

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



**EFFECTO DE LOS BIOFERMENTOS DE GALLINAZA Y COMPOST EN EL  
CRECIMIENTO DE PLANTONES DE *Theobroma cacao***

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR  
ARACELI THALIA PIZANGO MORALES**

**Asesor  
JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO**

**Tingo María – Perú  
2024**



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](mailto:fagro@unas.edu.pe).

**"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**N° 013-2024-FA-UNAS**

BACHILLER : ARACELI THALIA PIZANGO MORALES

TÍTULO : "EFECTO DE LOS BIOFERMENTOS DE GALLINAZA Y  
COMPOST EN EL CRECIMIENTO DE PLANTONES DE  
*Theobroma cacao*"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. VICTORINO RIVAS PULACHE  
VOCAL : M.Sc. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA  
VOCAL : M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS

ASESOR : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 17/07/2024

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:30 A.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA AUDIVISUAL DE LA F.A

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 17 DE JULIO DEL 2024

.....  
Dr. VICTORINO RIVAS PULACHE  
PRESIDENTE

.....  
M.Sc. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA  
VOCAL

.....  
M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS  
VOCAL

.....  
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 280 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación 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 DE SIMILITUD
EFFECTO DE LOS BIOFERMENTOS DE GALLINAZA Y COMPOST EN EL CRECIMIENTO DE PLANTONES DE <i>Theobroma cacao</i>	ARACELI THALIA PIZANGO MORALES	<b>21 %</b> <b>Veintiuno</b>

Tingo María, 02 de octubre de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo

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



**EFFECTO DE LOS BIOFERMENTOS DE GALLINAZA Y COMPOST EN EL  
CRECIMIENTO DE PLANTONES DE *Theobroma cacao***

**Autor** : Araceli Thalia Pizango Morales

**Asesor** : Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano

**Área de investigación** : Suelos y fertilizantes

**Línea (s) de investigación** : Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos

**Eje temático de investigación** : Abonos orgánicos en plantones de cacao

**Lugar de ejecución** : Vivero “El Agrónomo” – Facultad de Agronomía – UNAS

**Duración del trabajo** : 8 Meses

**Financiamiento** : S/ 3 421,25

**Tingo María – Perú. Agosto, 2024**

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

#### REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Agronomía
Título de tesis	: Efecto de los biofermentos de gallinaza y compost en el crecimiento de plántones de <i>Theobroma cacao</i>
Autor	: Araceli Thalia Pizango Morales
DNI	: 76035412
Correo electrónico	: araceli.pizango@unas.edu.pe
Asesor de tesis	: Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
Escuela profesional	: Agronomía
Área de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea (s) de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos
Eje temático de investigación	: Abonos orgánicos en plántones de cacao
Lugar de ejecución	: Vivero “El Agrónomo” – Facultad de Agronomía – UNAS
Duración del trabajo	: 8 Meses
Inicio	: Setiembre del 2020
Término	: Abril del 2020
Financiamiento	: S/ 3 421,25
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

**Tingo María – Perú. Agosto, 2024**

## DEDICATORIA

A Dios quien supo guiarme por el buen camino, dándome la fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas .

A mi madre Rosario Morales Ushiñahua, por ser un ejemplo para mí, por su apoyo constante y su inmenso cariño.

A mis hermanas Dany Pizango Morales y Erica Pizango Morales, por sus consejos, sus valores y por compartir su fortaleza de mujeres guerreras

A mis hermanos, por su cariño y apoyo moral, a mi papá que desde el cielo me ha cuidado y sé que está orgulloso.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional.
  
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano en condición de asesor por sus enseñanzas, consejos, revisión académica y supervisión hasta la culminación de este trabajo.
  
- Al Dr. Victorino Rivas Pulache en su condición de presidente, por su apoyo en la ejecución, culminación y revisión académica del proyecto.
  
- A los miembros del jurado de tesis M. Sc. Jaime Joseph Chávez Matías y M. Sc. Luis Germán Mansilla Minaya, por su revisión académica y científica, valiosa en el desarrollo y culminación del informe del presente trabajo de investigación.
  
- A la encargada del vivero de la Facultad de Agronomía (UNAS), Ing. Erica Guisella Merino Maguiña, por brindarnos un espacio en el vivero “El Agrónomo” para realizar dicho trabajo de investigación.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades del cultivo de cacao.....	3
2.1.1. Características botánicas .....	3
2.1.2. Variedades .....	4
2.1.3. Propagación .....	5
2.1.4. Principales labores culturales en vivero .....	5
2.1.4.1. Control de malezas.....	5
2.1.4.2. Control de plagas .....	5
2.1.4.3. Riego .....	6
2.2. Enmiendas orgánicas .....	6
2.2.1. Gallinaza.....	7
2.2.2. El compost.....	7
2.2.3. Biofermentos .....	8
2.2.4. Biosólidos .....	9
2.3. Trabajos relacionados al estudio.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
3.1. Lugar de ejecución.....	11
3.1.1. Características agroclimáticas .....	11
3.1.2. Características edafoclimáticas .....	11
3.2. Material y métodos .....	12
3.2.1. Material para la preparación de biodigestores.....	12
3.2.2. Material para la instalación del experimento.....	12
3.2.3. Análisis inicial de suelo.....	12
3.2.4. Análisis de los biosólidos .....	13
3.2.5. Análisis del biol de gallinaza y compost .....	14
3.2.6. Metodología.....	15
3.2.7. Tratamientos .....	15
3.2.8. Diseño experimental y análisis estadístico .....	15
3.2.9. Características del campo experimental .....	16
3.2.10. Croquis del experimento.....	16



3.3.	Ejecución del experimento .....	18
3.3.1.	Instalación de los biodigestores.....	18
3.3.2.	Extracción de tierra.....	18
3.3.3.	Ubicación de la parcela .....	18
3.3.4.	Preparación del sustrato.....	19
3.3.5.	Llenado de bolsas .....	19
3.3.6.	Ubicación de bolsas en vivero.....	19
3.3.7.	Obtención de semillas.....	20
3.3.8.	Riego y control fitosanitario.....	20
3.4.	Variables evaluadas .....	20
3.4.1.	Parámetros biométricos .....	20
3.4.1.1.	Altura de plantas .....	20
3.4.1.2.	Diámetro del tallo de plantas .....	20
3.4.1.3.	Número de hojas .....	21
3.4.1.4.	Área foliar .....	21
3.4.1.5.	Longitud y volumen del sistema radicular.....	21
3.4.1.6.	Peso fresco y seco de plantas.....	21
3.4.2.	Análisis de caracterización de los sustratos al final del experimento .	21
3.4.3.	Análisis de rentabilidad .....	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1.	Parámetros biométricos .....	23
4.1.1.	Altura de plantas.....	23
4.1.2.	Diámetro .....	29
4.1.3.	Número de hojas.....	34
4.1.4.	Área foliar.....	38
4.1.5.	Longitud y volumen de raíces .....	41
4.1.6.	Peso fresco y seco.....	48
4.2.	Análisis de caracterización de los sustratos.....	53
4.3.	Análisis de rentabilidad o beneficio-costo de los tratamientos .....	58
V.	CONCLUSIONES .....	61
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	62
VII.	REFERENCIAS.....	63
	ANEXOS.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Análisis físico-químico inicial del suelo .....	13
2. Análisis químico especial de los biosólido de gallinaza y compost.....	14
3. Análisis químico especial de los bioles de gallinaza y compost.....	14
4. Tratamientos en estudio .....	15
5. Modelo del análisis de varianza para un DCA.....	16
6. Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de altura de plantas de cacao a los 150 días después de la siembra. ....	25
7. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de altura de plantas de cacao a los 150 días después de la siembra (promedio $\pm$ error estándar).....	26
8. Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de diámetro del tallo de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra.....	31
9. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de diámetro del tallo de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio $\pm$ error estándar).....	32
10. Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de número de hojas de plantas de cacao evaluadas a los 150 días después de la siembra.....	36
11. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de número de hojas de plantas de cacao evaluado a los 150 días después del trasplante (Promedio $\pm$ error experimental).....	37
12. Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra .....	39
13. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del área foliar de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio $\pm$ error estándar).....	40
14. Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra .....	42
15. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio $\pm$ error estándar).....	43
16. Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de peso fresco y seco de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra.....	48
17. Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de peso fresco y seco de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio $\pm$ error estándar).....	49
18. Análisis físico-químico final de los sustratos compuestos por dos tipos de bio-fermentos, cuatro dosis de cada uno. ....	56

19.	Análisis de rentabilidad de plantas de cacao en los tratamientos de estudio. ....	59
20.	Evaluación de alturas de plantas de cacao a los 30 días (cm).....	75
21.	Evaluación de altura de plantas de cacao a los 60 días (cm) .....	76
22.	Evaluación de altura de plantas de cacao a los 90 días (cm) .....	77
23.	Evaluación de altura de plantas de cacao a los 120 días (cm) .....	78
24.	Evaluación de altura de plantas de cacao a los 150 días (cm) .....	79
25.	Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 30 días (mm).....	80
26.	Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 60 días (mm).....	81
27.	Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 90 días (mm).....	82
28.	Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 120 días (mm).....	83
29.	Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 150 días (mm).....	84
30.	Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 30 días (mm).....	85
31.	Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 60 días (mm).....	86
32.	Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 90 días (mm).....	87
33.	Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 120 días (mm).....	88
34.	Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 150 días (mm).....	89
35.	Evaluación de longitud y volumen de raíces de plantas de cacao a los 150 días.....	90
36.	Evaluación de peso fresco y seco de plantas de cacao a los 150 días.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Imagen satelital del lugar de ejecución de la tesis .....	11
2. Distribución de repeticiones y tratamientos en el campo experimental.....	17
3. Croquis de una unidad experimental dentro de un tratamiento.....	17
4. Instalación de los biofermentos: a. Preparación del área para los bio fermentos y b. Mezcla de las enmiendas con agua y colocación en el biodigestor .....	18
5. Llenado de bolsas: a. Biosólido después del colado y b. Peso de los sustratos .....	19
6. Diagrama del crecimiento en altura de plantas de cacao hasta los 150 días después de la siembra. ....	24
7. Altura de plantas por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde la siembra. ....	27
8. Dispersión del crecimiento en diámetro de plántones de cacao hasta los 150 días después de la siembra.....	30
9. Diámetro del tallo de plantas por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	33
10. Dispersión del número de hojas/plantón en diámetro de plantas de cacao hasta los 150 días después de la siembra. ....	35
11. Número de hojas/plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	38
12. Área foliar de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	41
13. Longitud de raíz de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	45
14. Volumen de raíz de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	47
15. Peso fresco de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	50
16. Peso seco de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra. ....	52
17. Material para la preparación de biofermentos.....	91
18. Tierra agrícola para llenado de bolsas.....	92
19. Llenado de bolsas.....	92

20.	Siembra de semillas de cada bolsa .....	93
21.	Evaluación de diámetro de tallo de plantas.....	93
22.	Evaluación de altura de plantas.....	94
23.	Evaluación de longitud de raíz.....	94
24.	Evaluación de volumen de raíz .....	95
25.	Visita de jurados, plantas del tratamiento T <sub>5</sub> (40 % biosólido de compost) mueren ..	95
26.	Plantas del tratamiento T <sub>10</sub> (30 % biosólido + 3 L biol de compost) mueren.....	96
27.	Visita de jurados.....	96
28.	Análisis inicial de suelo (Caracterización).....	97
29.	Análisis especial de compost y gallinaza .....	98
30.	Análisis especial de biol compost y gallinaza.....	99
31.	Análisis final de sustratos (Caracterización).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), con el propósito de examinar cómo los biosólidos de gallinaza y compost afectan el crecimiento de plantas de cacao en su fase de vivero. Se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA) que incluyó 11 tratamientos distribuidos en cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza para evaluar las características estudiadas, utilizando el software estadístico InfoStat. En este estudio, se observó que el biofermento de gallinaza superó al biofermento de compost en todas las variables evaluadas, el análisis detallado de los tratamientos reveló notables diferencias en las propiedades del sustrato, destacando que el tratamiento T<sub>5</sub> (40 % de biosólido de compost) presentaba una textura franca arcillo arenosa y mayor alcalinidad, seguido por el T<sub>6</sub> (30 % de biosólido de compost), en cuanto al contenido de MO, el T<sub>5</sub> sobresalió por su elevado contenido, mientras que el T<sub>6</sub> mostró valores elevados en potasio (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). En términos de crecimiento de las plantas, se determinó que los tratamientos T<sub>2</sub> (30 % de biosólido de gallinaza), T<sub>7</sub> y T<sub>6</sub> (20 % y 30 % de biosólido de compost) exhibieron la mayor altura, diámetro de tallo y número de hojas, además, la mayor longitud de raíz se observó en los tratamientos T<sub>4</sub> (10 % de biosólido de gallinaza), T<sub>2</sub> (30 % de biosólido de gallinaza) y T<sub>9</sub> (30 % de biosólido + 3 L de biol de gallinaza), asimismo, el mayor volumen de raíz se registró en el tratamiento T<sub>1</sub> (40 % de biosólido de gallinaza), y el peso fresco y seco fueron más altos en los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub>. En términos de utilidad económica, se destacó que el tratamiento T<sub>4</sub> (10 % de biosólido de gallinaza) generó la mayor utilidad (U) con un valor de 34,74 soles, un costo beneficio (C/B) de 1,57 soles y un índice de rentabilidad (I.R) de 0,57 soles. Estos resultados indican la eficacia y el potencial económico del uso de biosólidos en el cultivo de plantas, especialmente en el caso específico del tratamiento T<sub>4</sub>.

**Palabras claves:** Biol, estiércol, enmiendas orgánicas, compost

# **The Effect of the Bioferments from Chicken Manure and Compost on the Growth of *Theobroma cacao* Seedlings**

## **Abstract**

The research was carried out in the school of agronomy's plant nursery at the Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS – acronym in Spanish), with the purpose of examining how the biosolids from chicken manure and compost affect the growth of cacao seedlings during the nursery phase. A completely randomized design (CRD; DCA in Spanish) was used, which included eleven treatments distributed into four repetitions. A variance analysis was done using the Infostat statistical software in order to evaluate the characteristics in study. In this study it was observed that the bioferment from the chicken manure surpassed the bioferment from the compost for all of the variables that were evaluated. The detailed analysis of the treatments revealed notable differences between the properties of the substrata, highlighting the fact that treatment T<sub>5</sub> (40% biosolid from compost) presented a loamy, sandy, clay-like texture and a greater alkalinity, followed by T<sub>6</sub> (30% biosolid from compost). With respect to the OM (MO in Spanish) content, T<sub>5</sub> stood out for its elevated content, while T<sub>6</sub> showed elevated values for the potassium (K) and the cation exchange capacity (CEC; CIC in Spanish). In terms of plant growth, it was determined that treatments T<sub>2</sub> (30% biosolid from chicken manure), T<sub>7</sub> and T<sub>6</sub> (20% and 30% biosolid from compost) exhibited the greatest height, stalk diameter and number of leaves; moreover, the greatest root length was observed for treatments T<sub>4</sub> (10% biosolid from chicken manure), T<sub>2</sub> (30% biosolid from chicken manure) and T<sub>9</sub> (30% biosolid + 3 L biol from chicken manure). At the same time, the greatest root volume was recorded from treatment T<sub>1</sub> (40% biosolid from chicken manure), and the fresh and dry weights were the highest for treatments T<sub>1</sub> and T<sub>4</sub>. In terms of the economic utility, it stood out that treatment T<sub>4</sub> (10% biosolid from chicken manure) generated the greatest utility (U) with a value of 34.74 soles, a cost to benefit [ratio] (C/B) of 1.57 soles and a profitability index (PI; IR – acronym in Spanish) of 0.57 soles. These results indicated the efficacy and the economic potential for the use of biosolids in the cultivation of plants, especially in the specific case of treatment T<sub>4</sub>.

