas) obtuvo el menor valor (24,40 g), lo que evidencia la importancia de la fertilidad del suelo en el desarrollo del cacao. Por otra parte, los tratamientos con aplicaciones de fertilizantes o bioestimulantes mejoraron los valores, destacando el rendimiento de T₅ (43,15 g) y T₁₂ (41,90 g), lo que confirma que insumos como Agrostemin o YaraMila potencian el peso fresco en suelos fértiles.

Con respecto al PSP (peso seco de la planta), los tratamientos T₁ (15,83 g) y T₁₂ (15,80 g) compartieron los valores más altos, lo que confirma el efecto positivo de un suelo fértil o de un suplemento eficiente como YaraMila. Por el contrario, el tratamiento T₂ (Suelo Brunas) alcanzó el valor más bajo (9,10 g), lo que nuevamente resalta la limitación de los suelos infértiles para acumular biomasa seca. La tendencia general sugiere que tanto Agrostemin como YaraMila contribuyen significativamente al aumento del peso seco, aunque su impacto depende de las dosis y la fertilidad del suelo. En el caso del peso fresco de hojas (PFH), el tratamiento T₁ (Testigo + Suelo Moyano, sin aplicación de bioestimulantes) obtuvo el valor más alto con 18,65 g, lo que resalta el impacto positivo de un suelo fértil en la producción de biomasa foliar. Asimismo, los tratamientos T₁₂ (YaraMila COMPLEX®, 2 dosis + Suelo Brunas) y T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano) también presentaron valores elevados, con 15,15 g y 14,60 g respectivamente, lo que indica que tanto la fertilización mineral como los bioestimulantes pueden mitigar, en parte, las limitaciones de un suelo menos fértil.

En contraste, los tratamientos T₂ (Testigo + Suelo Brunas, sin insumos) y T₈ (Agrostemin 75 mL + Suelo Brunas) registraron los valores más bajos, con 8,20 g y 8,30 g, respectivamente, posiblemente debido a la baja fertilidad del suelo Brunas y, en el caso de T₈, a una sobredosificación del bioestimulante que limitó el desarrollo foliar.

En cuanto al peso seco de hojas (PSH), el tratamiento T₁ (Testigo + Suelo Moyano, sin insumos) lideró con un valor de 7,38 g, reafirmando el papel determinante del suelo fértil en la acumulación de biomasa foliar seca. Le siguieron T₁₂ (YaraMila COMPLEX®, 2 dosis + Suelo Brunas) con 6,55 g y T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano) con 6,13 g, lo que demuestra que tanto los fertilizantes minerales como los bioestimulantes mejoran el rendimiento foliar, sobre todo en suelos de buena calidad.

Tabla 13. Análisis de variancia (ANVA) ($\alpha= 0,05$) del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la hoja (PFH) y peso seco de la hoja (PSH)

Variable	GL	Bloque	Tratamiento	Error muestral	Error experimental	CV (%)	R ²
PFP	3	1575,09 (p=0,0001) S	1894,93 (p=0,0001) S	0,90	90,63	26,59	0,40
PSP	3	224,33 (p=0,0001) S	202,47 (p=0,0001) S	0,91	11,38	26,33	0,38
PFH	3	375,70 (p=0,0001) S	473,53 (p=0,0001) S	0,89	13,15	30,05	0,53
PSH	3	77,83 (p=0,0001) S	65,81 (p=0,0001) S	0,87	1,87	26,55	0,57
PFT	3	214,25 (p=0,0001) S	279,61 (p=0,0001) S	0,88	12,58	26,54	0,42
PST	3	42,07 (p=0,0001) S	23,07 (p=0,0001) S	0,89	1,57	28,12	0,43
PFR	3	248,44 (p=0,0001) S	106,91 (p=0,0001) S	0,89	10,83	28,70	0,30
PSR	3	38,40 (p=0,0001) S	17,11 (p=0,0001) S	0,87	1,63	28,52	0,37

S : Significativo
 NS : no significativo
 CM : Cuadrados medios
 GL : Grados de libertad
 CV : Coeficiente de varianza
 R² : Coeficiente de determinación
 E.f: Evaluación final

En contraste, los tratamientos T₂ (Testigo + Suelo Brunas) y T₆ (Agrostemin 50 mL + Suelo Brunas) registraron los valores más bajos, con 3,78 g y 3,70 g respectivamente, lo que evidencia que la baja fertilidad del suelo Brunas, sumada a estrategias de manejo poco adecuadas, limitó la acumulación de materia seca en las hojas. Esto pone en evidencia la necesidad de implementar intervenciones agronómicas más efectivas en suelos menos productivos para optimizar el desarrollo foliar.

En el caso del peso fresco de tallo (PFT), el tratamiento T₁ (Testigo + Suelo Moyano) nuevamente se destacó con el mayor valor registrado (17,08 g), confirmando el efecto positivo de un suelo naturalmente fértil en la acumulación de biomasa estructural. Le siguieron los tratamientos T₁₂ (YaraMila COMPLEX®, 2 dosis + Suelo Brunas) con 15,48 g, y T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano) con 15,13 g, lo que indica que la aplicación de fertilizantes minerales en dosis adecuadas, así como el uso de bioestimulantes, pueden potenciar el desarrollo del tallo, especialmente cuando se cuenta con un sustrato favorable. En contraste, el tratamiento T₂ (Testigo + Suelo Brunas) obtuvo el valor más bajo (8,90 g), lo cual evidencia que un suelo de menor calidad nutricional limita significativamente el desarrollo estructural de los plántones, incluso en ausencia de insumos. Estos resultados refuerzan la importancia de considerar tanto las condiciones edáficas como el manejo agronómico en la producción de cacao bajo condiciones controladas.

En cuanto al peso seco de tallo (PST), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T₁₂ (YaraMila COMPLEX®, 2 dosis + Suelo Brunas), T₁ (Testigo + Suelo Moyano) y T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano), los cuales registraron los valores más altos con 5,39 g, 5,18 g y 5,08 g, respectivamente. Estos resultados reflejan que tanto la fertilidad natural del suelo Moyano como el uso complementario de bioestimulantes o fertilizantes contribuyen de forma positiva a la acumulación de biomasa estructural seca en los tallos. En contraste, los tratamientos T₂ (Testigo + Suelo Brunas) y T₈ (Agrostemin 75 mL + Suelo Brunas) presentaron los valores más bajos, 3,10 g y 3,43 g respectivamente, lo cual evidencia que ni la ausencia de insumos ni el uso de dosis elevadas de bioestimulantes compensan por completo las limitaciones de un suelo de baja fertilidad. Esto sugiere que la respuesta fisiológica del tallo está estrechamente relacionada con la calidad del sustrato y la adecuada formulación de los tratamientos aplicados.

En cuanto al peso fresco de raíz (PFR), los tratamientos T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano) y T₇ (Agrostemin 75 mL + Suelo Moyano) alcanzaron los mayores valores con 14,43 g y 12,58 g, respectivamente. Esto sugiere que las dosis intermedias y altas de Agrostemin, aplicadas en un suelo de buena fertilidad como el Moyano, promueven significativamente el desarrollo del sistema radicular, favoreciendo una mayor acumulación de biomasa subterránea. En contraste, el tratamiento T₂ (Testigo + Suelo Brunas) registró el menor valor (8,15 g), lo que pone en evidencia las limitaciones del suelo Brunas cuando no se acompaña de enmiendas nutricionales o bioestimulantes. Este resultado resalta la importancia de mejorar las condiciones edáficas para optimizar el crecimiento radicular de los plántones de

cacao, particularmente en fases iniciales de vivero. Por último, en lo que respecta al peso seco de raíz (PSR), los tratamientos T₄ (Agrostemin 25 mL + Suelo Brunas) y T₅ (Agrostemin 50 mL + Suelo Moyano) obtuvieron los valores más altos, con 5,28 g y 5,25 g, respectivamente. Estos resultados indican que la combinación de un bioestimulante en dosis adecuada junto con una fertilidad edáfica moderada es favorable para la acumulación de biomasa seca en las raíces. En cambio, el tratamiento T₂ (Testigo + Suelo Brunas) registró el valor más bajo (3,08 g), lo que reafirma que un suelo de baja fertilidad, sin la incorporación de insumos bioestimulantes o fertilizantes, restringe el desarrollo eficiente del sistema radicular de las plantas.