**Keywords:** biol, manure, organic fertilizers, compost

## I. INTRODUCCIÓN

El principal reto que enfrentamos en la preservación del medio ambiente es la protección de los suelos y la materia orgánica (MO), el uso excesivo de fertilizantes sintéticos, con sus efectos adversos como costos elevados y degradación de la biología del suelo, nos lleva a considerar un cambio de enfoque hacia prácticas agrícolas más ecológicas y, por ende, sostenibles, utilizando recursos y elementos orgánicos disponibles a nivel local. Una de las tareas cruciales para establecer plantaciones de cacao es obtener plantas de alta calidad que garanticen buenos rendimientos y productividad, esto se logra utilizando semillas seleccionadas, que se recomiendan por su capacidad de producción y su resistencia a las enfermedades, además, es esencial complementar estos factores con un manejo adecuado de las plantas en el vivero.

Los pequeños agricultores cultivan cacao junto con otras especies forestales y frutales, un método tradicional de cultivo con sombra que ofrece beneficios como el reciclaje de nutrientes y el aumento de la materia orgánica en el suelo, en contraste, los agricultores medianos y grandes suelen cultivar cacao sin sombra, utilizando riego por inundación y un uso excesivo de pesticidas, lo que a largo plazo conduce a la degradación del suelo, esta degradación provoca la acidificación del suelo y la disminución de la microflora y fauna del suelo que son esenciales para la descomposición de la materia orgánica, afectando la fertilidad natural, para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas de cacao, se han utilizado ampliamente en la agricultura abonos orgánicos, biosólidos y abonos líquidos foliares, aprovechando la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes.

La siembra de cacao y su fertilización no han sido efectivas entre los agricultores del distrito de Rupa Rupa, en la provincia de Leoncio Prado y otras áreas, debido a la falta de información que les permita utilizar técnicas adecuadas para mejorar su producción, esto incluye considerar el tipo de cacao a sembrar, la dosificación de fertilizantes y los elementos que estos contienen, esenciales para que la planta absorba los nutrientes necesarios desde su inicio, actualmente, se estima que el 90 % de los productores de cacao no instalan sus propios viveros o lo hacen de manera inadecuada, utilizando materiales no adaptados al entorno y sin un plan de fertilización adecuado, esto resulta en plantas de calidad deficiente, ya que no presentan las características necesarias para garantizar su desarrollo óptimo, como consecuencia, el sector cacaotero enfrenta problemas significativos, como la alta mortalidad de las plántulas tanto en la fase de vivero como después del trasplante. En base a los antecedentes, el proyecto de investigación se centró en el diseño de estrategias orientadas a encontrar



alternativas para mejorar la nutrición de las plantas en la fase de vivero y las plántulas de cacao mediante el uso de abonos orgánicos, se buscó que estos abonos contribuyeran a obtener plántulas vigorosas que pudieran servir como patrones, en este contexto, se formuló la hipótesis sobre cuál de los biosólidos y en qué dosis permitiría un mejor crecimiento y obtención de los plantones de cacao en la fase de vivero.

### **1.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de los biofermentos de gallinaza y compost en el crecimiento de plantones de cacao CCN-51.

### **1.2. Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto del biosólido y biol de la gallinaza y compost en el crecimiento de plantones de cacao CCN-51.
2. Evaluar el efecto de las dosis o nivel de biosólido de la gallinaza y compost en el crecimiento de plantones de cacao CCN-51.
3. Realizar el análisis de rentabilidad o beneficio-costo de los tratamientos en estudio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo de cacao

Se define como un árbol leñoso y de porte relativamente bajo, el cual pertenece a la familia Malvaceae y a la especie *Theobroma cacao* L (Valenzuela, 2021), se puede reproducir mediante cruce sexual, que produce semillas, o por cruce asexual utilizando estacas, acodos y yemas (Gárate et al., 2015). Es un árbol del bosque tropical originario del sur de América, conocido comúnmente como cacao, el término cocoa se refiere a los productos elaborados a partir de sus semillas secas y fermentadas (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2017).

#### 2.1.1. Características botánicas

A continuación, se presenta una descripción botánica del árbol de cacao (Arvelo et al., 2017; Ramírez-Guillermo et al., 2018)

##### a) Morfología:

El cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio, que puede ser liso o levemente peludo en sus ramas jóvenes, su corteza es oscura, generalmente de color gris-café, y las ramas son marrones y finamente vellosas, las hojas son simples y coriáceas, de textura dura y espesa, con formas que varían de angostas-ovadas a obovado-elípticas, son ligeramente asimétricas, alternas y pueden ser lisas o ligeramente peludas en ambas caras, con una longitud de aproximadamente 17 a 48 cm y un ancho de 7 a 10 cm, la base de las hojas es redondeada o ligeramente en forma de corazón, y el ápice es largamente apiculado, el pecíolo mide entre 14 y 27 mm de largo, mientras que las estípulas son lineares y caducas.

Las inflorescencias del cacao son caulinares, surgiendo del tallo, y tienen una estructura cerrada, las flores, de 10 a 20 mm de diámetro, son pentámeras, hermafroditas y actinomorfas, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo, los sépalos son blancos o rosa claro, de 5 a 8 mm de largo y 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceolados, persistentes y fusionados en la base, los pétalos, que son un poco más largos que los sépalos, miden de 6 a 9 mm de largo, son amarillentos con nervios violetas internos, glabros y redondeados o abruptamente atenuados en la parte inferior, recurvados y apiculados.

El cacao tiene 10 estambres lineares, de los cuales cinco son fértiles y alternan con cinco estaminodios, todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo, los estambres fértiles, de 2.5 a 3 mm de largo, se encuentran frente a los pétalos, mientras que los estaminodios, de color violeta, miden entre 6.5 y 7.5 mm de largo, el ovario, de 2 a 3

mm de largo, es anguloso, ovado, ligeramente pentagonal y pentámero, con los óvulos dispuestos en dos filas que contienen de 6 a 16 óvulos por fila.

El fruto del cacao es una baya grande, conocida como mazorca, que puede ser esférica o fusiforme, y su color varía de púrpura a amarillo cuando madura, es glabra, con una longitud de 10 a 35 cm y un ancho de 7 cm, pesando entre 200 y 1 000 g, y presenta de 5 a 10 surcos longitudinales, el endocarpio es grueso, de 4 a 8 mm, duro, carnoso y leñoso, las semillas son de color café-rojizo, ovadas y ligeramente comprimidas, con dimensiones que varían de 20 a 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor.

#### **b) Variabilidad:**

La especie *T. cacao* incluye una amplia gama de formas y poblaciones diversas, actualmente, para caracterizar estas formas y cultivares, se utilizan no solo características morfológicas (como las flores), sino también agronómicas (como la resistencia a enfermedades, la forma del fruto y el tamaño del grano) y moleculares (isoenzimas), además, los marcadores genéticos son frecuentemente empleados, tradicionalmente, las variedades de cacao se clasifican en tres grupos genéticos: criollo, forastero y trinitario, el grupo forastero es conocido por su alta variabilidad genética, mientras que las formas criollo son genéticamente más homogéneas, el grupo trinitario está compuesto por híbridos de los dos primeros grupos.

#### **c) Hibridación:**

Puede ocurrir tanto entre diferentes formas dentro de la especie como entre distintas especies del género *Theobroma*, la hibridación interespecífica y los injertos se consideran estrategias prometedoras para desarrollar nuevos cultivos de cacao.

### **2.1.2. Variedades**

A lo largo del tiempo, el cacao ha sido clasificado en tres variedades: Criollo, Forastero y Trinitario, la creencia convencional sugiere que el Criollo es superior, el Forastero es de calidad inferior y el Trinitario se encuentra en un punto intermedio (Aguilar y Guharay, 2013). Hace más de tres décadas, Homero Castro seleccionó y estudió el clon CCN-51 mientras investigaba la población de cacao en nuestra región del alto Amazonas, recopiló material genético con el objetivo de utilizarlo en programas de cruce con variedades trinitarias y otros cultivares, con la meta de desarrollar un clon que fuera altamente productivo y resistente a las enfermedades que afectan al cacao, como la "Escoba de Bruja", "Monilia" y el Mal del Machete (*Ceratocystis*), después de numerosos experimentos, Castro logró desarrollar este clon, que estableció en 1965 en la zona de Naranjal en la Hacienda "Sofía", dándole el nombre de Colección Castro Naranjal 51 (CCN-51) (Sotelo, 2012).

### **2.1.3. Propagación**

Al establecer plantaciones de cacao, es crucial propagar los diversos materiales genéticos de manera adecuada, hay dos métodos principales de propagación: la sexual, que implica el uso de semillas, y la asexual, que emplea técnicas como estacas, acodos e injertos, entre otros (Gárate et al., 2015). La propagación sexual es la técnica más común y sencilla para reproducir el cacao, implica el uso de semillas seleccionadas de árboles que se consideran los mejores en términos de vigor, desarrollo, producción y resistencia a enfermedades y plagas, estos árboles, conocidos como árboles madres o productores de semillas, se eligen por sus cualidades sobresalientes (Aguilar y Guharay, 2013)

### **2.1.4. Principales labores culturales en vivero**

#### **2.1.4.1. Control de malezas**

Las malezas o plantas no deseadas representan una competencia para el cacao, ya que compiten por nutrientes, dióxido de carbono, agua y luz, además, actúan como hospederos de plagas y enfermedades, especialmente áfidos, que pueden transmitir enfermedades, el daño causado por las malezas es significativo durante la etapa de establecimiento y la fase juvenil del cacaotal, la presencia y la agresividad de las malezas dependen de factores como las condiciones originales del terreno, el tipo de sombra temporal y el manejo del cacao, que incluye poda, fertilización y distancias de siembra (Paredes, 2003). La limpieza manual se considera la mejor opción y se puede llevar a cabo utilizando herramientas como azadones, machetes, guadañas agrícolas, moto arados o cultivadores, también es posible realizar la limpieza mediante la aplicación de productos químicos, aunque se debe tener precaución, especialmente con las plantas recién salidas del vivero, ya que son muy susceptibles al daño causado por herbicidas (Arvelo et al., 2017).

#### **2.1.4.2. Control de plagas**

Estas técnicas agronómicas se centran en el control adecuado y oportuno de plagas, fertilización, drenaje de áreas con exceso de humedad y podas (formación, sanitarias y de apertura de calles) realizadas en el momento adecuado, sus características principales incluyen la formación temprana de la planta con una copa compuesta por 3 o 4 ramas, así como la eliminación de frutos y ramas afectadas por enfermedades como la moniliasis, la escoba de brujas y la *Phytophthora* (Paredes, 2003), para garantizar la salud de las plantaciones en proceso de rehabilitación, es necesario llevar a cabo inspecciones cada quince días para detectar y eliminar los frutos afectados por enfermedades, durante los períodos de lluvia, estas inspecciones deben realizarse semanalmente (Cevallos, 2013 y Pérez-Vicente, 2018).

### **2.1.4.3. Riego**

Para determinar cuándo el suelo necesita ser regado, se utilizan métodos físicos, electrónicos o de conductividad, estos métodos permiten calcular el momento y la cantidad de agua necesaria para ajustar el sistema de riego, la cantidad de agua requerida depende de diversos factores, como el tipo y desarrollo del árbol, el tipo de suelo, la duración de la estación seca, la velocidad del viento, la humedad ambiental y la cantidad de lluvia reciente, entre otros (Paredes, 2003). Al utilizar riego por gravedad, se pueden corregir deficiencias de agua en áreas específicas del huerto y tomar medidas para garantizar una cobertura uniforme en todas partes, por otro lado, al emplear un sistema de bombeo a presión, es crucial seleccionar con precisión la ubicación de los aspersores, difusores y goteros para asegurar una distribución óptima del agua a todas las plantas, la eficacia de un método de riego se mide por la cantidad de agua que permanece en la zona de raíces en comparación con el total de agua utilizada (Arvelo et al., 2017).

### **2.2. Enmiendas orgánicas**

Se denomina enmiendas orgánicas a los materiales orgánicos que se aplican al suelo, con la intención de suministrar nutrientes de forma rápida para la planta, comúnmente conocidos como abonos orgánicos (Jaramillo, 2002) mejorar las características del suelo es una necesidad crucial en numerosas regiones de nuestro mundo, tanto en naciones industrializadas como en aquellas en desarrollo, la pérdida y degradación del suelo están ocurriendo a un ritmo alarmante y sin precedentes (Delgado, 2017). La incorporación de enmiendas orgánicas favorece la formación de una estructura del suelo más agregada, lo cual promueve la creación de espacios porosos, mejorando así la infiltración del agua y la circulación del aire, una estructura del suelo bien desarrollada facilita el crecimiento de las raíces y proporciona un entorno propicio para la actividad microbiana (Lal, 1997). Las enmiendas orgánicas aportan una variedad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, además, actúan como una fuente de nutrientes de liberación lenta, proporcionando un suministro constante a lo largo del tiempo, este efecto a largo plazo contribuye a mantener la fertilidad del suelo y mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Magdoff y Van, 2009), fomentan la formación y estabilidad de agregados del suelo, siendo esta estabilidad crucial para prevenir la erosión, los agregados resistentes mantienen la cohesión del suelo, reduciendo la pérdida de partículas por el agua y el viento (Six et al., 2002), la materia orgánica mejora la capacidad del suelo para retener agua, actuando como una esponja que ayuda a retener la humedad, esto reduce la necesidad de riego y proporciona un suministro constante de agua a las plantas durante períodos secos (Blanco-Moure et al., 2019). La presencia de materia

orgánica en el suelo estimula la actividad microbiana beneficiosa, los microorganismos descomponedores descomponen la materia orgánica, liberando nutrientes y mejorando su disponibilidad para las plantas, esta interacción contribuye a la salud general del suelo (Singh et al., 1984). La adición regular de enmiendas orgánicas puede reducir la compactación del suelo, un problema común en suelos agrícolas. Una mayor porosidad y una estructura mejorada ayudan a prevenir la compactación, permitiendo un crecimiento saludable de las raíces y una mejor absorción de nutrientes y agua (Puget y Lal, 2005).

### **2.2.1. Gallinaza**

La gallinaza, un abono tradicionalmente empleado, consiste en una mezcla de excrementos de gallina, restos de alimentos, plumas, huevos rotos y el material fibroso de la cama con cal, es reconocida como la principal fuente de nitrógeno en la producción de abonos fermentados, y contribuye significativamente con fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro (Jara, 2019). El biol de gallinaza en el suelo presenta una mayor concentración de micro y macronutrientes, especialmente nitrógeno, potasio y fósforo, esto se atribuye a las condiciones iniciales de las muestras y al manejo del estiércol, además, contiene una cantidad significativa de materia orgánica, fundamental en los abonos orgánicos como fuente de nutrientes para la microflora del suelo, y actúa como un medio propicio para el crecimiento de los cultivos, tal como se menciona (Carhuancho, 2012). Es un fertilizante eficaz cuando se aplica adecuadamente, ya que proporciona una cantidad considerable de nitrógeno, así como fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y varios micronutrientes, su uso en el suelo también mejora la materia orgánica, la fertilidad y la calidad del suelo (INTAGRI, 2021). Ya sea en su forma original o transformada, su origen radica en su contribución de materia orgánica al suelo, lo que incrementa su capacidad de retención de agua, además, es una valiosa fuente de nutrientes para las plantas debido a su riqueza en elementos nutritivos (Mullo, 2012). Optar por utilizar gallinaza como fertilizante es la alternativa más beneficiosa debido a su doble ventaja, se trata de un método de reciclaje orgánico natural y resulta económico en comparación con otras opciones (Casas y Guerra, 2020)

### **2.2.2. El compost**

El compostaje es el producto de un proceso biológico diseñado para estabilizar y desinfectar los desechos orgánicos, convirtiéndolos en un fertilizante utilizable (Rodríguez, 2008), es un método que posibilita la descomposición controlada de desechos y subproductos orgánicos (Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña, 2020), al someterlos a este proceso, los materiales orgánicos se convierten en sustancias biológicamente estables, resultando en compost, un fertilizante que libera nutrientes gradualmente y ofrece beneficios residuales

(Peralta-Antonio, Bernardo, Watthier, y Silva, 2019) utilizado como medio de cultivo, tiene la capacidad de mejorar las características del suelo y aumentar la producción de los cultivos (Cabrera y Rossi, 2016). Al tratarse de materia orgánica enriquecida, puede aplicarse para revitalizar suelos degradados, restaurar su fertilidad, lo que a su vez permite reducir la dependencia de productos químicos convencionales, y contribuir a la reducción de la acumulación de desechos en los vertederos (Florida y Reategui, 2019). Los aspectos físico-químicos del compost, como la humedad, el pH, la cantidad de materia orgánica, la relación carbono-nitrógeno, la conductividad eléctrica, así como los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre y zinc, se encuentran dentro de los estándares de calidad establecidos (Castillo, 2020), contribuye a mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, al tiempo que posibilita una disminución en la necesidad de fertilizantes convencionales, sin causar un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos agrícolas (Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña, 2020). Se pueden establecer diversos estándares de calidad según el mercado al que se destine el compost, aunque siempre habrá requisitos mínimos para cualquier aplicación, es importante definir un estándar de calidad general para el compost, adaptado a los potenciales usuarios, y también establecer parámetros específicos para diferentes usos, esto no significa que los niveles máximos permitidos de contaminantes puedan ser superados dependiendo del uso previsto, la calidad del compost se determina por una combinación de diferentes propiedades y características, al evaluar la calidad, es crucial considerar el destino del producto, la protección del medio ambiente y los requisitos del mercado (Soliva y López, 2004).