En términos generales, el tratamiento T₁ (suelo Moyano) destacó por presentar los mayores valores en la mayoría de los parámetros evaluados, como el peso fresco de planta (46,20 g) y el peso seco de planta (15,83 g). Esto puede atribuirse a la mayor disponibilidad de nutrientes, en especial nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). El tratamiento T₂ (suelo Brunas), en contraste, mostró los valores más bajos en casi todos los parámetros, lo que evidencia las limitaciones de un suelo infértil. Desde una perspectiva bioquímica, los elementos C, H, O y N desempeñan un papel central en el crecimiento vegetal. El carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) constituyen la base estructural de carbohidratos, lípidos y proteínas, componentes fundamentales de la biomasa (Taiz et al., 2017). El nitrógeno (N), por su parte, es esencial para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, y su deficiencia se refleja en un menor desarrollo de masa foliar, como se observó en el tratamiento T₂. En relación con el peso fresco y seco de hojas, los tratamientos T₁, T₅ y T₁₂ destacaron, lo que sugiere una mayor acumulación de biomasa aérea favorecida por el uso de productos como Agrostemin y YaraMila, que contienen macro y micronutrientes esenciales.

Tabla 14. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la hoja (PFH), peso seco de la hoja (PSH), peso fresco del tallo (PFT), peso seco del tallo (PST), peso fresco de la raíz (PFR), peso seco de la raíz (PSR), de las plantas de cacao

PFP			PSP			PFH			PSH			PFT			PST			PFR			PSR		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T ₁	46,20	a	T ₁	15,83	a	T ₁	18,65	a	T ₁	7,38	a	T ₁	17,08	a	T ₁₂	5,39	a	T ₅	14,43	a	T ₄	5,28	a
T ₅	43,15	b	T ₁₂	15,80	a	T ₁₂	15,15	b	T ₁₂	6,55	b	T ₁₂	15,48	b	T ₁	5,18	a	T ₇	12,58	b	T ₅	5,25	a
T ₁₂	41,90	c	T ₅	15,45	a	T ₅	14,60	c	T ₅	6,13	c	T ₅	15,13	b	T ₅	5,08	a	T ₁₂	12,28	b	T ₁₂	4,95	a
T ₁₁	39,53	d	T ₉	13,38	b	T ₁₁	13,88	d	T ₁₁	5,85	c	T ₇	14,93	c	T ₁₁	5,05	a	T ₄	12,24	b	T ₁₁	4,83	a
T ₇	37,60	e	T ₁₁	13,13	b	T ₃	12,85	e	T ₉	5,53	d	T ₁₁	14,73	c	T ₉	4,73	b	T ₁₁	12,13	b	T ₁₀	4,55	b
T ₉	36,43	f	T ₃	12,81	c	T ₉	12,23	f	T ₃	5,39	d	T ₉	14,53	c	T ₁₀	4,63	b	T ₁	11,33	c	T ₃	4,45	b
T ₃	35,74	g	T ₄	12,33	d	T ₇	11,10	g	T ₈	4,50	e	T ₁₀	13,28	d	T ₇	4,43	b	T ₃	11,11	c	T ₇	4,45	b
T ₁₀	32,20	h	T ₇	12,23	d	T ₈	10,98	g	T ₄	4,36	e	T ₃	13,23	d	T ₃	4,38	b	T ₆	11,08	c	T ₆	4,38	b
T ₄	31,38	i	T ₁₀	12,20	d	T ₄	9,59	h	T ₇	4,35	e	T ₆	11,83	e	T ₄	4,08	c	T ₉	10,88	c	T ₉	4,33	b
T ₈	30,95	j	T ₆	11,13	e	T ₁₀	9,25	h	T ₁₀	4,23	e	T ₄	10,89	f	T ₆	4,05	c	T ₁₀	10,88	c	T ₁	4,13	b
T ₆	30,20	k	T ₈	10,95	e	T ₆	8,30	i	T ₂	3,78	f	T ₈	10,43	g	T ₈	3,43	d	T ₈	10,55	d	T ₈	4,03	b
T ₂	24,40	l	T ₂	9,10	f	T ₂	8,20	i	T ₆	3,70	f	T ₂	8,90	h	T ₂	3,10	d	T ₂	8,15	e	T ₂	3,08	c

Promedios seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas.

T₁ (MOYANO (MYN)) T₂ (BRUNAS (BRN)) T₃ (Agrostemin 25mL+MYN) T₄ (Agrostemin 25mL+ BRN) T₅ (Agrostemin 50mL+MYN) T₆ (Agrostemin 50mL+BRN)
T₇ (Agrostemin 75mL+ MYN) T₈ (Agrostemin 75mL+ BRN) T₉ (YaraMila 1/2g+MYN) T₁₀ (YaraMila 1/2g+ BRN) T₁₁ (YaraMila 2/2g+MYN) T₁₂ (YaraMila 2/2g+BRN)

La 15 presenta los porcentajes de humedad calculados a partir de la diferencia entre el peso fresco y el peso seco en los distintos órganos de la planta de cacao (planta entera, hojas, tallo y raíces) bajo los diferentes tratamientos evaluados. En términos generales, se observa que la planta entera mantiene los mayores porcentajes de humedad, con valores consistentemente superiores al 60%, lo que confirma la importancia del agua como principal componente de la biomasa vegetal. Las hojas, aunque presentan altos contenidos de humedad, muestran valores ligeramente menores respecto a la planta total, reflejando su mayor densidad estructural y concentración de tejido fotosintético. En el caso del tallo y la raíz, los porcentajes de humedad son algo más variables entre tratamientos: el tallo presenta fluctuaciones más marcadas, probablemente asociadas a diferencias en grosor y lignificación de los tejidos de soporte, mientras que la raíz se caracteriza por un contenido de humedad intermedio, lo que se explica por la coexistencia de tejidos de absorción con zonas de reserva y soporte.

Tabla 15. Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($\alpha= 0,05$) del %H de la planta, hoja, tallo y raíz

Tratamiento	% Humedad Planta	Grupo	% Humedad Hoja	Grupo	% Humedad Tallo	Grupo	% Humedad Raíz	Grupo
T ₇	67,5	a	60,8	a	70,3	a	60,7	b
T ₁₁	66,8	a	57,9	b	65,7	b	60,2	b
T ₁	65,7	a	60,4	a	69,7	a	71,4	a
T ₈	64,6	b	59,0	a	67,1	a	61,8	b
T ₅	64,2	b	58,0	b	66,4	a	58,5	c
T ₃	64,1	b	58,1	b	66,9	a	60,0	b
T ₉	63,3	b	54,8	c	67,4	a	60,2	b
T ₆	63,2	b	55,4	c	65,8	b	60,5	b
T ₂	62,7	b	53,9	c	65,2	b	62,2	b
T ₁₂	62,3	b	56,8	b	65,2	b	59,7	b
T ₁₀	62,1	b	54,3	c	65,1	b	58,2	c
T ₄	60,7	c	54,5	c	62,5	c	56,9	c

La Figura 21, que representa un diagrama de cajas o boxplot de los porcentajes de humedad, permite visualizar de manera más clara la distribución, dispersión y tendencia central de los valores en cada órgano. En esta representación se aprecia que la planta entera concentra las medianas más elevadas de humedad y con menor dispersión, confirmando la estabilidad del contenido hídrico cuando se considera la biomasa global. Las hojas muestran una mediana ligeramente menor, pero con una distribución bastante homogénea, lo que sugiere que el contenido de agua en este órgano es menos afectado por las condiciones de tratamiento. Por el

contrario, el tallo y la raíz presentan una mayor amplitud intercuartílica, evidenciando que el efecto de los tratamientos sobre la humedad es más notorio en los órganos de soporte y absorción. En el caso particular del tallo, la presencia de valores extremos indica que algunos tratamientos podrían inducir mayores pérdidas de agua o, por el contrario, favorecer su retención, reflejando la sensibilidad de este órgano a la variabilidad experimental. La raíz, aunque con porcentajes intermedios de humedad, también muestra cierta dispersión, lo cual se explica por la naturaleza heterogénea de sus tejidos y su papel en la absorción y almacenamiento de agua. En síntesis, la Figura 21 no solo confirma los patrones observados en la 15, sino que aporta una perspectiva más visual de cómo los tratamientos afectan de manera diferenciada la humedad en cada órgano, destacando la mayor estabilidad en la planta total y hojas frente a la mayor variabilidad en tallo y raíces.