### **2.2.3. Biofermentos**

Se trata de fertilizantes líquidos generados mediante la fermentación de materiales orgánicos, resultado de la activa participación de microorganismos presentes de forma natural, son ampliamente utilizados en la agricultura orgánica, aunque existen dudas sobre su calidad, seguridad y estabilidad bioquímica (Pacheco et al., 2017), constituyen una alternativa para la producción orgánica, ya que, a partir de la actividad de fermentación de microorganismos eficientes sobre diferentes materiales orgánicos bajo condiciones anaeróbicas, se logra obtener un abono líquido que puede ser aplicado vía foliar o al suelo cerca de la planta; tienen diferentes fines: contribuir a la nutrición del banano orgánico, prevenir y controlar las plagas e incorporar microorganismos eficientes al suelo, que ayudarán a acelerar la descomposición de la biomasa. Todos estos usos contribuyen a mejorar el desarrollo del cultivo (Angulo et al., 2021). Estos productos contienen microorganismos, predominantemente hongos y bacterias, que incrementan el suministro de nutrientes a las plantas y mejoran la salud

del suelo, su aplicación puede resultar en un aumento del rendimiento de los cultivos (INTAGRI, 2015). La cantidad de biosólidos mencionados en este texto puede variar entre el 5% y el 15% del volumen total, y la dilución dependerá del estado de crecimiento de los cultivos y el tipo de cultivo, el uso de biosólidos permite a cada individuo ser el propietario y diseñador de sus propias tecnologías agrícolas (Pacheco et al., 2017).

#### **2.2.4. Biosólidos**

Los biosólidos se generan como subproductos del proceso de biofermentación, luego de haber pasado por diversas etapas específicas de este tratamiento complejo (Smith et al., 2020), originados a partir de la depuración del material orgánico en presencia de agua, estos residuos sólidos contienen una valiosa combinación de materia orgánica y nutrientes esenciales, como nitrógeno y fósforo (Jones y Brown, 2018). Frecuentemente, los biosólidos se emplean como fertilizantes en la agricultura, desempeñando un papel crucial en la mejora de la calidad del suelo y sus propiedades nutritivas (García et al., 2019), este uso estratégico no solo aprovecha eficientemente los recursos, sino que también contribuye a promover prácticas sostenibles en el ámbito agrícola y medioambiental (Greenfield y Smith, 2021), la aplicación responsable de biosólidos no solo beneficia la productividad agrícola, sino que también se alinea con los principios de gestión sostenible de residuos y recursos (Brown y White, 2017; Torres et al., 2007). Utilizar biosólidos en suelos agrícolas, forestales y pastizales puede servir como una forma de manejo de desechos más sostenible, al mismo tiempo que proporciona nutrientes adicionales a los cultivos, esta práctica podría contribuir a disminuir los gastos de producción (Potisek-Talavera et al., 2010). Los biosólidos son una de las opciones más recomendadas, tanto para mejorar los suelos como para fertilizar cultivos; los principales componentes de los biosólidos son la materia orgánica (MO) y los nutrientes beneficiosos para las plantas, especialmente el nitrógeno (N) y el potasio (P) (Martínez et al., 2020). Los biosólidos poseen un contenido nutricional que aumenta la fertilidad del suelo y mejora el rendimiento de los cultivos (Kara et al., 2003), contienen una alta proporción de materia orgánica (aproximadamente entre un 60 % y un 70 %) y nutrientes fundamentales para el desarrollo de las plantas, como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Robledo, 2012).

### **2.3. Trabajos relacionados al estudio**

La utilización de biosólidos como fuente de materia orgánica y nutrientes es crucial para mejorar la calidad del suelo. Sin embargo, las dosis actuales no muestran diferencias significativas, lo que resalta la necesidad de continuar evaluando este enfoque,

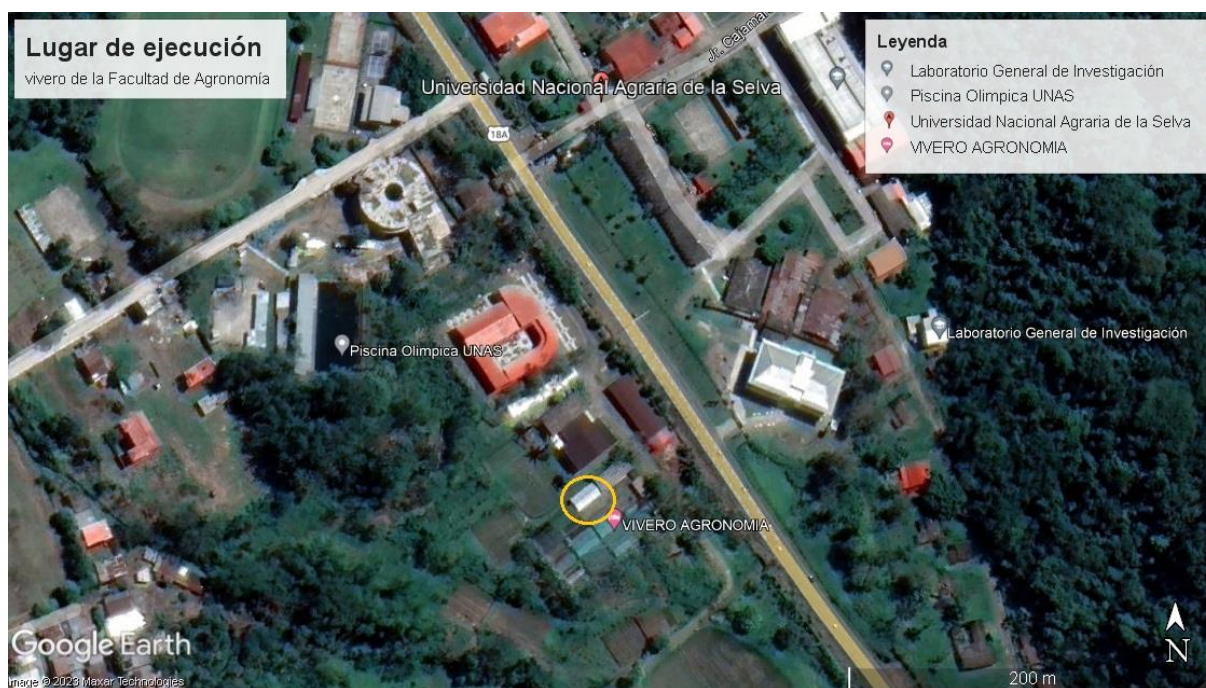


considerando aumentar las dosis, la frecuencia de aplicación y la combinación con otros materiales orgánicos y/o fertilizantes minerales (Peñarete, 2012). Los estudios han demostrado que los biosólidos aumentan la concentración de nitratos y fósforo en el suelo hasta una profundidad de 35 cm, junto con un incremento en la concentración de micronutrientes en todo el perfil del suelo (Potisek-Talavera et al., 2010). En el cultivo de cucurbitáceas, se ha observado un impacto positivo al utilizar mezclas de biosólidos y gallinaza, lo que mejora características como el diámetro del tallo y el área foliar en pepinos, así como el peso seco en calabacitas (Carballo et al., 2017). La aplicación de compost de biosólidos también ha demostrado ser beneficiosa en la producción de plántulas de *N. alpina*, acelerando su ciclo de crecimiento (Varela y Martínez, 2013). En general, las plántulas responden positivamente a la aplicación de biosólidos, mostrando un aumento en todas las variables evaluadas y sugiriendo su potencial para su uso en sistemas de producción de plántulas en diversos cultivos (Utria et al., 2007). Además, se ha observado que la aplicación de biosólidos ayuda a mejorar el pH y el contenido de nutrientes en suelos ácidos y con baja fertilidad. Sin embargo, es importante considerar la proporción adecuada de biosólidos en las mezclas de sustratos, ya que niveles más altos pueden resultar en deficiencias de elementos menores como el hierro en plantones de cacao en vivero (Vásquez, 2018). Por último, los biosólidos derivados de cáscaras de cacao muestran un alto contenido de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que los convierte en una opción valiosa para la fertilización de cultivos (Arias y Yauri, 2021)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El estudio se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), situado en las coordenadas 410645 m E y 8983244 m N, con una altitud de 640 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 1.** Imagen satelital del lugar de ejecución de la tesis

#### 3.1.1. Características agroclimáticas

El clima de Tingo María se caracteriza por ser cálido, con abundantes lluvias y una amplitud térmica moderada, la temperatura media anual oscila entre los 30,5°C y los 18,7°C, mientras que la precipitación anual promedio es de alrededor de 3472,8 mm, actualmente, la precipitación promedio anual ha aumentado a 3,600 mm.

#### 3.1.2. Características edafoclimáticas

Tingo María y sus alrededores cuentan con condiciones ambientales y del suelo adecuadas para el cultivo de cacao y la mayoría de las plantaciones de cacao se establecen en suelos aluviales que son planos o ligeramente inclinados, profundos, relativamente fértiles y con un contenido de materia orgánica superior al 3 %. Aunque también se cultiva cacao en suelos de laderas como lomadas y colinas, estas áreas presentan limitaciones debido a su menor profundidad y fertilidad reducida. La vegetación arbórea abundante se beneficia de las frecuentes y abundantes precipitaciones, especialmente durante los meses de diciembre a marzo.

### **3.2. Material y métodos**

#### **3.2.1. Material para la preparación de biodigestores**

- Plástico de polietileno de color blanco transparente 10 metros
- 2 tubos de plástico PVC de 4 pulgadas x 50 cm.
- 4 tiras de Jebe de cámara de 1 m x 2 cm de ancho
- 2 botellas descartables de 1.5 L
- 1 pegamento de plástico
- Pala
- Machete
- 150 kg de gallinaza de los galpones de la Facultad de Zootecnia - UNAS.
- 150 kg de compost de residuos orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

#### **3.2.2. Material para la instalación del experimento**

- Semillas de cacao CCN-51
- Tierra agrícola 250 kg
- Biosólido de gallinaza y compost
- Biol de gallinaza y compost
- Bolsas de polietileno
- Vernier digital
- Probeta del 1000 ml
- Balanza digital
- Otros

#### **3.2.3. Análisis inicial de suelo**

Después de secar y tamizar el suelo, se tomó aproximadamente 1 kg del montículo tamizado, se codificó y se envió al Laboratorio de Suelo, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su análisis de caracterización, los resultados, que se presentan en la Tabla 1, muestran las propiedades obtenidas: clase textura franco arcillo arenosa, considerado suelo adecuado para plantas en vivero ya que los suelos arenosos no retienen el agua ni los nutrientes, también se deben evitar suelos muy arcillosos por ser compactos y porque no permiten la penetración del agua, pH 7,35 ligeramente alcalino, el pH indica la disponibilidad de nutrientes para las plantas; cuando el pH es alcalino hay abundancia de iones  $\text{OH}^-$  el cual produce la precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso,

cobre y zinc, probablemente haya una elevada concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y esto afecte la solubilidad del fósforo (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2018), materia orgánica (MO) medio, así como N, alto contenido de P, K y  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  medio, alto  $\text{K}^+$ , los valores negativos de estos indicadores indican que los niveles son menores a los mínimos (Estrada-Herrera et al., 2017). El sodio (Na) se considera bajo, según Rodríguez y Paredes (2017), niveles de sodio superiores a 2 meq/100g en el suelo pueden considerarse críticos, ya que pueden inducir toxicidad, afectar la absorción de nutrientes esenciales, la suma de capacidad de intercambio Catiónico (CIC) se considera alto, la CIC es la suma total de los cationes intercambiables de un suelo, cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que éste puede retener (INTAGRI, 2015).

**Tabla 1.** Análisis físico-químico inicial del suelo

<b>Características</b>	<b>Análisis</b>	<b>*Nivel</b>
Clase textural	Franco arcillo arenoso	Medio
pH (1:1)	7,35	Neutro
Materia orgánica (MO)	2,26%	Medio
Nitrógeno (N)	0,11%	Bajo
Fósforo disponible (P)	86,23 ppm	Alto
Potasio disponible (K)	641,72 ppm	Alto
Calcio (Ca)	24,5 Cmol(+)/kg	Alto
Magnesio (Mg)	2,53 Cmol(+)/kg	Medio
Potasio (K)	1,65 Cmol(+)/kg	Medio
Sodio (Na)	1,04 Cmol(+)/kg	Medio
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	29,72 suma de cationes	Alto

Brady y Weil (2016).

#### **3.2.4. Análisis de los biosólidos**

Después de 60 días en el biodigestor, se abrió el biodigestor de la gallinaza como el del compost, el material se coló, separando el sólido (biosólido) del líquido; el sólido se colocó bajo sombra en una manta de costal para su secado, mientras que el líquido (biol) se almacenó en baldes de 20 L. Tras dos semanas de secado, se tamizaron los biosólidos de gallinaza y compost, y se extrajo 1 kg de cada muestra, estas muestras se codificaron y enviaron al Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su análisis, los resultados se presentan en la Tabla 2. Se encontró que ambas muestras tenían un pH alcalino y una conductividad eléctrica casi idéntica, sin embargo, la gallinaza mostró un mayor contenido de materia orgánica, así como mayores niveles de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, sodio y potasio, en comparación con el compost. Por otro lado, los niveles de cobre, zinc y manganeso fueron más altos en la gallinaza, mientras que el hierro fue mayor en el compost. La

aplicación de biosólidos en la producción de plantas, ya sea como enmiendas orgánicas en el suelo, puede mejorar el crecimiento de las plantas (Utria-Borges et al., 2008).

**Tabla 2.** Análisis químico especial de los biosólido de gallinaza y compost

<b>Características</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>*Nivel gallinaza</b>	<b>Compost</b>	<b>*Nivel compost</b>
pH	7,74 (1:1)	Neutro	8,50 (1:1)	Ligeramente Alto
Conductividad eléctrica (CE)	6,24 mS/cm	Medio	6,90 mS/cm	Medio
Materia orgánica (MO)	75,31 %	Alto	30,64 %	Medio
Nitrógeno (N)	1,79 %	Alto	1,60 %	Alto
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3,97 %	Alto	1,93 %	Medio
Calcio (Ca)	6,37 %	Alto	3,63 %	Alto
Magnesio (Mg)	1,41 %	Alto	1,29 %	Alto
Sodio (Na)	0,03 %	Bajo	0,01 %	Bajo
Potasio (K)	1,31 %	Alto	1,00 %	Alto
Cobre (Cu)	30,00 ppm	Alto	25,00 ppm	Medio
Hierro (Fe)	1870,00 ppm	Alto	9525,00 ppm	Alto
Zinc (Zn)	256,00 ppm	Alto	157,00 ppm	Medio
Manganeso (Mn)	497,00 ppm	Alto	275,00 ppm	Medio

\*Cuevas y Sánchez (2020).

### 3.2.5. Análisis del biol de gallinaza y compost

Del líquido (biol) almacenado en los baldes, se filtraron 650 ml de biol tanto de gallinaza como de compost en botellas de plástico, estas muestras se codificaron y enviaron al Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su análisis respectivo.