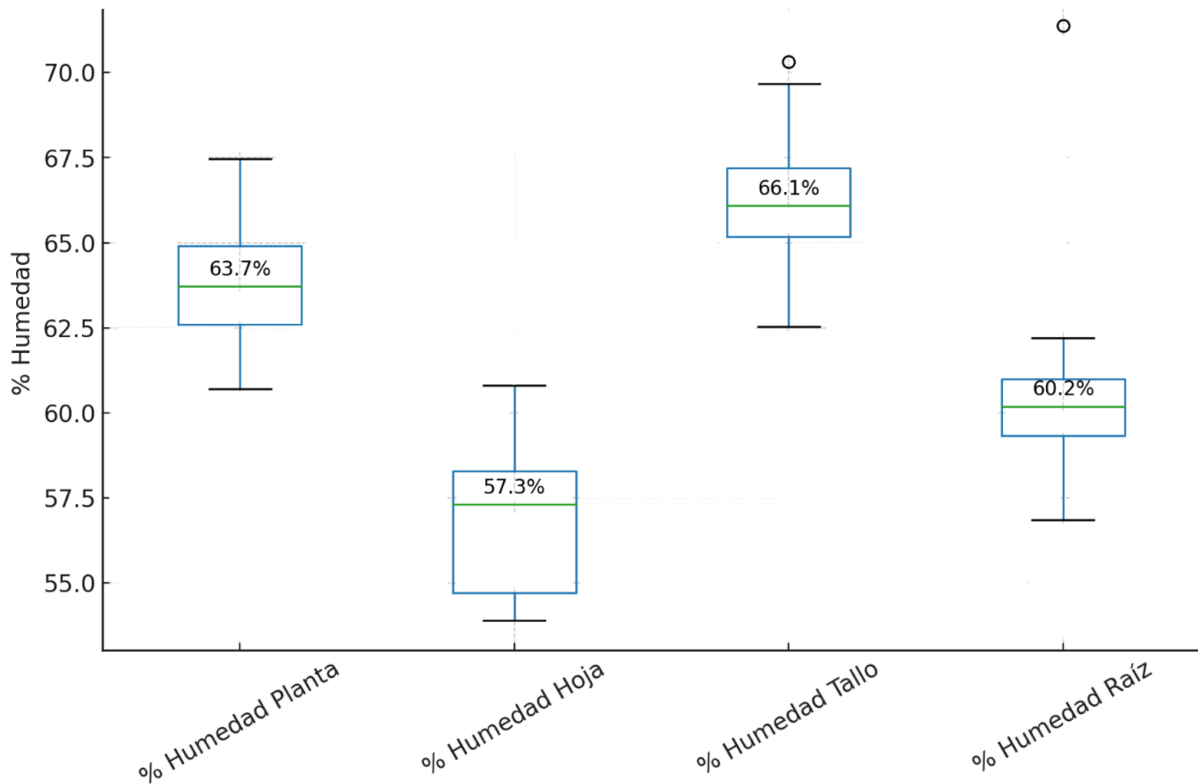


Figura 26. Cálculo del % de humedad por cada tratamiento

4.2.2. Análisis de suelo

Al observar los resultados en el análisis inicial y final del suelo obtenidos de los tratamientos en estudio (16), se destaca que, inicialmente, el suelo presentó una textura Franco, y al final del experimento fue catalogado como Franco Arenoso. Este cambio en la textura no fue significativo entre los tratamientos, lo que indica que la textura del suelo no se alteró sustancialmente debido a los tratamientos aplicados.

En cuanto al pH, se observó un aumento durante el experimento, con el pH más bajo (7.30) registrado en el tratamiento inicial y el pH más alto alcanzado por el tratamiento T₃ y T₉ con un valor de 7.80, aunque sin cambios extremos. Esto sugiere que el pH tiende a estabilizarse en un rango ligeramente alcalino, lo cual es común en suelos con aplicación de ciertos tipos de fertilizantes orgánicos. Como indica Luzuriaga (2003), los fertilizantes pueden influir en la liberación de nutrientes como calcio y potasio, que pueden contribuir a elevar el pH del suelo.

Respecto al contenido de materia orgánica (M.O), este parámetro mostró un aumento después de la aplicación de bioestimulantes, como se observa en el tratamiento T₁ que alcanzó un valor de 2,835. En comparación con el valor inicial de 2,640 este incremento refleja en algunos de los tratamientos mejora de la calidad del suelo. Este aumento en la M.O. se debe probablemente a la mineralización de la materia orgánica que favorece la disponibilidad de nutrientes, como señala (Suárez, 2012).

Con respecto a los nutrientes esenciales, el análisis muestra incrementos en los niveles de nitrógeno (N), carbono (C), fósforo (P) y potasio (K) en relación con los tratamientos aplicados. Por ejemplo, el contenido de nitrógeno aumentó de 0,132 en el inicio a un 0,142 en el tratamiento T₁. Un patrón similar se observa en el aumento del contenido de fósforo (P) y potasio (K), especialmente en los tratamientos con dosis más altas de fertilizante. Calzada (1982) menciona que no exige mayor discusión puesto que la variabilidad existente es muy pequeña y este valor se encuentra dentro del rango de aceptación para trabajos en campo definitivo

Además, en cuanto a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se observó un incremento generalizado en los tratamientos con suelo de procedencia Moyano y Agrostemin. Por ejemplo, el tratamiento T₁ y T₃ alcanzó un valor de 12,398 y 11,897 cmol (+)/kg respectivamente, lo que indica que el uso de suelo Moyano + Agrostemin 25mL de acuerdo con Tejedor (2003) mejora la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes esenciales para las plantas.

El análisis del suelo muestra una mejora generalizada en sus propiedades fisicoquímicas tras la aplicación de los tratamientos, destacando el incremento en los niveles de fósforo (P) y potasio (K), nutrientes clave para el desarrollo radicular, la floración y la resistencia del cultivo.

Incremento del fósforo (P), el fósforo disponible mostró aumentos considerables en todos los tratamientos en comparación con el valor inicial:

- En el suelo Moyano (inicial), el contenido de fósforo fue de 9,344 ppm.
- Tras los tratamientos, se observan valores significativamente superiores:
 - T₁: 88,041 ppm → incremento de +841%
 - T₃: 94,654 ppm → incremento de +914%

- T₅: 91,435 ppm → incremento de +879%
- T₁₁: 101,093 ppm → incremento de +982%
- T₉: 105,618 ppm → incremento de +1031%

Este notable aumento se debe en gran parte a la aplicación de roca fosfórica, un fosfato natural que libera lentamente fósforo al suelo, y a la ceniza vegetal, que también aporta pequeñas cantidades de fósforo soluble. Además, el uso de Agrostemin potencia la absorción de este nutriente al estimular la actividad radicular.

Incremento del potasio (K) en este caso también se observa un aumento importante:

- Valor inicial (Moyano): 155,932 ppm
- Valores finales en tratamientos destacados:
 - T₁: 207,409 ppm → incremento de +33%
 - T₃: 220,403 ppm → incremento de +41%
 - T₅: 222,902 ppm → incremento de +43%
 - T₇: 230,899 ppm → incremento de +48%
 - T₉: 259,886 ppm → incremento de +66%
 - T₁₁: 501,780 ppm → incremento de +221%

Este notable aumento en potasio es atribuible principalmente a la ceniza vegetal, fuente rica en potasio soluble, y al fertilizante YaraMila, que contiene K en forma de nitrato potásico. La cascarilla de arroz, al descomponerse, también puede liberar potasio disponible al suelo, contribuyendo a este efecto.