**Tabla 3.** Análisis químico especial de los bioles de gallinaza y compost

<b>Características</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>*Nivel Gallinaza</b>	<b>Compost</b>	<b>*Nivel Compost</b>
pH	8,51 (1:1)	Ligeramente Alto	8,03 (1:1)	Neutro
Conductividad eléctrica (CE)	13,21 mS/cm	Alto	7,81 mS/cm	Medio
Materia orgánica (MO)	1,17 %	Bajo	5,54 %	Medio
Nitrógeno (N)	4,20 g/L	Alto	3,36 g/L	Alto
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	11,85 g/L	Alto	19,27 g/L	Alto
Calcio (Ca)	2,79 g/L	Alto	3,39 g/L	Alto
Magnesio (Mg)	0,46 g/L	Medio	0,52 g/L	Medio
Potasio (K)	2,65 g/L	Alto	2,62 g/L	Alto
Sodio (Na)	0,55 g/L	Medio	0,71 g/L	Medio
Cobre (Cu)	0,30 mg/L	Bajo	3,67 mg/L	Medio
Hierro (Fe)	47,90 mg/L	Medio	249,40 mg/L	Alto
Zinc (Zn)	2,30 mg/L	Medio	29,00 mg/L	Alto
Manganeso (Mn)	0,30 mg/L	Bajo	46,00 mg/L	Alto

\*Cuevas y Sánchez (2020).

Los resultados, que se presentan en la Tabla 3, indican un mayor porcentaje de materia orgánica (MO) en el biol obtenido del compost, el pH es alcalino, mayor CE y N se obtuvo en biol de Gallinaza, sin embargo, los demás elementos son mayores en biol

a base de Compost. El biol, un fertilizante líquido elaborado a partir de materia orgánica disuelta en agua, se produce mediante un proceso de fermentación en tanques de plástico durante varios días bajo un sistema anaeróbico, es crucial considerar la dosis adecuada para su aplicación en las plantas, y el contenido mineral del biol está determinado por la materia prima utilizada (Peñañiel y Ticona, 2015; Medina et al., 2015).

### 3.2.6. Metodología

El estudio comprendió diversas dosis de biosólidos de gallinaza y compost: 40 %, 30 %, 20 % y 10 %, además, se consideraron dosis de biol de gallinaza y compost representadas por 3 L/20 L de agua como testigos adicionales (Testigo 1 y 2), así como un testigo absoluto (Testigo 3). Estas variables fueron cruciales para evaluar el impacto de diferentes concentraciones de biosólidos en las condiciones experimentales, permitiendo un análisis detallado de su influencia en los resultados obtenidos.

### 3.2.7. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en dos tipos de biosólidos (gallinaza y compost) y cuatro dosis diferentes (40 %, 30 %, 20 % y 10 %) para cada uno, junto con tres testigos adicionales. Dos de estos testigos fueron tratados con biol de gallinaza y compost, y uno fue un testigo absoluto (Tabla 4).

**Tabla 4.** Tratamientos en estudio

Tratamientos	Descripción de tratamientos
T <sub>1</sub>	60 % de suelo + 40 % de biosólido de gallinaza*
T <sub>2</sub>	70 % de suelo + 30 % de biosólido de gallinaza*
T <sub>3</sub>	80 % de suelo + 20 % de biosólido de gallinaza*
T <sub>4</sub>	90 % de suelo + 10 % de biosólido de gallinaza*
T <sub>5</sub>	60 % de suelo + 40 % de biosólido de compost*
T <sub>6</sub>	70 % de suelo + 30 % de biosólido de compost*
T <sub>7</sub>	80 % de suelo + 20 % de biosólido de compost*
T <sub>8</sub>	90 % de suelo + 10 % de biosólido de compost*
Testigo T <sub>9</sub>	70 % de suelo + 30 % de biosólido + 3 L de biol de gallinaza**
Testigo T <sub>10</sub>	70 % de suelo + 30 % de biosólido + 3 L de biol de compost**
Testigo T <sub>11</sub>	100 % suelo

(\*) la mezcla del sustrato fue de forma individual para cada bolsa.

(\*\*) El biol se aplicó cada 15 días, los tres litros se disolvió en 20 litros de agua para ser aplicados.

### 3.2.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Para el experimento se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), los 11 tratamientos fueron distribuidos en cuatro repeticiones. Las características evaluadas fueron

sometidas al análisis de varianza, se muestra diferencias estadísticas en los tratamientos y se realizó la prueba de Tukey al nivel de 0,05 (Tabla 5). El software estadístico empleado fue InfoStat. El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$$

- $Y_{ij}$ : Variable respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento en el  $j$ -ésimo repetición.
- $u$ : efecto común de todas las observaciones
- $T_i$ : efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $i = 1, 2, \dots, 11$  tratamientos
- $E_{ij}$ : efecto del error experimental

**Tabla 5.** Modelo del análisis de varianza para un DCA

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
Tratamientos	SCt	GLt	SCt/GLt	CMt/CMee
Error experimental	SCee	GLee	SCee/GLee	
Total	SCT	GLT		
CV (%)				
R <sup>2</sup>				

### 3.2.9. Características del campo experimental

- **Tratamientos**

- Número de tratamientos : 11
- Número de plantas/tratamiento : 24
- Número de platas/unidad experimental : 6
- Número de platas evaluadas/tratamiento : 24
- Número de plantas evaluadas/Unidad experimental : 6
- Medidas de una unidad experimental : 0,30 x 0,50 m

- **Repeticiones**

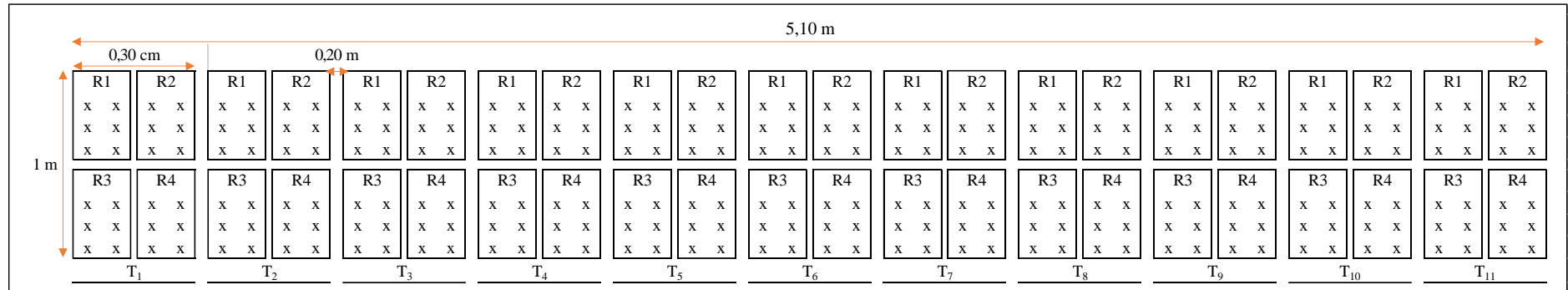
- Número de repeticiones : 4
- Largo de repetición : 0,50 m
- Ancho de repetición : 0,30 m

- **Campo experimental**

- Número total de plantas : 264
- Número total de plantas a evaluar : 264
- Largo de la parcela : 5,10 m
- Ancho de la parcela : 1 m.

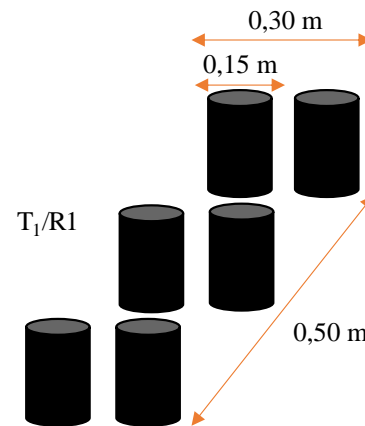
### 3.2.10. Croquis del experimento

Los 11 tratamientos, se distribuyen equitativamente dentro de cada repetición, asegurando una disposición homogénea (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de repeticiones y tratamientos en el campo experimental

Cada tratamiento se compone de cuatro unidades experimentales, y cada unidad experimental consta de seis plantas, como se ilustra en la Figura 3



**Figura 3.** Croquis de una unidad experimental dentro de un tratamiento



### 3.3. Ejecución del experimento

#### 3.3.1. Instalación de los biodigestores

Se emplearon herramientas como pala, machete y wincha, junto con materiales como plástico grueso, tubos de PVC de cuatro pulgadas de diámetro, mitades de botellas descartables de 1,5 L (preferentemente la parte con el cuello) y tiras de jebe para asegurar la sujeción del tubo con el plástico, además de gallinaza y compost. Una vez reunidos los materiales, se procedió a la instalación del biodigestor, se aseguró el plástico en una de las aberturas y se llenó con 150 kg de compost y 150 L de agua, obteniendo una mezcla homogénea, en la otra apertura, se fijó un tubo con la mitad de una botella utilizando tiras de jebe, para permitir la evacuación de gases. El biodigestor de gallinaza siguió el mismo procedimiento, pero con 300 L de agua, debido a la presencia de cascarilla de arroz en la gallinaza ya que con 150 L de agua la mezcla era seca. Después de 60 días, se realizó el colado para separar los componentes líquidos (biol) de los sólidos (biosólido).



**Figura 4.** Instalación de los biofermentos: a. Preparación del área para los bio fermentos y b. Mezcla de las enmiendas con agua y colocación en el biodigestor

#### 3.3.2. Extracción de tierra

La tierra se extrajo del terreno del fundo de la Facultad de Agronomía (UNAS), inicialmente, se realizó la limpieza de malezas y hojarasca, seguido se tomó los primeros 10 cm de la capa superficial, posteriormente, esta tierra fue trasladada al vivero de la misma facultad, donde se permitió su secado al aire durante ocho días, resguardada bajo sombra. Después de este período, se llevó a cabo un proceso de tamizado utilizando una malla metálica de 2 x 2 cm con el objetivo de obtener tierra fina, eliminando así rocas y restos de raíces. Este procedimiento aseguró condiciones óptimas en la preparación del sustrato.

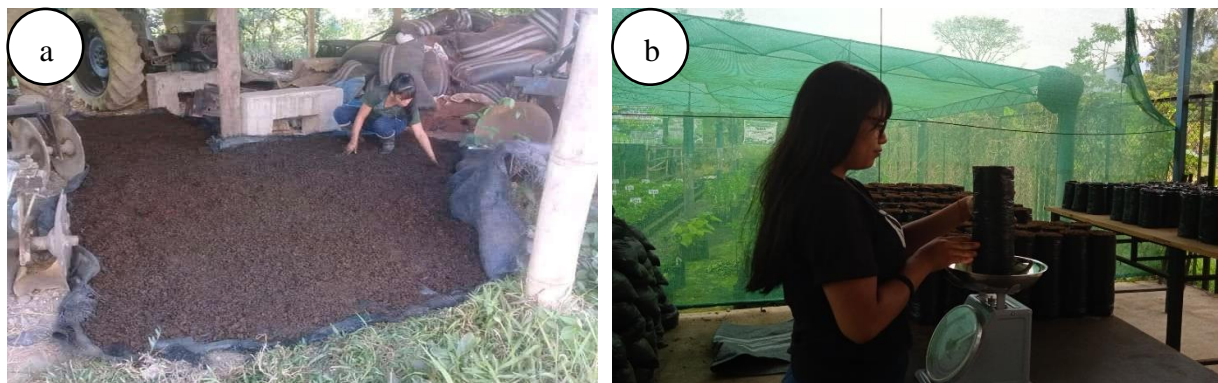
#### 3.3.3. Ubicación de la parcela

La fase experimental se desarrolló en el vivero de la Facultad de Agronomía. Durante los primeros 120 días, el experimento fue resguardado bajo techo,

brindándole condiciones controladas para su desarrollo inicial. Posteriormente, se procedió a trasladar las muestras a una cama específica en el mismo vivero. Esta cama estaba equipada con una malla raschel que ofrecía un nivel de sombra del 60 %, contribuyendo así a un ambiente más moderado y propicio para el crecimiento de las plantas. Este período adicional de 30 días en la cama del vivero permitió observar y evaluar el comportamiento de las muestras en condiciones semicontroladas, considerando el efecto de la sombra proporcionada por la malla raschel en comparación con la etapa inicial bajo techo.

### 3.3.4. Preparación del sustrato

Tamizada la tierra y obtenido los biosólido seco se preparó los tratamientos, la mezcla se realizó de manera individual para cada bolsa, para T<sub>1</sub> 60 % de suelo (1,2 kg)+ 40 % de biosólido de gallinaza (0,8 kg), T<sub>2</sub> 70 % de suelo (1,4 kg) + 30 % de biosólido de gallinaza (0,6 kg), T<sub>3</sub> 80 % de suelo (1,6 kg) + 20 % de biosólido de gallinaza (0,4 kg) , T<sub>4</sub> 90 % de suelo (1,8 kg) + 10 % de biosólido de gallinaza (0,2 kg). Las mismas proporciones fue en los tratamientos T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>8</sub> suelo + biosólido de compost. El tratamiento como textigos adicionales fuero preparado de la siguiente manera: T<sub>9</sub> 70 % de suelo + 30 % de biosólido + 3 L de biol de gallinaza/20 L de agua, el T<sub>10</sub> 70 % de suelo + 30 % de biosólido + 3 L de biol de compost/20 L y T<sub>11</sub> Testigo absolutos 100 % suelo. El biol se aplicó vía foliar después de 15 días de la siembra y la frecuencia de aplicación fue cada 15 días.



**Figura 5.** Llenado de bolsas: a. Biosólido después del colado y b. Peso de los sustratos

### 3.3.5. Llenado de bolsas

Las bolsas fueron llenadas según como se realizaba las mezclas, se presionó con los dedos, además se dio tres golpes con la finalidad de evitar espacios en medio de las bolsas y queden rígidas, evitando caídas posteriores.

### 3.3.6. Ubicación de bolsas en vivero

Las bolsas que contenían las muestras se dispusieron de manera estratégica sobre mesas de metal con dimensiones de 1 m de ancho por 10 m de largo. La disposición

obedeció a la planificación detallada presentada en el croquis del proyecto, asegurando una distribución precisa y organizada de las muestras. Este enfoque facilitó la observación y el monitoreo sistemático de cada bolsa, permitiendo un seguimiento eficiente de los tratamientos y asegurando condiciones homogéneas para todas las muestras.

### **3.3.7. Obtención de semillas**

Estas semillas fueron obtenidas del Fundo RONALD, ubicado a 15 km de la ciudad de Tingo María, carretera Tingo María Inti. Se seleccionaron plantas y mazorcas libre de enfermedades, las mazorcas fueron maduras y de tamaño uniforme, solo se utilizó las semillas del centro de las mazorcas, es decir, los extremos fueron descartados. Además, las mazorcas se ubicaban en el tercio medio de las plantas. El mucílago se limpió con arena fina lavada, luego se desinfectó con Homai, estas semillas se mezclaron con aserrín fino y se humedeció, luego se colocó la mezcla en una bolsa de color negro, se amarró y se realizó huecos en la bolsa, se tapó con costal negro y a los tres días las semillas presentaban su raíz las cuales fueron seleccionadas y colocadas una semilla en cada bolsa con sustrato a 2 cm de profundidad, se tapó con el mismo sustrato, estas semillas se coló de forma perpendicular al sustrato.

### **3.3.8. Riego y control fitosanitario.**

El riego se realizó cada tres días, se aplicó 50 ml a cada bolsa, de manera preventiva se colocó Fungicida agrícola (FUJI-ONE® 40 EC) a dosis de 20 ml/20 L y AMISTAR® a dosis de 20 g/20 L. Insecticida agrícola (LASSER® 600) en dosis de 40 ml/20 L.

## **3.4. Variables evaluadas**

### **3.4.1. Parámetros biométricos**

#### **3.4.1.1. Altura de plantas**

Se tomó la medida desde la base del cuello de la planta hasta la punta más alta de la misma, para interpretar los resultados, se calculó la diferencia entre la dimensión final (a los 150 días) y la dimensión inicial, lo que representó el aumento en esta variable de las plantas, las mediciones se llevaron a cabo utilizando una regla milimétrica y se registraron en centímetros (cm)

#### **3.4.1.2. Diámetro del tallo de plantas**

Se evaluó a nivel del cuello de la planta, para esta actividad se empleó el vernier digital, al igual que la evaluación de altura de planta, esta variable también se consideró la dimensión final menos la dimensión inicial. Las medidas se expresaron en milímetros (mm).