Los tratamientos T₁, T₃, T₅, T₇ y T₁₁, que incorporaron combinaciones de Agrostemin, roca fosfórica, ceniza vegetal y cascarilla de arroz, fueron los que generaron los mayores incrementos en los niveles de fósforo (P) y potasio (K) en el suelo. En particular, el tratamiento T₁₁ destacó con el valor más alto de potasio (501,780 ppm), lo que podría atribuirse a una aplicación más intensiva de ceniza vegetal o a una interacción sinérgica entre las enmiendas minerales y los bioestimulantes utilizados. Por otro lado, el tratamiento T₉, a pesar de presentar un contenido relativamente bajo de materia orgánica, alcanzó niveles elevados de P (105,618 ppm) y K (259,886 ppm), lo que sugiere un efecto más directo de las enmiendas minerales aplicadas que de la actividad biológica del suelo.

Este comportamiento está estrechamente relacionado con la aplicación de insumos ya mencionados, que junto a bioestimulantes como Agrostemin mejoran significativamente la disponibilidad de nutrientes. El fósforo disponible aumentó desde un valor

inicial de 9,344 ppm (suelo Moyano) hasta 105,618 ppm en T₉ y 101,093 ppm en T₁₁. A su vez, el potasio pasó de 155,932 ppm a 259,886 ppm (T₉) y 501,780 ppm (T₁₁). De acuerdo con Restrepo y Pinzón (2014), la roca fosfórica natural proporciona fósforo de liberación lenta, que se hace más disponible en suelos con alta actividad microbiológica. Castro y Gómez (2012) sostienen que la ceniza vegetal y la cascarilla de arroz son fuentes efectivas de K, Ca y Si, mejorando no solo la nutrición sino también la estructura del suelo. Además, el aumento de materia orgánica observado en el tratamiento T₁ (de 2,640 % a 2,835 %) está vinculado a procesos de mineralización favorecidos por la actividad microbiana, tal como indica Suárez (2012). Esto repercute también en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), la cual mostró valores elevados en T₁ (12,398 cmol(+)/kg) y T₃ (11,897 cmol(+)/kg), lo que coincide con lo señalado por Tejedor et al. (2003), quienes afirman que una CIC elevada mejora la retención de nutrientes en el suelo y su disponibilidad para las plantas. En conjunto, estos resultados respaldan la efectividad del uso combinado de bioestimulantes y enmiendas naturales como una estrategia sostenible para optimizar la fertilidad del suelo y favorecer el desarrollo de plantas de cacao en vivero.

Tabla 16. Análisis físico químico del suelo antes y después del experimento

Trat.	Clase Textural	pH	CE dS/m	M.O.	N	C	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg			
							disponible			Ca	Mg	K	Na
							ppm	ppm					
1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	Ca	Mg	K	Na			
MOYANO (inicial)	Franco	7,30	1,143	2,640	0,132	1,531	9,344	155,932	8,402	6,700	1,079	0,523	0,101
BRUNAS (inicial)	Franco Arcillo Arenoso	7,15	0,703	2,581	0,129	1,531	54,745	145,936	5,825	4,711	0,674	0,345	0,095
T₁	Franco Arenoso	7,70	0,440	2,835	0,142	1,644	88,041	207,409	12,398	10,446	1,490	0,359	0,103
T₂	Franco Arenoso	7,70	0,401	2,218	0,111	1,287	79,601	126,944	9,981	8,873	0,927	0,082	0,099
T₃	Franco Arenoso	7,80	0,385	2,711	0,136	1,573	94,654	220,403	11,897	10,103	1,313	0,328	0,153
T₄	Franco Arenoso	7,70	0,408	1,910	0,096	1,108	81,515	119,947	9,848	8,798	0,870	0,082	0,098
T₅	Franco Arenoso	7,80	0,376	2,020	0,101	1,172	91,435	222,902	11,662	9,911	1,183	0,400	0,167
T₆	Franco Arenoso	7,70	0,460	2,465	0,123	1,430	85,692	117,449	10,059	9,067	0,817	0,051	0,124
T₇	Franco Arenoso	7,80	0,397	2,342	0,117	1,358	83,516	230,899	11,500	9,658	1,285	0,441	0,116
T₈	Franco Arenoso	7,70	0,391	1,849	0,092	1,072	77,251	112,950	9,517	8,518	0,807	0,082	0,110
T₉	Franco Arenoso	7,80	0,377	1,479	0,074	0,858	105,618	259,886	10,930	9,135	1,183	0,503	0,109
T₁₀	Franco Arenoso	7,70	0,382	1,972	0,099	1,144	85,953	176,423	10,565	9,263	0,873	0,277	0,151
T₁₁	Franco Arenoso	7,70	0,584	2,588	0,129	1,501	101,093	501,780	11,820	9,862	1,228	0,617	0,112
T₁₂	Franco Arenoso	7,30	0,520	2,650	0,132	1,537	97,178	342,350	9,788	8,522	0,778	0,379	0,108

FINAL DEL EXPERIMENTO

T₁ (MOYANO (MYN)) T₂ (BRUNAS (BRN)) T₃ (Agrostemin 25mL+MYN) T₄ (Agrostemin 25mL+ BRN) T₅ (Agrostemin 50mL+MYN) T₆ (Agrostemin 50mL+BRN)
 T₇ (Agrostemin 75mL+ MYN) T₈ (Agrostemin 75mL+ BRN) T₉ (YaraMila 1/2g+MYN) T₁₀ (YaraMila 1/2g+ BRN) T₁₁ (YaraMila 2/2g+MYN) T₁₂ (YaraMila 2/2g+BRN)

4.2.3. Análisis económico

Los tratamientos T₁ y T₂ fueron los más rentables según la 17, con una relación B/C de S/ 3,53 debido principalmente a su bajo costo de producción al no utilizar insumos como Agrostemin o fertilizantes minerales. Sin embargo, esta rentabilidad no se relaciona con una mejor calidad de planta, ya que durante la evaluación y venta no se observaron diferencias morfológicas notables entre tratamientos, por lo que todas las plantas fueron comercializadas al mismo precio por unidad. Esto indica que la mayor rentabilidad de T₁ y T₂ se debe a menores costos y no necesariamente a un mayor valor agronómico. En esa línea, Díaz y Sánchez (2016) sostienen que en viveros agrícolas el análisis económico debe considerar no solo los costos, sino también la calidad y valor comercial de las plantas. Asimismo, Malqui (2021) explica que en contextos donde no hay diferenciación de precios por calidad, una alta relación B/C puede reflejar más eficiencia operativa que mejores resultados fisiológicos o productivos. Por lo tanto, aunque T₁ y T₂ obtuvieron los mayores beneficios económicos, esto no implica que sean los tratamientos más recomendables desde un enfoque de desarrollo vegetal e impacto a largo plazo en campo.

La compara costos de producción y rentabilidad por hectárea para 12 tratamientos (T₁ a T₁₂) en un cultivo de 1 111 plantas (Ha). Los tratamientos T₁ y T₂ resultaron ser los más rentables, con un costo total de S/ 944.2, generando una utilidad neta de S/ 2388.9 y una relación beneficio-costos (B/C) de 3.53, lo que indica una ganancia de S/ 3.53 por cada sol invertido. Por otro lado, los tratamientos T₇ y T₈ fueron los menos rentables, debido a su mayor costo total (S/ 1090.0), que redujo la utilidad neta a S/ 2243.0 y el B/C a 3.06. A medida que aumentaron los gastos por Agrostemin (de S/ 49 a S/ 146) o costos en YaraMila COMPLEX (de S/ 11 a S/ 22), como se observa en tratamientos como T₅, T₆, T₇ y T₈, se evidenció una reducción en la rentabilidad, con el B/C oscilando entre 3,06 y 3,20.

Estos resultados destacan la importancia de mantener bajos los costos de producción para maximizar la rentabilidad. Según Malqui (2021) la relación B/C superior a 2,5 es un indicador sólido de viabilidad económica en sistemas agrícolas, respaldando la eficiencia de T₁ y T₂. Rodríguez (2013) sugieren que los costos por insumos adicionales, como agroquímicos, deben evaluarse cuidadosamente, ya que su impacto negativo en la utilidad puede superar los beneficios esperados. En conclusión, los tratamientos más simples (T₁ y T₂) son económicamente más viables, mientras que la incorporación de costos adicionales en agroquímicos

Tabla 17. Evaluación de costos de producción y rentabilidad por Ha en 12 Tratamientos de plantones de cacao

Trat.	Costo de producción/ha (S/) (1111 plantas)											Rentabilidad					
	A											B	C	D	E	F	G
	PT	CV	Agr.	Yml.	MS	LIB	R	Mo	S.	Byl	CMyF	C. Total (S/.)	Plantas	I. B.	U. (S/.)	I. R.	B/C
T1	5	160	0	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	944,2	1111	3333	2388,9	2,53	3,53
T2	5	160	0	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	944,2	1111	3333	2388,9	2,53	3,53
T3	5	160	49	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	992,8	1111	3333	2340,2	2,36	3,36
T4	5	160	49	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	992,8	1111	3333	2340,2	2,36	3,36
T5	5	160	97	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	1041,4	1111	3333	2291,6	2,20	3,20
T6	5	160	97	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	1041,4	1111	3333	2291,6	2,20	3,20
T7	5	160	146	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	1090,0	1111	3333	2243,0	2,06	3,06
T8	5	160	146	0	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	1090,0	1111	3333	2243,0	2,06	3,06
T9	5	160	0	11	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	955,3	1111	3333	2377,7	2,49	3,49
T10	5	160	0	11	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	955,3	1111	3333	2377,7	2,49	3,49
T11	5	160	0	22	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	966,4	1111	3333	2366,6	2,45	3,45
T12	5	160	0	22	0,5	111	55,6	166	600	0,0	12	966,4	1111	3333	2366,6	2,45	3,45

PT: Preparación del terreno
 CV: Construcción de vivero
 MS: Mezcla de sustrato
 LIB: Llenado de bolsas

MO: Mano de obra
 S: Semilla
 Abo: Abono
 CM y F: Control de malezas y fitosanitario
 CT: Costo total

IB: Ingreso bruto
 U: Utilidad
 IR: Índice de rentabilidad
 B/C: Beneficio/Costo

Costo por Kilo= 0.95

B = A
 D = C x 0.70
 E = D - B
 F = E/B
 G = D/B

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que los tratamientos con Agrostemin, en combinación con el suelo MOYANO, influyen positivamente en las características biométricas de los plantones de cacao, destacando los tratamientos T₇ y T₁ como los más efectivos. El tratamiento T₇ (Agrostemin 75 mL + MOYANO) alcanzó diámetros de tallo de 5,96 mm y 7,03 mm en la tercera y cuarta evaluación respectivamente, así como un número promedio de hojas de 10,77 y 14,60. Por su parte, el tratamiento T₁ (testigo con MOYANO) mostró mayor altura promedio de planta (29,40 cm y 35,59 cm) y una longitud de raíz de 34,08 cm. Estos resultados superaron significativamente a tratamientos como T₆, T₄ y T₁₂, evidenciando que la fertilidad del suelo MOYANO, particularmente por su alto contenido de magnesio (Mg), desempeñó un papel determinante en el desarrollo de las plantas, incluso sin aplicación de insumos externos. Esto resalta la importancia de una adecuada calidad del sustrato como base para potenciar el efecto de bioestimulantes como Agrostemin.
2. Se determinó que las características físicas y químicas de los plantones de cacao están directamente influenciadas por el manejo nutricional (MOYANO) y el uso de Agrostemin. Los tratamientos T₁₂ y T₁ mostraron los mejores resultados en pesos frescos y secos, en el análisis de clorofila fue el T₁₁ (Yaramila 2/2 g + MYN), destacando su capacidad para optimizar la absorción de nutrientes y el desarrollo fisiológico de las plantas. Además, los suelos fértiles combinados con bioestimulantes (T₁= MOYANO y T₃=Agrostemin 25mL+MYN) contribuyeron al equilibrio fisicoquímico de las plantas, potenciando su crecimiento y salud.
3. El análisis beneficio-costo evidenció que los tratamientos T₁ (MOYANO) y T₂ (BRUNAS) representan la opción más recomendable, logrando un balance B/C de 3,53 soles por cada sol invertido, ya que combina un costo reducido con excelentes resultados biométricos, como mayor altura de planta y longitud de raíz. Aunque los tratamientos T₉ (YaraMila ½ g + MOYANO) y T₁₀ (YaraMila ½ g + BRUNAS) con un B/C de 3,49 soles mostraron un buen desempeño, peor su implementación resulta más costosa. Por ello, T₁ se posiciona como la alternativa más viable para sistemas de producción con recursos limitados, logrando un balance óptimo entre inversión y rendimiento.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar un estudio complementario que evalúe el desempeño de los plántones tratados con Agrostemin y YaraMila™ durante su trasplante y desarrollo en condiciones de campo abierto. Esto permitirá determinar si los beneficios observados en la fase de vivero se mantienen en etapas posteriores del ciclo productivo.
2. Investigar la posibilidad de optimizar las dosis de Agrostemin y YaraMila™ aplicadas, explorando diferentes concentraciones y frecuencias de aplicación para maximizar la relación costo-beneficio sin comprometer el rendimiento de los plántones.
3. Ampliar el alcance de la investigación evaluando el efecto de los tratamientos en plántones de cacao cultivados en suelos con diferentes características fisicoquímicas, incluyendo suelos altamente ácidos o degradados, para validar su eficacia en distintas condiciones edafoclimáticas.
4. Realizar investigaciones que combinen Agrostemin y YaraMila™ con otros bioestimulantes, como extractos de algas marinas o aminoácidos, para explorar sinergias que puedan potenciar aún más el crecimiento y desarrollo de los plántones.
5. Llevar a cabo un estudio del impacto ambiental asociado al uso de Agrostemin y YaraMila™, considerando su efecto en la calidad del suelo y agua, así como la sostenibilidad económica y ecológica de su aplicación a largo plazo en sistemas agroforestales.

VII. REFERENCIAS

- Andina. (2020). Día del Cacao y del Chocolate: Perú destaca por su producción de cacao fino (pp. 1–3).
- Angulo Villacorta, C. D., Mathios Flores, M. A., Racchumi García, A., Bardales-Lozano, R. M., y Ayala Montejo, D. (2021). Growing of cacao seedlings (*Theobroma cacao*) in the nursery, using different volumes of substrate. *Manglar*, 18(3), 261–266. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.034>
- Angulo, F. (2009). Evaluación de cuatro bioestimulantes comerciales en el desarrollo de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar Nacional (Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Riobamba, Ecuador.
- Arana González, C. J. (2021). Efecto de bioestimulante en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), Simón Bolívar. Universidad Agraria del Ecuador.
- Bravo Belesaca, A. I. (2022). Efecto de la aplicación de giberelina y citoquinina en post germinación del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). Universidad Agraria del Ecuador.
- Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L., y Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 141. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.369>
- Calzada Benza, J. (1982). *Métodos Estadísticos* (Lima (ed.); 3er ed.).
- Castillo, R. y Romero, V. (2015). *Uso combinado de fertilizantes y reguladores de crecimiento en vivero de cítricos*. *Fitotecnia Tropical*, 38(1), 12–20.
- Castro, M., y Gómez, L. (2012). *Manual de agricultura orgánica: alternativas para una producción sostenible*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Cuvi Ramírez, M. B., Rodríguez Guerra, Y., Carrera Sánchez, K. M. E., Asanza Novillo, G. M., y Soria Re, S. L. (2013). Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de *Theobroma cacao* L. en vivero del “Recinto el Capricho”, Provincia de Napo, Ecuador. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología*, 2(1), 31–40. <https://doi.org/10.59410/racyt-v02n01ep04-0024>
- De la Vega Polanco, M. (2021, febrero). Cacao: manjar del progreso rural. Editorial- Lima Peru.