### **3.4.1.3. Número de hojas**

El número de hojas se realizó al conteo directo, esta actividad se realizó en periodo igual a las evaluaciones de altura y diámetro y también se consideró la emisión de hojas a los 150 días.

### **3.4.1.4. Área foliar**

El área foliar fue evaluada a los 150 días mediante la captura de imágenes fotográficas de las hojas y plantas, siendo analizadas posteriormente mediante el software ImageJ.

### **3.4.1.5. Longitud y volumen del sistema radicular**

Para registrar esta variable, se extrajeron las plantas con precaución para no dañar las raíces, se cortaron las bolsas por un lado, se retiró cuidadosamente el sustrato y se lavaron las raíces, después de dejar que el agua escurriera, se midieron las longitudes de las raíces con una regla milimétrica desde el cuello entre el tallo y la raíz, hasta el ápice final de la raíz más largo, el valor se expresó en centímetros (cm). Además, se calculó el volumen de las raíces sumergiendo el sistema radicular en probetas graduadas con agua de volumen conocido. Se registró la diferencia entre el volumen final y el inicial para obtener el volumen de las raíces, expresado en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>)

### **3.4.1.6. Peso fresco y seco de plantas**

Para registrar esta variable, se utilizó las mismas plantas que se utilizaron en las medidas de raíces, éstas se cortaron, se colocaron en sobre manila y se llevaron al laboratorio de fisiología de la Facultad de Agronomía, se obtuvo el peso en fresco y luego se colocó en estufa a una temperatura de  $73 \pm 2$  °C por 72 horas, posteriormente se dejó enfriar la muestra y se realizó el pesado, de esa manera se obtuvo peso seco.

## **3.4.2. Análisis de caracterización de los sustratos al final del experimento**

De las mismas plantas sacrificadas para las evaluaciones de raíces y biomasa, se recolectó el sustrato, este sustrato fue mezclado minuciosamente para asegurar uniformidad en cada tratamiento, posteriormente, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía (UNAS). En el laboratorio, se realizaron los siguientes análisis:

- 1. Textura del suelo:** se utilizó el método de Bouyoucos.
- 2. pH del suelo:** se utilizó una mezcla de suelo y agua en proporción 1:1 (suelo).
- 3. Materia orgánica (MO):** se determinó con el método de oxidación con dicromato de potasio (Walkley-Black)
- 4. Fósforo disponible (P):** Se utilizó el método de Olsen.

5. **Potasio disponible (K):** el método de extracción con solución de acetato de amonio.
6. **Cationes cambiabiles (Ca, Mg, Na y K):** los cationes intercambiabiles se extrajeron utilizando una solución extractora como acetato de amonio o cloruro de amonio.

### 3.4.3. Análisis de rentabilidad

Los plantones se clasificaron en tres categorías: primera calidad para los más grandes, segunda calidad para los de tamaño mediano, y descarte para los más pequeños o deformes. Se empleó el método "Análisis Comparativo de Ingresos y Costos de Producción" para evaluarlos, calculando el índice de rentabilidad (B/C) de cada tratamiento mediante la siguiente fórmula:

$$B/C = \frac{\textit{Ingreso total}}{\textit{Producción}}$$

El ingreso total de todos los tratamientos en el análisis de costos se calculó multiplicando el precio de venta por la cantidad de plantas vendidas, mientras que los costos de producción se determinaron para cada tratamiento por separado.

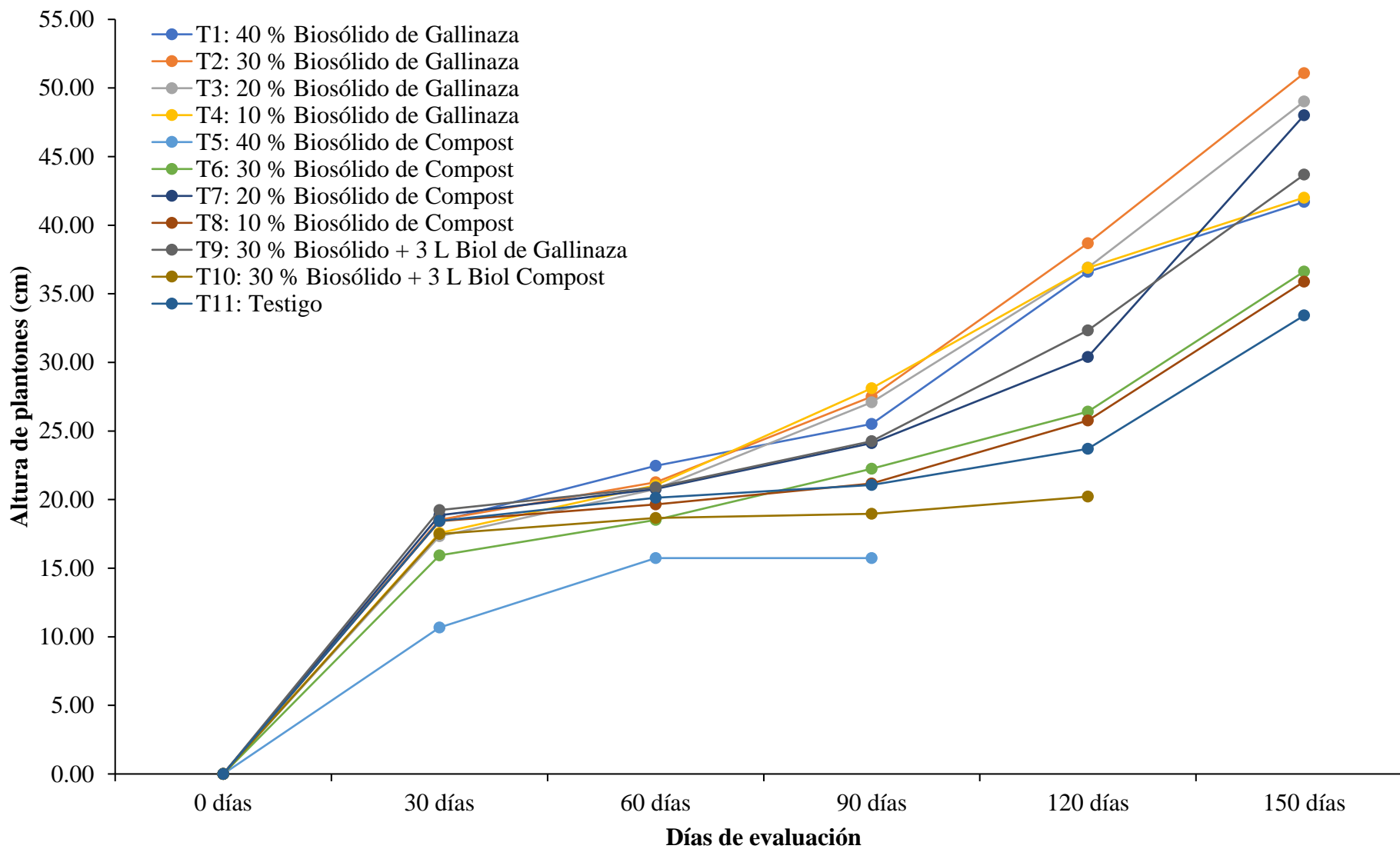
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Parámetros biométricos

#### 4.1.1. Altura de plantas

Se evaluó cada 30 días, y se realizó cinco mediciones hasta los 150 días después de la siembra de semillas, los tratamientos están conformados por cuatro dosis de biosólido de gallinaza y compost (Figura 6), el análisis de las pendientes de crecimiento para los diferentes tratamientos revelan una variación significativa en su efecto sobre el crecimiento, que puede estar influenciado por la composición y la dosis de los biosólidos utilizados, los tratamientos T<sub>2</sub> (30 % biosólido de gallinaza) y T<sub>3</sub> (20 % biosólido de gallinaza) muestran las pendientes de crecimiento más altas, indicando un crecimiento rápido y sustancial en comparación con otros tratamientos, por otro lado, los tratamientos como T<sub>10</sub> (70 % biosólido + 3 L/20 L biol compost) y T<sub>5</sub> (60 % biosólido de compost) exhiben pendientes bajas o negativas, sugiriendo un crecimiento mínimo o incluso una disminución en el crecimiento, puede estar justificada por la presencia de altos niveles de sales y posibles compuestos tóxicos en los biosólidos, que en concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para el desarrollo de las plantas, estudios previos han demostrado que la aplicación excesiva de biosólidos puede resultar en acumulación de sales y metales pesados en el suelo, lo que puede interferir con la absorción de agua y nutrientes por las raíces de las plantas (Rodríguez et al., 2018; Pérez y Gómez, 2019), además, ciertos compuestos orgánicos presentes en los biosólidos, como ácidos grasos volátiles y fenoles, pueden ser fitotóxicos, afectando negativamente los procesos fisiológicos de las plantas, incluyendo el cacao (Martínez y Sánchez, 2020). Estos factores pueden contribuir a la reducción del crecimiento y, en casos más severos, a la muerte de las plantas, tal como se observó en los tratamientos mencionados, por lo tanto, es crucial manejar adecuadamente las dosis de biosólidos para evitar estos efectos adversos y promover un crecimiento saludable de los cultivos.

Los plantones de cacao muestran lento crecimiento a los 30, 60 hasta 90 días, de los 90 a los 120 días el crecimiento fue mayor, el lento crecimiento probablemente se debe que el experimento se desarrollaba bajo sombra (Techo de calamina), las plantas no recibían sol directo y esto es fundamental para el proceso de fotosíntesis absorción de nutrientes y crecimiento de las plantas ya que la luz es uno de los factores importantes que regulan el crecimiento (Carrasco-Ríos, 2009), la luz es fuente de energía para la fotosíntesis y sirve de estímulo para el crecimiento de las plantas (Blanco-Valdés, 2019). A los 120 días, se trasladó los plantones a una cama de vivero que tenía sombra de 60 % se muestra mayor crecimiento (120 a 150 días), confirmando así que la luz influye en el crecimiento de plantones de cacao.



**Figura 6.** Diagrama del crecimiento en altura de plantas de cacao hasta los 150 días después de la siembra.

Se observó un mayor crecimiento en altura de las plantas de cacao en sustratos que contenían 30 % y 20 % de biosólidos de gallinaza, mientras que las plantas en el sustrato con 40 % de biosólidos de compost (Tratamiento T<sub>5</sub>) mostraron un crecimiento menor. Estas últimas fueron de menor tamaño y murieron a los 90 días de evaluación. En el tratamiento T<sub>10</sub>, donde se aplicó 30 % de biosólidos junto con 3 L de biol de compost por cada 20 L de agua, con una frecuencia de aplicación quincenal, las plantas también murieron, pero alcanzaron los 120 días antes de perecer.

La aplicación de biosólido de compost altera la estructura del suelo, incrementando la retención de agua y disminuyendo los espacios porosos, lo que afecta la disponibilidad de oxígeno para las raíces y la actividad microbiana, generando estrés en las plantas y afectando su desarrollo (INTAGRI, 2023). La acumulación de hierro disponible en el suelo, debido a esta retención de agua, puede inhibir el crecimiento de las raíces y causar la muerte de las plantas (Heeren, 2021; Prieto et al., 2009). La combinación de suelo arcilloso arenoso con biosólido puede generar problemas de compactación y afectar la mineralización, obstaculizando el crecimiento de las plantas e incluso provocando su muerte. El tratamiento con 30 % de biosólido y 3 L de biol de compost (T<sub>10</sub>) exhibe un crecimiento lento de las plantas, lo que puede atribuirse a la saturación del sustrato y la aplicación excesiva de biosólido, que afecta su filtración y funcionamiento normal. La aplicación de fertilizante biológico podría aumentar el estrés de las plantas, contribuyendo a su muerte, junto con la falta de luz directa y la consiguiente limitación en la fotosíntesis, resultados consistentes con estudios previos (Cando y Malca, 2015; García y Moreno, 2016). Estos hallazgos enfatizan la importancia de evaluar cuidadosamente la composición y dosificación de los biosólidos en la agricultura para evitar efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

**Tabla 6.** Análisis de varianza ( $\alpha = 0.05$ ), de altura de plantas de cacao a los 150 días después de la siembra.

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Tratamiento	16427,8	10	1642,78	89,28	<0,0001
Error experimental	607,24	33	18,40		
Total	17035	43			
CV (%)	11,54				
R <sup>2</sup>	0,96				

El análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ) para la variable de altura excluyó los tratamientos en los que las plantas fallecieron (Tabla 6), este análisis reveló diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos estudiados, ya que el valor de probabilidad (p



$< 0,05$ ) indica que al menos uno de los tratamientos es estadísticamente diferente, según Camacho-Sandoval (2007), esto implica que existe al menos una diferencia significativa entre los tratamientos. Además, el coeficiente de variación (CV) fue del 11,54 %, clasificado como medio según la propuesta de Pimentel (1985). Según este autor, los CV se consideran bajos cuando son inferiores al 10 %, medios entre el 10 % y el 20 %, altos entre el 20 % y el 30 %, y muy altos cuando superan el 30 %. Asimismo se determinó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,96 es decir, la variable dependiente (altura de plantas) tuvo una influencia del 96 % de las variables independientes (Tratamientos), mientras que el 4 % restante son valores no controlados en el experimento, según Cayuela (2014), el coeficiente de determinación  $R^2$  varía entre 0 y 1, cuanto más se acerque su valor a 1, mejor será el ajuste del modelo a la variable que intentamos explicar, por el contrario, cuanto más se acerque a cero, menos ajustado estará el modelo y, por lo tanto, menos confiable, dado este contexto, se considera que existe una relación sólida entre la altura y los tratamientos del experimento.

**Tabla 7.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de altura de plantas de cacao a los 150 días después de la siembra (promedio  $\pm$  error estándar)

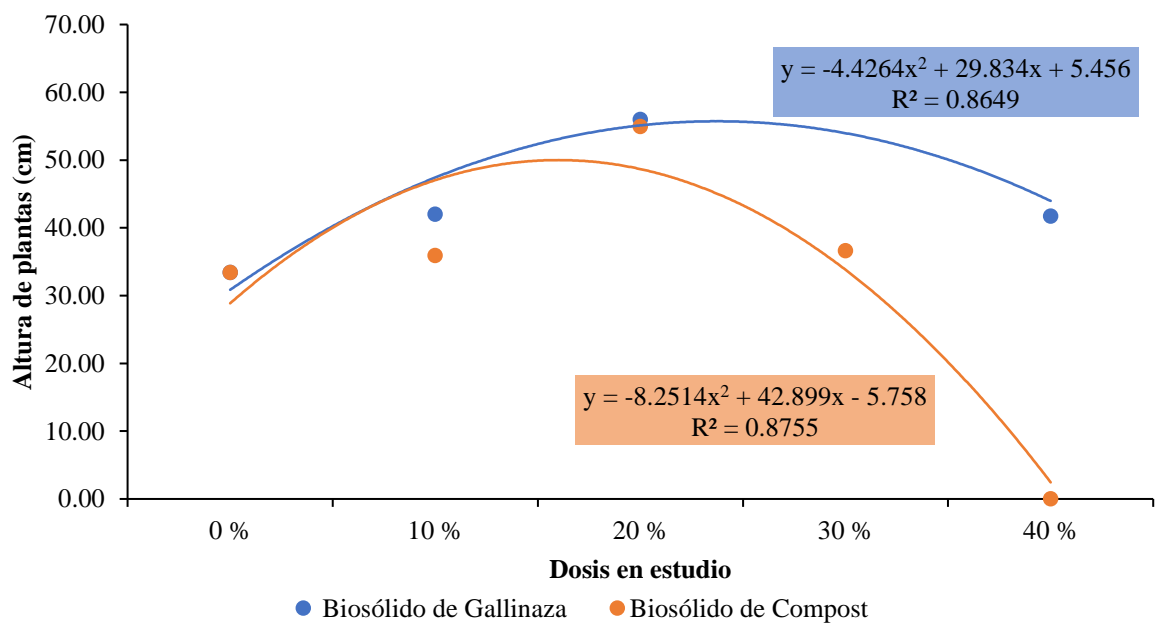
Descripción de los tratamientos en estudio	Altura		
	Promedio	E.E	Sig.
T <sub>2</sub> : 30 % Biosólido de Gallinaza	58,20	$\pm$ 2,14	a
T <sub>3</sub> : 20 % Biosólido de Gallinaza	56,00	$\pm$ 2,14	a
T <sub>7</sub> : 20 % Biosólido de Compost	54,92	$\pm$ 2,14	a
T <sub>9</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Gallinaza	50,28	$\pm$ 2,14	a
T <sub>4</sub> : 10 % Biosólido de Gallinaza	42,01	$\pm$ 2,14	b
T <sub>1</sub> : 40 % Biosólido de Gallinaza	41,70	$\pm$ 2,14	b
T <sub>6</sub> : 30 % Biosólido de Compost	36,63	$\pm$ 2,14	b
T <sub>8</sub> : 10 % Biosólido de Compost	35,89	$\pm$ 2,14	b
T <sub>11</sub> : Testigo	33,42	$\pm$ 2,14	b
T <sub>10</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost	0,00	$\pm$ 2,14	c
T <sub>5</sub> : 40 % Biosólido de Compost	0,00	$\pm$ 2,14	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Con la finalidad de conocer el tratamiento con mayor altura de plantas se realizó la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 7), los tratamientos con mayor altura de plantas son T<sub>2</sub> (30 % biosólido de gallinaza), T<sub>3</sub> (20 % biosólido de gallinaza), T<sub>7</sub> (20 % biosólido de compost) y T<sub>9</sub> (30 % biosólido + 3 L biol de gallinaza), estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos, siendo el tratamiento testigo que obtuvo menor altura de plantas y los tratamientos T<sub>10</sub> (70 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost) y T<sub>5</sub> (60 % Biosólido de Compost) que a los 150 días de evaluación murieron, de manera que su medida fue 0, la muerte fue

causada por las altas concentraciones de biosólido, según Rodríguez et al. (2019) indican que los biosólidos son subproductos de la biofermentación de materiales orgánicos y, aunque pueden ser utilizados como enmiendas del suelo debido a su contenido nutricional, altas concentraciones pueden tener efectos negativos.