- De Sousa, W. N., Brito, N. F., Felseburgh, C. A., Vieira, T. A., y Lustosa, D. C. (2021). Evaluation of trichoderma spp. Isolates in cocoa seed treatment and seedling production. *Plants*, 10(9), 1–10. <https://doi.org/10.3390/plants10091964>
- Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA). (2018). Buenas prácticas en el cultivo de cacao: protocolos técnicos. Editado por la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA).
- Díaz, L., y Sánchez, M. (2016). *Evaluación económica de viveros agroforestales: Costos, eficiencia y calidad del producto*. *Revista de Economía Agraria*, 32(1), 45-62. <https://doi.org/10.1234/rea.v32i1.567>
- Elizondo Villalobos, J. A. (2010). Evaluación de prohexadione-ca, trinexapac etil, ácido 2-(Cloroetil) fosfónico y extracto de plantas y mezclas de bacterias sobre la biomasa y rendimiento del arroz (*Oryza sativa*) variedad CER-09. Instituto Tecnológico De Costa Rica.
- Enríquez Jaramillo, F., Castro, C., y Jiménez Pozo, P. (2018). Caracterización de los efectos el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero. *Revista Alfa*, 2(5), 101–116. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i5.42>
- Espejo Meza, J. C. (2010). Efecto de diferentes sustratos en la producción de plantones del *Theobroma cacao* L. cacao criollo en el sector de Jacintillo - Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- García, L., Castro, F. A., Hernández Amasifuen, A. D., Corazon Guivin, M. A., Vásquez, J. A., Guerrero Abad, J. C., Arellanos, E., Veneros, J., Rojas B., N. B., Quintana, S. C., y Oliva, M. (2021). Global studies of cadmium in relation to *Theobroma cacao*: A bibliometric analysis from Scopus (1996 -2020). *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 611–623. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.065>
- Gómez, R., Garcia, R., Tong, F., y Gonzales, C. (2014). Paquete tecnológico del cultivo del cacao fino de aroma (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito para el Perú y el Ecuador – UNODC (ed.)).
- González, A. (2009). Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología*, 4, 111-116.
- Gubler, F., Chandler, P. M., White, R. G., Llewellyn, D. J., y Jacobsen, J. V. (2002). Gibberellin signaling in barley aleurone cells. Control of SLN1 and GAMYB expression. *Plant Physiology*, 129(1), 191–200. <https://doi.org/10.1104/pp.010918>

- Gutiérrez, M., Gómez, R., y Rodríguez, N. (2011). Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria*, 12(1), 33–41.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2023). *Theobroma cacao* L., Taxonomic Serial N°: 505487. *Taxonomy*.
- Jordán, M., y Casaretto, J. (2016). Capítulo XV Hormonas y Reguladores del Crecimiento : Auxinas , Giberelinas y Citocininas (Fisiología Vegetal. Universidad de La Serena (ed.)).
- Lara, A. (2000). Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS. *Diseño experimental*, 4, 1–38.
- Lara, L. (2000). *Diseños experimentales en investigación agrícola*. Editorial AgroCiencia.
- López Padrón, I., Martínez González, L., Pérez Domínguez, G., Reyes Guerrero, Y., Núñez Vázquez, M., y Cabrera Rodríguez, J. A. (2020). Algae and their uses in agriculture. An update. *Cultivos Tropicales*, 41(2), 10.
- López, M., Pérez, A., y Vargas, D. (2022). *Influencia del sistema radicular en la eficiencia del uso de nutrientes en cacao*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(1), 45-53.
- Lozano, J. y Fonseca, C. (2016). *Efectos de condiciones microclimáticas sobre el desarrollo vegetal en vivero*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 45–53.
- Luzuriaga, C. (2003). Curso de fertilidad de suelos. Instituto Agropecuario Superior Andino, Sangolquí - Ecuador. pp. 3-13.
- Malqui Ramos, R. F. (2021). Efecto de diferentes sustratos orgánicos en la aclimatación de plantas obtenidas in vitro de pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. schum. ex Vaupel) Moran [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. En Repositorio Institucional UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2306>
- Malqui, M. (2021). *Rentabilidad en sistemas agrícolas sostenibles: Herramientas para la evaluación económica de insumos y tecnologías en viveros*. Fondo Editorial UNALM.
- Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Martinez Rodríguez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario jurídico y económico Escorialense*, 38, 317–321, 330–331. <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3057-y>

- Martínez, J., Calderón, L. y Yupanqui, D. (2020). *Respuesta de plántulas de aguaymanto (Physalis peruviana) a la aplicación de bioestimulantes*. Revista Latinoamericana de Agronomía, 27(3), 89–97.
- Medina, G., García, E., Moratinos, P., Cova, J., y Clavero, T. (2010). Evaluación en vivero de especies con potencial para sistemas agroforestales en estado de Trujillo, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 27(1), 232–250.
- Mendoza Meneses, C. J., Feregrino Pérez, A. A., Guevara González, R. G., y García Trejo, J. F. (2023). Implementation of pre-harvest techniques in emerging agroforestry systems to increase the yield of cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). Heliyon, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14542>
- Noles Leon, M. J. (2020). Evaluación de enmiendas orgánicas: efectos en la producción y fitosanidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN-51. Universidad Técnica de Machala.
- Novalés, A. (2010). *Análisis de Regresión* (1a ed.). Universidad Complutense.
- Pérez Bonilla, L. A. (2020). Uso del extracto de alga (*Ascophyllum nodosum*) como bioestimulador en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la zona de Babahoyo. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Pineda Cordero, K. G. (2021). Universidad Nacional de Loja Universidad Nacional de Loja Vicerrectorado Académico. Universidad Nacional de Loja.
- Quitral R., V., Morales G., C., Sepúlveda L., M., y Schwartz M., M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. Revista Chilena de Nutrición, 39(4), 196–202. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000400014>
- Ramírez, G., y Zambrano, B. (2021). Comportamiento agronómico del cacao CCN51(*Theobroma cacao* L.) usando Bioestimulantes orgánico a base de extractos de algas marinas. (Tesis de pregrado). La Maná.
- Restrepo, J. D., y Pinzón, A. (2014). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Reyes, M., García, A. y Ugarte, L. (2018). *Efecto de bioestimulantes hormonales en el crecimiento de plántulas de café*. Revista Agraria Peruana, 20(2), 145–152.
- Rodríguez Arrobo, T. M., Cajamarca Crespo, K., Barrezueta Unda, S., Luna Romero, A. E., y Villaseñor Ortiz, D. (2023). Efectos de bioestimulantes en el crecimiento morfológico de plántulas de cacao en etapa de vivero. Manglar, 20(2), 117–122. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.013>

- Rodríguez Silva, Y. F. (2013). Efecto de la aplicación de seis dosis de algas marinas sobre la germinación y características fenotípicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. Universidad de Guayaquil.
- Rodríguez, L., Sánchez, J., y Guevara, M. (2023). Efecto de bioestimulantes en el crecimiento del cacao en etapa de vivero. *Revista Agroproductividad*, 16(3), 22-30.
- Rueda Atavillos, M. A. (2008). Efecto de tres bioestimulantes en el enraizamiento de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN - 51, mediante acodos aéreos en Tingo María [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/120>
- Sáenz López, K., y Tamez González, G. (2014). Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en Ciencias Sociales (M. Asensi Pérez, R. Cotarelo, M. T. Echenique Elizondo, J. M. Fernández Soria, P. Oñate Rubalcaba, J. Romero, y J. Tamayo (eds.); 1a 1ªed.).
- Sánchez Rodríguez, M. (2015). Análisis físico-químico de suelos (Universidad Nacional Agraria de la Selva (ed.)).
- Sánchez, F. y Villalba, J. (2017). *Importancia del fósforo en el desarrollo radicular de especies tropicales*. *AgroCiencia*, 34(1), 55–62.
- SENAMHI. (2022). Meteorología Estación tulumayo-Jose crespo y castillo.
- SERFI. (2020). Ficha técnica: AGROSTEMIN®-GL. Editado y producido por SERFI.
- Suárez, M. (2012). *El suelo y la nutrición vegetal en sistemas agrícolas sostenibles*. Fondo Editorial Universitario.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., y Murphy, A. (2017). *Fisiología vegetal* (6.ª ed.). Sinauer Associates.
- Tejedor, M., Jiménez, C., y Rodríguez, M. (2003). *Propiedades y manejo de suelos volcánicos*. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA).
- Vesga Castro, J. R. (2018). Efecto de un bioestimulante a base de algas marinas *Ascophyllum nodosum* sobre la longitud del tallo y en la producción de rosa tipo exportación, variedades vulcano y tressor, en flores de Bojacá. Universidad de los Llanos.
- Vinicio, M. (2002). Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas: Absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje. Laboratorio de Suelos, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Waizel, S., Waizel, J., Magaña, J. A., Campos, P., y San Esteban, J. E. (2012). Cacao y chocolate : seducción y terapéutica. *Anales médicos*, 57(3), 236–245.

ANEXOS



ANÁLISIS DE SUELOS



1. DATOS

SOLICITANTE:	TONY GRANDEZ AGUILAR	MUESTREADO POR:	MONICA ROBLES TRINIDAD
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	30/01/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INCICIO DE ENSAYO:	30/01/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	21/02/2023
SECTOR:	UNAS - TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	23003592
NOMBRE DE LA PARCELA:	FACULTAD DE AGRONOMIA	OBSERVACIÓN:	1 BOLSAS CON 1KG DE MUESTRA

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECANICO				pH	CE dS/cm	M.O. %	N %	C %	P ppm	K ppm	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidos Cambiables	Saturación de Aluminio
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural																%	%	%
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA DEL SOLICITANTE					1:1	1:1					CMBIABLES		Cmol(+)/kg				%	%	%			
1	S0011	SUELO	42	23	35	Franco	7.30	1.143	2.640	0.132	1.531	9.344	155.932	8.402	6.700	1.079	0.523	0.101	0.000	0.000	8.402	100.000	0.000	0.000

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing^o GILMER MUYTÓN NEIRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Figura 27. Análisis de suelo infértil inicial del experimento



ANÁLISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	GRANDEZ AGUILAR TONY	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	8/08/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	9/08/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	24/08/2023
LOCALIDAD:	TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	20471
MUESTRA:	HOJAS DE CACAO	OBSERVACION:	VIVERO DE AGRONOMIA - UNAS

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	RESULTADOS EN BASE HUMEDA			RESULTADOS EN BASE SECA										
Código	Referencia			Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E0126	T1	61.897	38.103	25.191	12.911	0.224	66.115	33.885	1.135	1.604	0.602	0.038	1.754	95.067	621.580	50.789	1545.810
E0127	T2	61.575	38.425	26.317	12.108	0.840	68.489	31.511	2.015	1.513	0.718	0.017	1.590	99.603	444.980	11.642	724.386
E0128	T3	63.904	36.096	25.134	10.962	1.680	69.631	30.369	1.242	1.652	0.588	0.013	1.799	43.914	325.238	9.606	1040.211
E0129	T4	61.076	38.924	26.022	12.902	0.224	66.854	33.146	1.700	1.570	0.666	0.013	1.512	83.850	494.207	7.623	833.419
E0130	T5	62.686	37.314	26.100	11.214	2.408	69.948	30.052	1.158	1.611	0.564	0.013	1.766	39.857	277.670	6.643	1208.994
E0131	T6	62.398	37.602	26.192	11.410	0.672	69.656	30.344	1.134	1.556	0.676	0.018	1.538	62.458	586.846	5.205	908.245
E0132	T7	62.967	37.033	25.233	11.800	0.448	68.136	31.864	1.166	1.603	0.553	0.024	1.824	43.868	392.156	10.635	1167.162
E0133	T8	62.897	37.103	24.032	13.070	0.840	64.772	35.228	1.164	1.673	0.559	0.019	1.750	50.099	709.301	14.502	1335.542
E0134	T9	61.342	38.658	28.032	10.626	1.344	72.514	27.486	1.620	1.418	0.663	0.011	1.775	72.995	386.369	16.361	517.257
E0135	T10	63.193	36.807	23.627	13.179	2.744	64.193	35.807	1.134	1.520	0.501	0.014	1.692	47.760	593.022	19.900	615.575
E0136	T11	64.451	35.549	25.078	10.471	3.248	70.544	29.456	1.164	1.619	0.548	0.035	2.069	52.111	390.829	35.655	937.991
E0137	T12	62.777	37.223	25.831	11.392	2.632	69.396	30.604	1.082	1.586	0.554	0.017	1.851	39.558	445.683	22.416	760.826

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe sin la autorización.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA


DR. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531



Figura 28. Análisis foliar final del experimento



ANÁLISIS DE SUELOS



1. DATOS

SOLICITANTE:	GRANDEZ AGUILAR TONY	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	8/08/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	8/08/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	18/08/2023
SECTOR:	VIVERO AGRONOMIA	RECIBO O FACTURA:	20471
CULTIVO ANTERIOR:	CACAO	OBSERVACION:	---

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE dS/m	M.O. %	N %	C %	P ppm	K ppm	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiabiles %	Acidos Cambiabiles %	Saturación de Aluminio %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural																		
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CAMBIABLES Cmol(+)/kg											
1	S1122	T1	58	18	25	Franco Arenoso	7.70	0.440	2.835	0.142	1.644	88.041	207.409	12.398	10.446	1.490	0.359	0.103	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
2	S1123	T2	60	18	23	Franco Arenoso	7.70	0.401	2.218	0.111	1.287	79.601	126.944	9.981	8.873	0.927	0.082	0.099	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
3	S1124	T3	62	18	21	Franco Arenoso	7.80	0.385	2.711	0.136	1.573	94.654	220.403	11.897	10.103	1.313	0.328	0.153	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
4	S1125	T4	58	18	25	Franco Arenoso	7.70	0.408	1.910	0.096	1.108	81.615	119.947	9.848	8.798	0.870	0.082	0.098	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
5	S1126	T5	60	16	25	Franco Arenoso	7.80	0.376	2.020	0.101	1.172	91.435	222.902	11.662	9.911	1.183	0.400	0.167	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
6	S1127	T6	58	18	25	Franco Arenoso	7.70	0.460	2.465	0.123	1.430	85.692	117.449	10.059	9.067	0.817	0.051	0.124	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
7	S1128	T7	60	18	23	Franco Arenoso	7.80	0.397	2.342	0.117	1.358	83.516	230.899	11.500	9.658	1.285	0.441	0.116	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
8	S1129	T8	58	18	25	Franco Arenoso	7.70	0.391	1.849	0.092	1.072	77.251	112.950	9.517	8.518	0.807	0.082	0.110	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
9	S1130	T9	62	18	21	Franco Arenoso	7.80	0.377	1.479	0.074	0.858	105.618	259.886	10.930	9.135	1.183	0.503	0.109	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
10	S1131	T10	58	16	27	Franco Arenoso	7.70	0.382	1.972	0.099	1.144	85.953	176.423	10.565	9.263	0.873	0.277	0.151	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
11	S1132	T11	62	18	21	Franco Arenoso	7.70	0.584	2.588	0.129	1.501	101.093	501.780	11.820	9.862	1.228	0.617	0.112	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000
12	S1133	T12	58	20	23	Franco Arenoso	7.30	0.520	2.650	0.132	1.537	97.178	342.350	9.788	8.522	0.778	0.379	0.108	0.000	0.000	—	100.000	0.000	0.000

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Figura 29. Análisis de suelo final del experimento

Tabla 18. Promedios de evaluación de variables fisiológicas al terminar el experimento

BLO-QUE	Longitud Raíz (cm)	Volumen Real	Peso Fresco Hojas	Peso Fresco Tallo	Peso Fresco Raíz	Peso Fresco Total	Peso Seco Hojas	Peso Seco Tallo	Peso Seco Raíz	Peso Seco Total	Materia Seca %
B1	32,17	13,75	18,23	16,65	10,9	45,78	6,95	4,75	3,7	15,4	33,59
B2	33,65	10	7,78	8,48	7,72	23,98	3,35	2,68	2,65	8,68	36,8
B3	31,18	13,75	12,12	12,52	10,4	35,05	4,7	3,68	3,7	12,1	34,36
B4	30,6	16,25	8,9	10,2	11,55	30,65	3,68	3,38	4,55	11,6	37,73

Tabla 19. Promedios de variables biométricas durante el experimento

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Nº Hojas
T1	38,16 ± 7,04	6,74 ± 1,07	17,0 ± 3,26
T2	35,43 ± 3,05	6,47 ± 0,53	14,24 ± 1,81
T3	35,65 ± 6,23	6,84 ± 0,70	16,19 ± 3,71