Los resultados muestran mayor efecto en altura con biosólido de gallinaza y es probable que se deba por el alto contenido de materia orgánica (MO), N, P y Ca que el biosólido contiene según el análisis (Tabla 2), el biosólido a base de gallinaza, es considerado como el material con buen aporte de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes (Estrada, 2005), son elementos que favorecen al crecimiento de las plantas. La aplicación de gallinaza mejora la estructura del suelo también aumenta la materia orgánica, fertilidad y calidad del suelo (Garro, 2016).



**Figura 7.** Altura de plantas por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde la siembra.

Los datos presentados en la Figura 7 revelan una disminución en la tasa de crecimiento de las plantas conforme se incrementa la concentración de biosólidos. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) proporcionan una visión más detallada de esta relación, indicando que el 86,49 % y el 87,55 % de la variabilidad en la altura de las plantas pueden atribuirse a la concentración de biosólidos en el caso del biosólido de gallina y el biosólido de compost, respectivamente. La evaluación de las curvas indica que la máxima altura de las plantas para el tratamiento con biosólido de gallinaza se aproximada de 55,73 cm, cuando se

aplica un 33,7 % del tratamiento, por otro lado, el tratamiento con biosólido de compost permite alcanzar una altura máxima cercana a los 50 cm, con un 26 % de tratamiento.

Los resultados revelan mayor altura de las plantas con la aplicación de biosólido de gallinaza en comparación con el biosólido de compost, estas disparidades podrían atribuirse a las diferencias en la textura de cada tipo de biosólido. La gallinaza, caracterizada por una textura más gruesa y que incluye cascarilla de arroz, mejora significativamente la estructura del sustrato. Esta mejora en la textura promueve una mayor porosidad del suelo, facilita la retención de agua sin provocar encharcamiento, estimula la actividad microbiana debido a su alto contenido de materia orgánica, retiene nutrientes y proporciona una estructura favorable para el crecimiento de las plantas.

En contraste, el biosólido de compost, con una textura más fina y comúnmente utilizado en bolsas, tiende a compactarse, retener exceso de agua y afectar negativamente el crecimiento normal de las plantas. Sin embargo, se observó que con una dosis del 20 % de biosólido, ambos tipos mostraron un crecimiento promedio de plántulas de 56 y 54.92 cm, respectivamente. Aunque con la aplicación de biosólido de gallinaza, se obtuvo una altura similar con una dosis del 30 %, resultando en plantas con una altura de 58.20 cm.

Estos hallazgos subrayan la importancia del tipo de sustrato, la dosis y el tipo de suelo en el crecimiento de las plantas. Se evidencia que las dosis adecuadas de biosólido de gallinaza son del 30 % y 20 %, mientras que para el compost, la dosis óptima es del 20 %. Desviarse de estas dosis, ya sea con dosis mayores o menores, puede afectar negativamente el desarrollo de las plantas

La utilización de biosólidos enriqueció el sustrato con nutrientes; sin embargo, al incorporar un 20 % adicional de biosólidos junto con tierra como sustrato para plántulas de cacao en el vivero, se observó una deficiencia de micronutrientes como el hierro. Por lo tanto, se concluyó que la aplicación óptima de biosólidos es del 10 % cuando se mezcla con tierra franca, lo que resultó en la producción de plántulas de mayor calidad (Vásquez, 2018). La incorporación de cascarilla de arroz al suelo mejora su textura, lo que aumenta su capacidad de retención de agua y favorece la estructura del sustrato, lo que a su vez beneficia el desarrollo de las raíces y promueve un mayor crecimiento de las plantas (Cajaleon y Mondragon, 2018). Caso contrario cuando el biosólido no es adecuado, por sus partículas finas, el sustrato en las bolsas se compacta, se hace pegajoso, retiene mucha agua y afecta el desarrollo de plantas. En nuestro trabajo, no fue relevante la aplicación de biol, debido a que las plantas no superan en altura al tratamiento T<sub>2</sub> donde se aplicó 30 % biosólido de gallinaza, sin embargo, Condezo

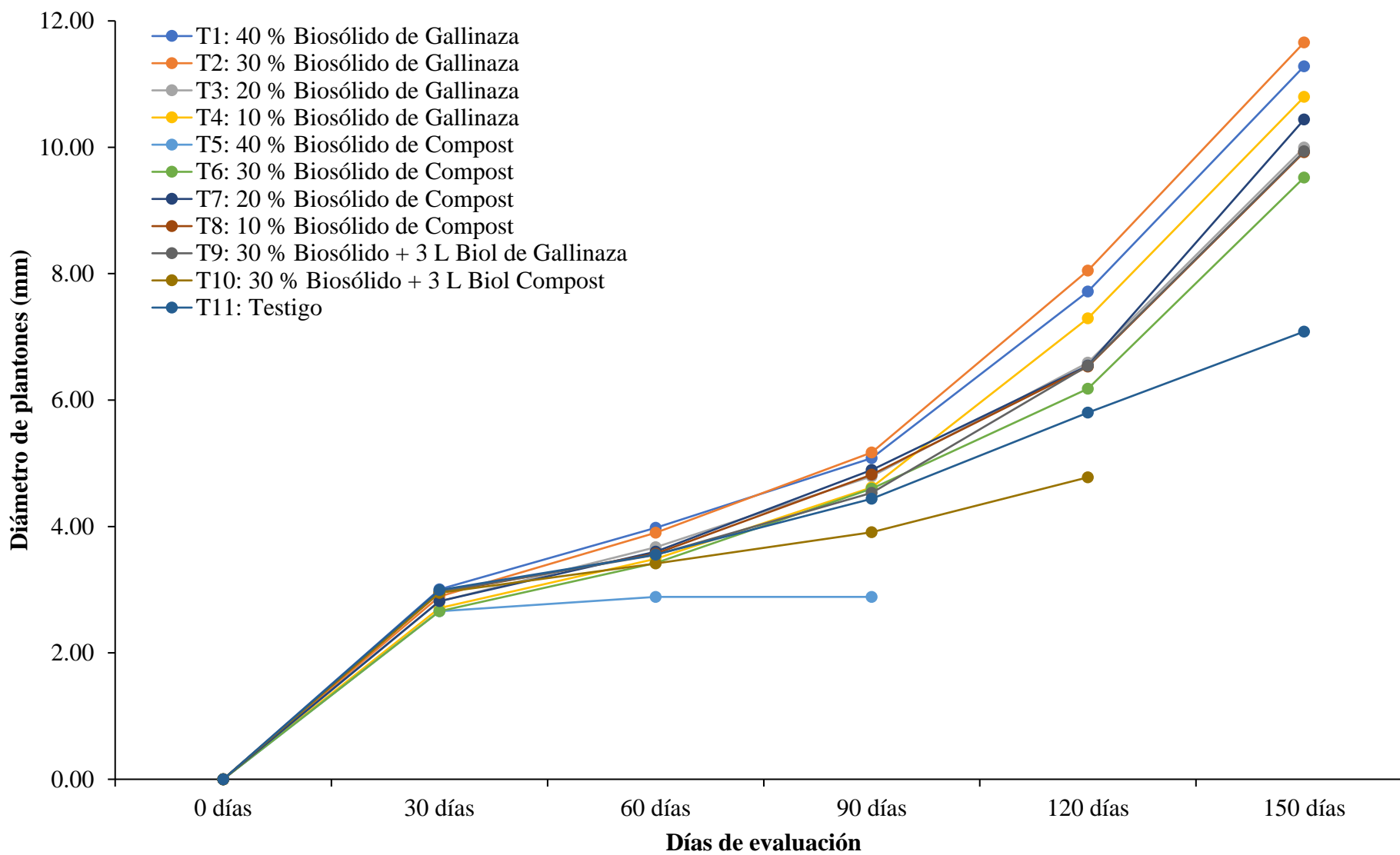
(2013), indica que el biol, siendo un fertilizante foliar, funciona como un bioestimulante que estimula el crecimiento vegetativo de los plantones de cacao.

El uso de biosólidos en sustrato, aumenta la capacidad de soporte del suelo y favorece el crecimiento de plantas (Barragán, 2019), contribuyen a mejorar las características físicas del suelo y la fertilización orgánica, lo que resulta beneficioso para la aireación, la retención de humedad y la absorción de nutrientes, además, promueven el aumento de la población de microorganismos y la actividad microbiana en el suelo, mientras favorecen el desarrollo uniforme y vigoroso de las raíces de las plantas (Telenchana, 2018). Además, el análisis químico de biosólidos (Tabla 2), muestra mayor contenido de minerales el biosólido de gallinaza, la mayor altura de plantas se obtuvo en sustrato con dosis de 30 % biosólido de gallinaza, aunque cuando se aplicó 30 % de biosólido + 3 L /20L las plantas no tuvieron el mismo resultado, es probable que la dosis fue muy alta y las plantas sufren estrés por toxicidad de nutrientes. Si se aplican cantidades excesivas de fertilizante, es probable que el crecimiento de la planta se vea afectado negativamente, lo que podría ocasionar daños en las raíces o incluso la muerte de la planta debido a la acumulación de sales presentes en el fertilizante (Ortiz y Ramos, 2018).

#### **4.1.2. Diámetro**

En cuanto al diámetro del tallo de plantas de cacao en vivero, por efecto de los dos tipos de biosólidos y cuatro dosis de cada uno (Figura 8), podemos ver que los tratamientos T<sub>2</sub> (30 % Biosólido de Gallinaza) y T<sub>7</sub> (20 % Biosólido de Compost) tienen las pendientes más altas en sus respectivas categorías, estos dos tratamientos muestran la mayor tasa de crecimiento en relación con la concentración de biosólidos, sin embargo, vale la pena mencionar que el tratamiento T<sub>5</sub> (40 % Biosólido de Compost) tiene una pendiente negativa, lo que sugiere una disminución en el crecimiento de las plantas a medida que aumenta la concentración de biosólidos en este caso específico.

Se determinó crecimiento lento hasta los 90 días de evaluación desde la siembra de semillas, y a partir de los 90 días hasta los 150 días de evaluación el incremento fue mayor; el mayor diámetro de tallo se determinó en los tratamientos con 30, 40 y 10 % biosólido de gallinaza. Las plantas, no pueden vivir solamente con el aire y el agua, sino que también necesitan cierto número de elementos químicos, que, por lo general, le son proporcionados del suelo a través de las raíces (Pérez, 2017). La gallinaza un buen sustrato para plantas en vivero. Como las plantas de los tratamientos T<sub>5</sub> (40 % biosólido de compost) y T<sub>10</sub> (30 % biosólido + 3 L biol) murieron ya no fue necesario colocar en la figura.



**Figura 8.** Dispersión del crecimiento en diámetro de plántones de cacao hasta los 150 días después de la siembra.

La muerte de estas plantas fue por exceso de humedad debido que en el sustrato el agua se encharcaba ya que las partículas eran muy finas, no existía actividad microbiana así como humificación y mineralización y es probable que esto haya afectado las raíces de las plantas y por lo tanto murieron. La porosidad regula el almacenamiento y movimiento de gases y agua e influye en el desarrollo de las plantas, debido a que facilitan la penetración por parte de las raíces (Osorio et al., 2016), los minerales como el hierro se oxidan por efecto del exceso de humedad retenida en el sustrato formando hidróxido de hierro, lo cual disminuye la elongación y crecimiento celular de la raíz principal deteniendo su crecimiento y a su vez, limita el crecimiento de raíces laterales (Heeren, 2021), el hidróxido de hierro forma un coloide gelatinoso de difícil filtración en el sustrato de la bolsa, y esto afecta a las raíces de las plantas, se estresan y mueren. El análisis químico de biosólido obtiene 9 525,00 ppm de Fe (Tabla 2), siendo tóxico para la planta y es probable que a consecuencia de esto las plantas murieron. Las dosis altas de biol quema las partes vegetativas tiernas de las plantas (Sistema Biobolsa, 2021), el biol es aplicable en una amplia gama de plantas, independientemente de su ciclo de vida, pero su uso, ya sea foliar o radicular, requiere precaución, así como la consideración cuidadosa de la dosis y la frecuencia de aplicación (Cando y Malca, 2015). Es probable que las plantas murieron por altas dosis y frecuencia de aplicación de biol

**Tabla 8.** Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de diámetro del tallo de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Tratamiento	719,49	10	71,95	318,70	<0,0001
Error experimental	7,45	33	0,23		
Total	726,94	43			
CV	5,77				
R <sup>2</sup>	0,99				

El análisis de varianza realizado sobre el diámetro de los tallos de las plantas de cacao en el vivero revela diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, ya que el valor de probabilidad es menor al nivel establecido ( $p < 0,05$ ), esto indica que al menos uno de los tratamientos evaluados difiere estadísticamente de los demás (Camacho-Sandoval, 2007), además, el coeficiente de variación (CV) obtenido fue del 5,77 %, lo cual se considera bajo según la clasificación propuesta por Pimentel (1985), este autor indica que, en general, en los ensayos agrícolas de campo, los coeficientes de variación se consideran bajos cuando son inferiores al 10 % (Tabla 8). Asimismo se muestra un valor de R<sup>2</sup> igual a 0,99 es

decir, la variable dependiente tuvo una influencia del 99 % de las variables independientes, mientras que el 1 % restante son valores no controlados en el experimento, según Cayuela (2014), el coeficiente de determinación  $R^2$  varía entre 0 y 1, cuanto más próximo a 1 sea su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos tratando de explicar, por el contrario, cuanto más cercano a cero esté, menor será el ajuste del modelo y, por ende, menos confiable, considerando la referencia, se concluye que existe una relación fuerte entre las variables del experimento.

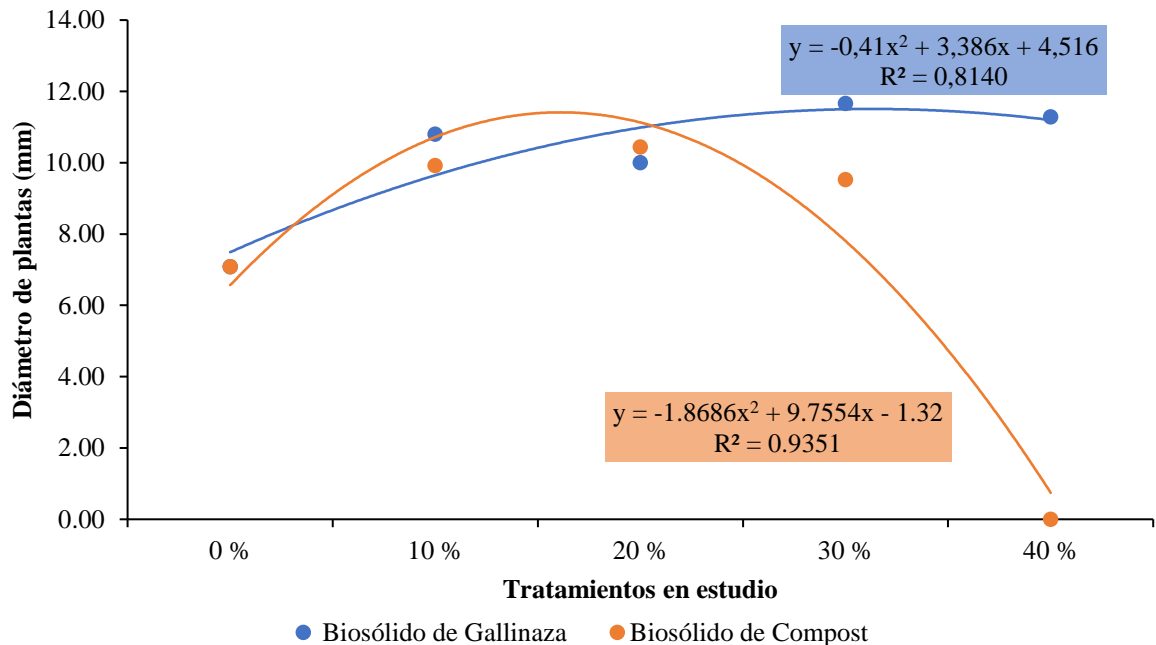
**Tabla 9.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de diámetro del tallo de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio  $\pm$  error estándar)

Descripción de los tratamientos en estudio	Diámetro (mm)		
	Promedio	E.E	Sig.
T <sub>2</sub> : 30 % Biosólido de Gallinaza	11,66	$\pm$ 0,24	a
T <sub>1</sub> : 40 % Biosólido de Gallinaza	11,28	$\pm$ 0,24	a
T <sub>4</sub> : 10 % Biosólido de Gallinaza	10,80	$\pm$ 0,24	b
T <sub>7</sub> : 20 % Biosólido de Compost	10,44	$\pm$ 0,24	b
T <sub>3</sub> : 20 % Biosólido de Gallinaza	10,00	$\pm$ 0,24	c
T <sub>9</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza	9,94	$\pm$ 0,24	c
T <sub>8</sub> : 10 % Biosólido de Compost	9,92	$\pm$ 0,24	c
T <sub>6</sub> : 30 % Biosólido de Compost	9,52	$\pm$ 0,24	c
T <sub>11</sub> : Testigo	7,08	$\pm$ 0,24	d
T <sub>5</sub> : 40 % Biosólido de Compost	0,00	$\pm$ 0,24	e
T <sub>10</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost	0,00	$\pm$ 0,24	e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La prueba de Tukey (Tabla 9) indica que los tratamientos con 30 y 40 % biosólido de gallinaza presentan mayor diámetro de tallo, estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos, el biosólido a base de gallinaza muestra mejor efecto en diámetro de tallo de plantas por el alto contenido de minerales según el análisis químico realizado (Tabla 2), el biosólido de gallinaza es un recurso valioso que aporta una cantidad significativa de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y diversos micronutrientes. Su incorporación al suelo no solo incrementa la materia orgánica, sino que también mejora la fertilidad y la calidad del suelo, lo que favorece el desarrollo saludable de las plantas (Estrada, 2005), también Carballo et al., (2017) afirman que los biosólidos de gallinaza representan una alternativa técnica y económica significativa para la producción de plántulas de pepino y calabacita debido a su contenido mineral, se observa que el tratamiento testigo mostró un menor diámetro de tallo en comparación con todos los tratamientos que incluyeron biosólidos de gallinaza y compost, este efecto puede atribuirse a que las plántulas tratadas recibieron

minerales suplementarios presentes en los materiales orgánicos, algo que las plántulas del tratamiento testigo no recibieron (Barreneche, 2003). Se debe tener en cuenta que las altas dosis de biosólidos y biol puede afectar el normal crecimiento de las plantas (Ramírez et al., 2007).



**Figura 9.** Diámetro del tallo de plantas por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

Los resultados indican que ambas ecuaciones muestran una disminución en la tasa de crecimiento del diámetro del tallo de los plantones de cacao a medida que aumenta la concentración de biosólidos, y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indica que ambos modelos son bastante buenos para explicar la variabilidad en el diámetro del tallo en función de la concentración de biosólidos (Figura 9), sin embargo, el modelo de biosólido de compost parece tener una capacidad predictiva ligeramente mejor que el modelo de biosólido de gallinaza. En el caso del biosólido de gallinaza, se obtiene un diámetro máximo de aproximadamente 11,51 mm con un tratamiento cercano al 41,3 %; por otro lado, con el biosólido de compost, el diámetro máximo del tallo es de 11,41 mm, alcanzado con un tratamiento cercano al 26,10 %

El diámetro de las plantas instaladas en sustratos con biosólidos compost, fueron superadas por las plantas instaladas en biosólido de gallinaza, el contenido de minerales que ofrecen los biosólidos influyen en el desarrollo de plantas de cacao, debido que el tratamiento testigo muestra menor diámetro, sin embargo, es importante no exceder la dosis de

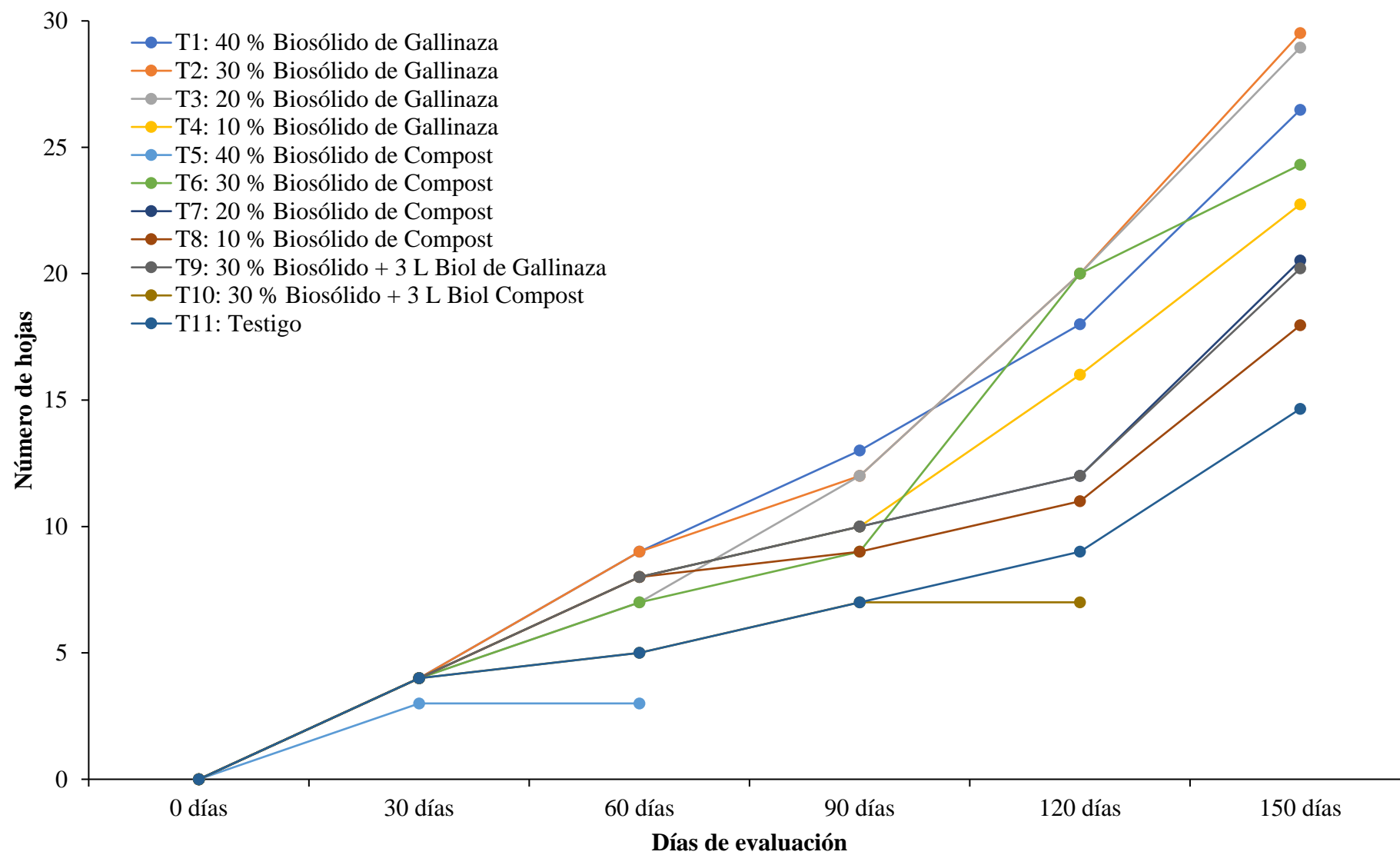


biosólidos en los sustratos, debido que afecta la calidad de las plantas y ocasiona la muerte. Se logró un mayor diámetro de tallos utilizando una dosis del 30 % de biosólido de gallinaza y del 20 % de biosólido de compost, cabe destacar que los materiales orgánicos presentan una considerable variabilidad en su estructura y composición química, lo cual influye en el vigor de las plantas, además, la aplicación de biosólidos aporta nutrientes cruciales para el crecimiento de las plantas, como el nitrógeno y el fósforo, así como micronutrientes esenciales como el níquel, el zinc y el cobre (Peñarete, 2012). El empleo de biosólidos en la agricultura puede ser una opción viable para su disposición final, dado que contienen una abundancia de nutrientes (como C, N, P, K, Ca, Na, Fe y Zn) y materia orgánica que promueven el crecimiento de las plantas (Ramírez et al., 2007)

#### **4.1.3. Número de hojas**

En la Figura 8, se observa que los tratamientos T<sub>2</sub> (30 % Biosólido de Gallinaza), T<sub>3</sub> (20 % Biosólido de Gallinaza) y T<sub>1</sub> (40 % Biosólido de Gallinaza) presentan las pendientes más pronunciadas, indicando tasas de crecimiento superiores en el número de hojas en comparación con otros tratamientos, por el contrario, el tratamiento T<sub>5</sub> (40 % Biosólido de Compost) exhibe una pendiente negativa, sugiriendo una reducción en el número de hojas conforme aumenta la concentración de biosólido de compost en este escenario específico. De esta manera, los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>1</sub> sobresalen por su notoria influencia en estimular la emisión de hojas en las plantas de cacao. Se observa que los tratamientos con los mayores  $R^2$  son: T<sub>1</sub> con 0.9814 (40 % Biosólido de Gallinaza), T<sub>4</sub> con 0.9720 (10 % Biosólido de Gallinaza) y T<sub>2</sub> con 0.9601 (30 % Biosólido de Gallinaza), estos tratamientos destacan por exhibir los coeficientes de determinación más altos, lo que indica que una considerable proporción de la variabilidad en el número de hojas de las plantas de cacao puede ser explicada por la concentración de biosólidos. La emisión de hojas de plantas de cacao se evaluó cada 30 días, hasta los 150 días, en las cuales se determinó mayor número de hojas en los tratamientos con 30 y 20 % biosólido de gallinaza, es probable por el contenido de nutrientes que presenta el biosólido influyen en la emisión de hojas de plantas (Tabla 2), en la Figura 6, en el tratamiento T<sub>5</sub> (40 % biosólido de compost) el número de hojas comenzó a caer a los 60 días de evaluación y con el tratamiento T<sub>10</sub> (30 % biosólido de compost ) a partir de los 90 días.

Es importante tener en cuenta que las dosis altas de biosólidos afectan el desarrollo de las plantas (Ramírez et al., 2007), cuando la dosis es adecuada los biosólidos son favorables para el desarrollo de las plantas, obteniendo plantas vigorosas, tolerantes a enfermedades, debido que éstos aportan N, K, Ca, Br y Zn (Angulo et al., 2021).



**Figura 10.** Dispersión del número de hojas/plantón en diámetro de plantas de cacao hasta los 150 días después de la siembra.

El P es importante para el desarrollo de hojas, debido a la estimulación de hojas, el N forma parte de la proteína y la clorofila promueve el número de hojas, el Ca tiene la función de mejorar la absorción del N, el agua, junto con los minerales, es absorbida por las raíces de las plantas y transportada a las hojas a través del xilema, en las hojas, estos nutrientes llegan a los cloroplastos, donde se encuentra la clorofila y se realiza la fotosíntesis, lo que facilita la emisión de hojas, se ha demostrado que los biosólidos promueven la emisión de hojas gracias a los minerales presentes en estos residuos orgánicos, especialmente el fósforo y el calcio Según Arrieche y Mora (2005).

**Tabla 10.** Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de número de hojas de plantas de cacao evaluadas a los 150 días después de la siembra

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Tratamiento	4335,64	10	433,56	132,17	<0,0001
Error experimental	108,25	33	3,28		
Total	4443,89	43			
CV	9,61				
R2	0,98				

El número de hojas mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, ya que el valor de probabilidad es menor que el umbral establecido ( $p < 0,05$ ). Esto indica que al menos uno de los tratamientos es estadísticamente distinto (Camacho-Sandoval, 2007). El coeficiente de variación (CV) fue del 9,61 %, considerado bajo según Pimentel (1985), quien establece que en los ensayos agrícolas de campo, los CV se consideran bajos cuando son inferiores al 10 % (Tabla 10). Asimismo se muestra un valor de  $R^2$  igual a 0,98 es decir, la variable dependiente tuvo una influencia del 98 % de las variables independientes, mientras que el 2 % restante son valores no controlados en el experimento, según Cayuela (2014), el  $R^2$  varía entre 0 y 1; cuanto más se aproxima a 1, mejor ajusta el modelo a la variable que se desea explicar, en contraste, un valor cercano a 0 indica un ajuste deficiente y, por ende, menor fiabilidad del modelo, con esta referencia, se puede considerar que las variables del experimento están fuertemente relacionadas.

El mayor número de hojas corresponde a los tratamientos  $T_3$  (20 % biosólido de gallinaza + 80 % de tierra agrícola) y  $T_2$  (30 % biosólido de gallinaza + 70 % tierra agrícola), estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos, significa que la dosis adecuada para la emisión de hojas en plantas de cacao en vivero fue 20 % y 30 % de biosólido de gallinaza, en segundo lugar se muestra al tratamiento  $T_1$ , estadísticamente es diferente a los demás tratamientos, en tercer lugar se observa a los tratamientos  $T_6$ ,  $T_4$ ,  $T_7$ ,  $T_9$ ,

estadísticamente es diferente a los tratamientos T<sub>8</sub> y T<sub>11</sub>, quienes muestran menor número de hojas (Tabla 11). Los biosólidos poseen características que pueden mejorar la fertilidad de los suelos, sin embargo, se debe tener mucha consideración las dosis de aplicación, puesto que cada tipo de biosólido debe ser específico para cada tipo de cultivo, además se debe de considerar el tipo de suelo y calidad de biosólido (González-Flores et al., 2017).