Tabla 20. Análisis nutrimental de los plantones

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	Na	K	Zn	Fe	Cu	Mn
T ₁	1,736	0,0804	1,1304	0,3405	0,1535	0,9141	26,0154	215,0801	4,9483	81,5737
T ₂	1,96	0,2112	1,55	0,2802	0,154	0,9463	20,9354	93,5494	4,2255	106,8376
T ₃	1,68	0,2109	1,1429	0,3127	0,1599	0,9416	26,3843	121,358	5,2572	94,8754
T ₄	1,288	0,2638	1,3759	0,3996	0,1099	0,9546	28,0027	94,6434	5,4639	137,8183
T ₅	1,792	0,1607	1,3	0,3188	0,115	0,9706	17,8108	93,9473	2,6423	101,3847
T ₆	1,624	0,1775	1,2731	0,3356	0,138	0,9067	28,6699	106,2557	5,7436	142,3443
T ₇	1,456	1,1289	1,0865	0,3302	0,1004	0,8579	18,4978	38,9427	3,7969	72,6768
T ₈	1,904	0,1821	1,5531	0,3216	0,1421	0,8943	26,1846	141,8131	5,4208	149,6055
T ₉	2,128	0,1633	1,2092	0,2752	0,1027	0,9505	18,6826	120,3775	3,0335	84,4569
T ₁₀	1,96	0,3552	1,4198	0,3497	0,1394	0,9192	31,4653	99,2628	5,2041	76,8082
T ₁₁	1,848	0,0952	1,2999	0,3168	0,1501	0,9973	28,4839	48,6074	6,5134	108,9778
T ₁₂	1,568	0,3994	1,6646	0,4155	0,1453	0,9851	28,7144	77,7378	4,4699	160,4557

Tabla 21. Análisis de clorofila

R ₁					R ₂					R ₃					R ₄				
T ₁	P ₁	34,6	P ₄	33,5	T ₁	P ₁	42,6	P ₄	40,4	T ₁	P ₁	40,2	P ₄	37,4	T ₁	P ₁	49,7	P ₄	48,2
	P ₂	30,5	P ₅	28,4		P ₂	47	P ₅	47,3		P ₂	32,1	P ₅	33,5		P ₂	45,9	P ₅	43,5
	P ₃	39,6	P ₆	37,4		P ₃	44,1	P ₆	45		P ₃	40,1	P ₆	34,6		P ₃	39,3	P ₆	39,7
T ₂	P ₁	27,4	P ₄	27,3	T ₂	P ₁	45,6	P ₄	45,6	T ₂	P ₁	38,5	P ₄	38	T ₂	P ₁	35,4	P ₄	35,8
	P ₂	48,7	P ₅	44,8		P ₂	35,4	P ₅	38,4		P ₂	46,5	P ₅	37,6		P ₂	40,3	P ₅	32,4
	P ₃	41,9	P ₆	40,8		P ₃	50	P ₆	47		P ₃	40,2	P ₆	37,6		P ₃	43,9	P ₆	47,6
T ₃	P ₁	35,1	P ₄	33	T ₃	P ₁	39,4	P ₄	41	T ₃	P ₁	47,7	P ₄	45,7	T ₃	P ₁	42,8	P ₄	41,3
	P ₂	37,2	P ₅	35,9		P ₂	42,6	P ₅	34,4		P ₂	35	P ₅	42,1		P ₂	34,9	P ₅	32,4
	P ₃	38,9	P ₆	34,4		P ₃	32,2	P ₆	35,4		P ₃	35,5	P ₆	31,7		P ₃	28,9	P ₆	32,2
T ₄	P ₁	31,5	P ₄	34,8	T ₄	P ₁	44,3	P ₄	41,2	T ₄	P ₁	34	P ₄	41,3	T ₄	P ₁	39,4	P ₄	48,8
	P ₂	36,9	P ₅	37,2		P ₂	39,2	P ₅	40,7		P ₂	40	P ₅	37,1		P ₂	44,1	P ₅	49,4
	P ₃	29,5	P ₆	35		P ₃	44,7	P ₆	42,9		P ₃	39,5	P ₆	36,2		P ₃	40,8	P ₆	46,8
T ₅	P ₁	37,3	P ₄	39,4	T ₅	P ₁	40,8	P ₄	38,9	T ₅	P ₁	40,6	P ₄	31,8	T ₅	P ₁	47,6	P ₄	50,7
	P ₂	46,8	P ₅	45,8		P ₂	39	P ₅	41,9		P ₂	47	P ₅	42,3		P ₂	36,1	P ₅	38,1
	P ₃	50	P ₆	39,6		P ₃	32,7	P ₆	32,6		P ₃	36,9	P ₆	36,5		P ₃	43,4	P ₆	43,3
T ₆	P ₁	36,5	P ₄	31,4	T ₆	P ₁	45	P ₄	41,2	T ₆	P ₁	30,7	P ₄	46,2	T ₆	P ₁	40	P ₄	38,8
	P ₂	40	P ₅	34,9		P ₂	43,5	P ₅	45,7		P ₂	40,8	P ₅	46,5		P ₂	38,8	P ₅	41,6
	P ₃	40,4	P ₆	41,6		P ₃	42,6	P ₆	40,4		P ₃	34,7	P ₆	40,6		P ₃	42,4	P ₆	46,8
T ₇	P ₁	50,2	P ₄	49,1	T ₇	P ₁	35,4	P ₄	40,4	T ₇	P ₁	41,4	P ₄	43,2	T ₇	P ₁	35,2	P ₄	38,3
	P ₂	41,4	P ₅	43,5		P ₂	35,4	P ₅	34,2		P ₂	46	P ₅	40,8		P ₂	37,8	P ₅	39,7
	P ₃	39,3	P ₆	39,2		P ₃	39,2	P ₆	36,3		P ₃	41,3	P ₆	43,9		P ₃	43,2	P ₆	38
T ₈	P ₁	32,3	P ₄	31,5	T ₈	P ₁	35,6	P ₄	34,1	T ₈	P ₁	37,9	P ₄	36,8	T ₈	P ₁	36,7	P ₄	35,8
	P ₂	33,2	P ₅	29,8		P ₂	36,9	P ₅	38,5		P ₂	43,6	P ₅	46,4		P ₂	35,8	P ₅	38,5
	P ₃	37,3	P ₆	38,9		P ₃	41,7	P ₆	39		P ₃	42	P ₆	39,4		P ₃	25,7	P ₆	30,6
T ₉	P ₁	38,9	P ₄	35,7	T ₉	P ₁	40,9	P ₄	38,4	T ₉	P ₁	47,6	P ₄	44	T ₉	P ₁	43,3	P ₄	40,8
	P ₂	38,2	P ₅	43,2		P ₂	45	P ₅	45,5		P ₂	32,7	P ₅	35,7		P ₂	36,8	P ₅	35,2
	P ₃	42,1	P ₆	36		P ₃	30,1	P ₆	38,1		P ₃	41,9	P ₆	48,1		P ₃	35,6	P ₆	40,6
T ₁₀	P ₁	32,5	P ₄	34,3	T ₁₀	P ₁	38,3	P ₄	38,8	T ₁₀	P ₁	38	P ₄	42,2	T ₁₀	P ₁	37,6	P ₄	45
	P ₂	38,6	P ₅	33,4		P ₂	32,3	P ₅	35		P ₂	36,9	P ₅	37,9		P ₂	31,7	P ₅	38,8
	P ₃	35,7	P ₆	37,5		P ₃	41,1	P ₆	43,1		P ₃	39,8	P ₆	35,3		P ₃	44,6	P ₆	40,9
T ₁₁	P ₁	36,3	P ₄	36	T ₁₁	P ₁	44	P ₄	41,4	T ₁₁	P ₁	50	P ₄	46,9	T ₁₁	P ₁	38,9	P ₄	40,8
	P ₂	47,6	P ₅	41,4		P ₂	37	P ₅	42,5		P ₂	43,1	P ₅	40,7		P ₂	39,5	P ₅	37,4
	P ₃	44,2	P ₆	43,6		P ₃	43,2	P ₆	45,3		P ₃	49,2	P ₆	37,7		P ₃	35,2	P ₆	35,7
T ₁₂	P ₁	39,9	P ₄	44,4	T ₁₂	P ₁	36,1	P ₄	30,9	T ₁₂	P ₁	34,7	P ₄	37,5	T ₁₂	P ₁	36,1	P ₄	33,6
	P ₂	38,3	P ₅	41,7		P ₂	42,3	P ₅	47,1		P ₂	49,5	P ₅	31,5		P ₂	41,1	P ₅	31,8
	P ₃	37,2	P ₆	31,9		P ₃	44,4	P ₆	43,5		P ₃	33,4	P ₆	34,5		P ₃	42,2	P ₆	38,7