**Tabla 11.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de número de hojas de plantas de cacao evaluado a los 150 días después del trasplante (Promedio  $\pm$  error experimental)

Descripción de los tratamientos en estudio	Número de hojas/plantas		
	Promedio	E.E	Sig.
T <sub>3</sub> : 20 % Biosólido de Gallinaza	30,00	$\pm$ 0,91	a
T <sub>2</sub> : 30 % Biosólido de Gallinaza	30,00	$\pm$ 0,91	a
T <sub>1</sub> : 40 % Biosólido de Gallinaza	26,75	$\pm$ 0,91	b
T <sub>6</sub> : 30 % Biosólido de Compost	24,00	$\pm$ 0,91	c
T <sub>4</sub> : 10 % Biosólido de Gallinaza	22,50	$\pm$ 0,91	c
T <sub>7</sub> : 20 % Biosólido de Compost	20,75	$\pm$ 0,91	c
T <sub>9</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza	20,50	$\pm$ 0,91	c
T <sub>8</sub> : 10 % Biosólido de Compost	17,75	$\pm$ 0,91	d
T <sub>11</sub> : Testigo	15,00	$\pm$ 0,91	d
T <sub>10</sub> : 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost	0,00	$\pm$ 0,91	e
T <sub>5</sub> : 40 % Biosólido de Compost	0,00	$\pm$ 0,91	e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

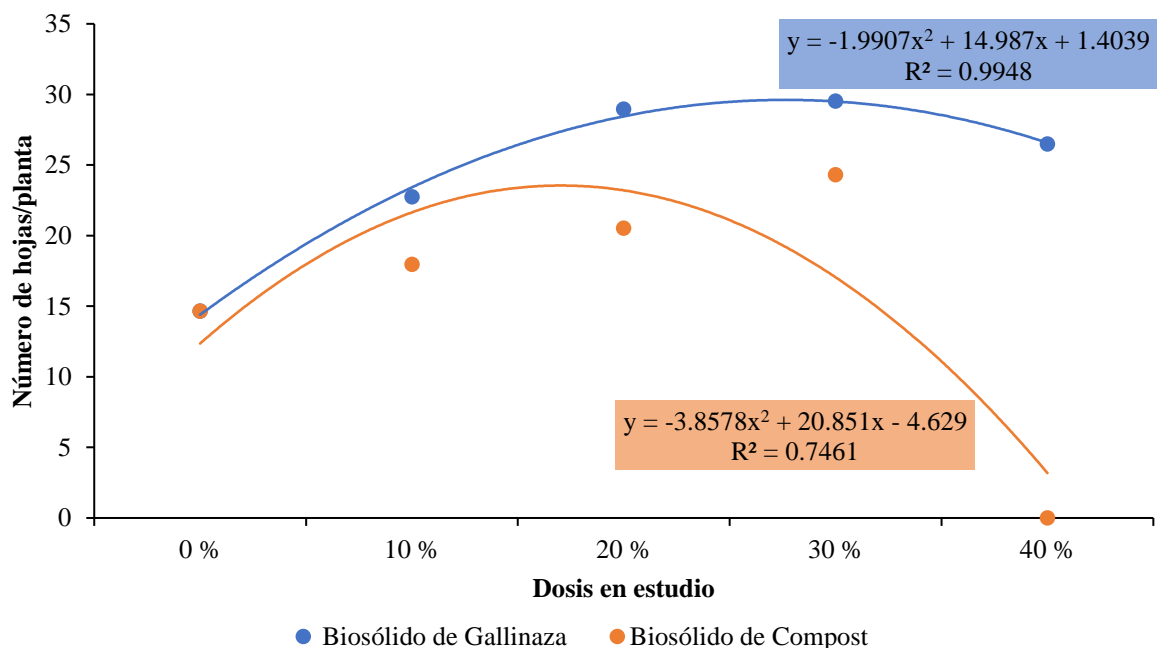
Los resultados (Figura 11) muestran que ambas ecuaciones polinómicas muestran que a medida que aumenta la concentración de biosólidos, la tasa de crecimiento del número de hojas de los plantones de cacao tiende a disminuir. Sin embargo, el modelo de biosólido de gallinaza parece ajustarse mejor a los datos, como lo indica su coeficiente de determinación más alto en comparación con el modelo de biosólido de compost.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es alto, alcanzando un valor de 0,9948, lo que sugiere que aproximadamente el 99,48 % de la variabilidad en el número de hojas de los plantones de cacao puede explicarse por la concentración de biosólido de gallinaza, mostrando un ajuste excelente del modelo a los datos observados. Sin embargo, el  $R^2$  es significativamente más bajo en comparación con el biosólido de gallinaza, con un valor de 0,7461, esto sugiere que solo aproximadamente el 74,61 % de la variabilidad en el número de hojas puede explicarse por la concentración de biosólido de compost, lo que indica un ajuste menos adecuado del modelo a los datos en comparación con el modelo de biosólido de gallinaza.

Con el tratamiento de biosólido de gallinaza, se obtiene un número máximo de aproximadamente 29,61 hojas/planta, con un tratamiento cercano al 37,6 %; por otro lado, con

el tratamiento de biosólido de compost, se alcanza un número máximo de aproximadamente 23,55 hojas/planta, con un tratamiento cercano al 27 %

Cada tipo de biosólido presenta sus propias características, de modo que cuando este tipo de biosólido mezclado con tierra agrícola, generó características adecuadas para el mejor desarrollo de las plantas, como retención e incremento de nutrientes, porosidad, aireación y contenido de agua adecuada, a diferencia del biosólido de compost, las cuales por sus características no es adecuado para el buen desarrollo de plantas y emisión de hojas, debido que el biosólido de compost mezclado con tierra genera plasticidad, retiene mayor contenido de agua, disminuye la humificación y mineralización. El biosólido de gallinaza contiene mayor contenido de MO (Tabla 2), lo que puede ser causante de un alto contenido de CIC y esto mejora las características de las plantas (González-Flores et al., 2017).



**Figura 11.** Número de hojas/plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

#### 4.1.4. Área foliar

El análisis de varianza revela diferencias estadísticas en los tratamientos de la variable área foliar, ya que el valor de probabilidad es menor al umbral establecido ( $p < 0,05$ ) (Tabla 12), esto indica que al menos uno de los tratamientos estudiados es estadísticamente diferente (Camacho-Sandoval, 2007), el coeficiente de variación (CV) fue de 1,56 %, considerado bajo según los criterios de Pimentel (1985), quien señala que en los

ensayos agrícolas de campo los CV inferiores al 10 % son considerados bajos. Asimismo se muestra un valor de  $R^2$  igual a 0,99 es decir, la variable dependiente tuvo una influencia del 99 % de las variables independientes, mientras que el 1 % restante son valores no controlados en el experimento, según Cayuela (2014), El valor de  $R^2$  varía entre 0 y 1; un valor cercano a 1 indica un mejor ajuste del modelo a la variable que se está tratando de explicar, mientras que un valor cercano a 0 sugiere un ajuste pobre y, por lo tanto, menos fiable, según este criterio, se considera que existe una fuerte relación entre las variables del experimento.

**Tabla 12.** Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra

<b>Fuente de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	852480,83	10	85248,08	4033,59	<0,0001
Error experimental	697,44	33	21,13		
Total	853178,27	43			
CV	1,56				
$R^2$	0,99				

La prueba de Tukey (Tabla 13) muestra mayor área foliar en el tratamiento  $T_3$  (20 % Biosólido de Gallinaza), estadísticamente es diferente a los demás tratamientos, en segundo lugar se observa a los tratamientos  $T_2$  (30 % biosólido de gallinaza),  $T_1$  (40 % Biosólido de Gallinaza),  $T_6$  (30 % Biosólido de Compost) y  $T_7$  (20 % Biosólido de Compost), estadísticamente son iguales y diferentes a los tratamientos  $T_9$ ,  $T_4$ ,  $T_8$  y  $T_{11}$ , en tercer lugar se observa a los tratamientos  $T_9$  (30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza),  $T_4$  (10 % Biosólido de Gallinaza),  $T_8$  (10 % Biosólido de Compost) y  $T_{11}$  (Testigo), finalmente los tratamientos  $T_5$  (60 % Biosólido de Compost) y  $T_{10}$  (70 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost), muestran promedio 0, debido que plantas murieron a los 90 y 150 días después de la siembra de semillas.

Al respecto Huerta-Muñoz y Cruz-Hernández (2018) refieren que el biosólido es beneficioso para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, sin embargo, altos niveles en el sustrato de plántones puede tener consecuencias negativas, como la pudrición de las raíces, debido al alto contenido de agua que este sustrato retienen, asimismo Sánchez et al. (2005) manifiestan que un alto contenido de biosólido en el sustrato de plántones puede tener consecuencias negativas, destacando la retención excesiva de agua, lo que propicia un ambiente saturado propenso al crecimiento de hongos y bacterias que causan la pudrición de las raíces, También Moreno et al. (2020) indican que la falta de aireación debido a la compactación del sustrato reduce la llegada de oxígeno a las raíces, comprometiendo su capacidad de realizar la respiración celular y llevándolas a pudrirse.

**Tabla 13.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del área foliar de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio  $\pm$  error estándar)

Descripción de tratamientos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )		Sig.
T3: 20 % Biosólido de Gallinaza	370,93	$\pm$ 2,30	a
T2: 30 % Biosólido de Gallinaza	365,88	$\pm$ 2,30	b
T1: 40 % Biosólido de Gallinaza	363,60	$\pm$ 2,30	b
T6: 30 % Biosólido de Compost	362,41	$\pm$ 2,30	b
T7: 20 % Biosólido de Compost	361,73	$\pm$ 2,30	b
T9: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza	358,25	$\pm$ 2,30	c
T4: 10 % Biosólido de Gallinaza	355,54	$\pm$ 2,30	c
T8: 10 % Biosólido de Compost	354,64	$\pm$ 2,30	c
T11: Testigo	352,94	$\pm$ 2,30	c
T5: 40 % Biosólido de Compost	0,00	$\pm$ 2,30	d
T10: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost	0,00	$\pm$ 2,30	d

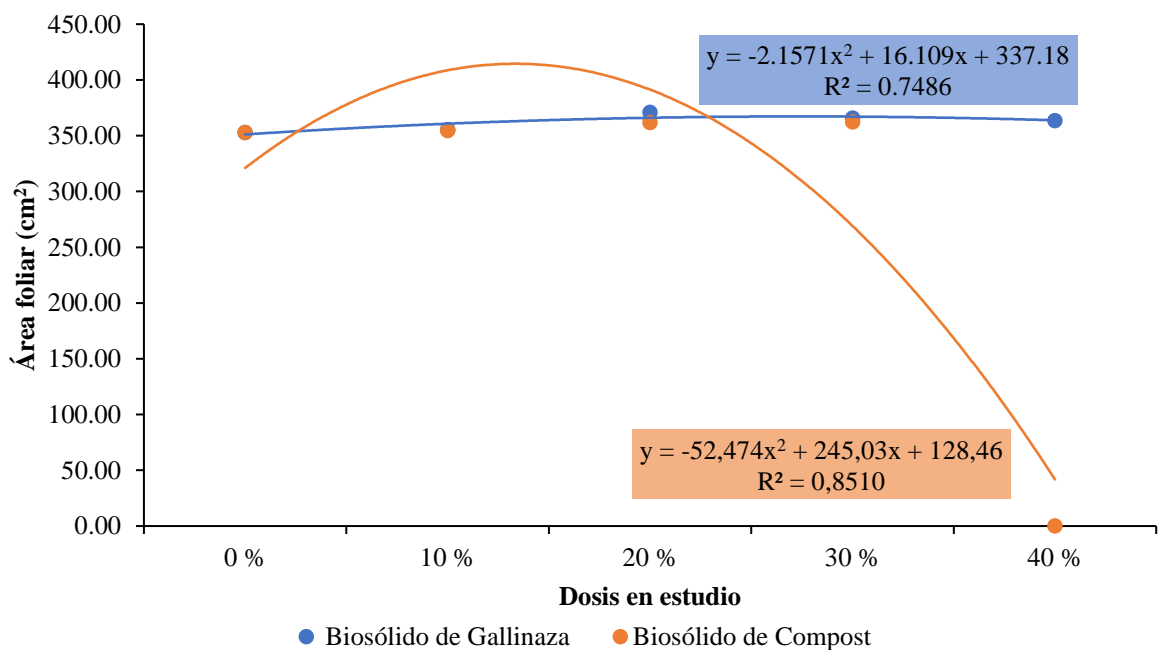
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Salazar et al. (2007) señalan que el desequilibrio nutricional, resultado de un exceso de ciertos elementos presentes en el compost, puede alterar la disponibilidad de nutrientes y favorecer la proliferación de patógenos, incrementando el riesgo de enfermedades radiculares y posteriores muertes de las plantas. Estos anunciados podrían ser las razones que las plantas de los tratamientos T<sub>5</sub> y T<sub>10</sub> murieron. Sin embargo cuando la dosis de biosólido es adecuada las plantas muestra mayor desarrollo, por ende mayor área foliar, tal es el caso del tratamiento T<sub>4</sub> con 20 % biosólido que muestra mayor tamaño de hojas y al comparar con el tratamiento testigo, se evidencia el efecto de este biosólido. Además se determinó que el biosólido de gallinaza muestra mayor longitud de raíces, incrementando hasta el triple.

Los resultados muestran (Figura 12) que ambas ecuaciones polinómicas muestran que a medida que aumenta la concentración de biosólidos, la tasa de crecimiento del área foliar de los plantones de cacao tiende a disminuir. El  $R^2$  es relativamente bajo, con un valor de 0,7486, esto sugiere que aproximadamente el 74,86 % de la variabilidad en el área foliar de los plantones de cacao puede explicarse por la concentración de biosólido de gallinaza, asimismo se muestra que el  $R^2$  es más alto en comparación con el biosólido de gallinaza, con un valor de 0,8510, esto sugiere que aproximadamente el 85,10 % de la variabilidad en el área foliar de los plantones de cacao puede explicarse por la concentración de biosólido de compost.

El tratamiento testigo muestra un área foliar de 352,94 cm<sup>2</sup>, a medida que aumenta la proporción de biosólidos, se evidencia un incremento general en el área foliar para ambos tipos de biosólidos, es notable que, a un 20 % de biosólido, el área foliar alcanza los 370,93 cm<sup>2</sup> para el biosólido de gallinaza y 361,73 cm<sup>2</sup> para el de compost, sin embargo, en los tratamientos con un 40 % de biosólido, se observa una significativa disminución en el área

foliar del biosólido de compost, llegando a cero (caída de las hojas y posterior muerte de las plantas), indicando un posible impacto negativo en el crecimiento de las plantas con esa concentración. Mientras tanto, el biosólido de gallinaza mantiene un área foliar de 363,60 cm<sup>2</sup>, en los tratamientos combinados (30 % + 3 L), el biofermento de gallinaza presenta un área foliar de 358,25 cm<sup>2</sup>, mientras que el de compost mantiene un área foliar nula (0). Los resultados muestran que el tratamiento más propicio para el mayor crecimiento de las plantas parece ser el de biosólido de gallinaza al 20 %, en comparación con los demás tratamientos, incluyendo aquellos con biosólido de compost.



**Figura 12.** Área foliar de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

Con el tratamiento de biosólido de gallinaza, se obtiene un área foliar máxima de aproximadamente 367,26 cm<sup>2</sup> con un tratamiento cercano al 37,30 %; en el caso del biosólido de compost, el área foliar máxima es de aproximadamente 414,50 cm<sup>2</sup>, alcanzada con un tratamiento cercano al 23,30 %.

#### 4.1.5. Longitud y volumen de raíces

El examen de variabilidad revela discrepancias significativas entre los diversos tratamientos aplicados a las dimensiones de longitud y volumen de las raíces, la presencia de un valor de probabilidad inferior al umbral establecido ( $p < 0,05$ ) (Tabla 14) indica



que al menos uno de los tratamientos investigados difiere de manera estadísticamente significativa (Camacho-Sandoval, 2007). Respecto al coeficiente de variación (CV), se registraron valores del 11,03 % y 8,76 %, considerados como de magnitud media y baja, respectivamente, según los estándares propuestos por Pimentel (1985). Este autor sugiere que en los ensayos agrícolas de campo, los CV se categorizan como medios cuando oscilan entre el 10 % y el 20 %, y como bajos cuando son inferiores al 10 %. Asimismo se muestra un valor de  $R^2$  igual a 0,98 y 0,99 es decir, la variable dependiente tuvo una influencia del 98 y 99 % de las variables independientes, mientras que el 2 y 1 % restante son valores no controlados en el experimento, según Cayuela (2014), la magnitud del coeficiente de determinación  $R^2$  varía entre 0 y 1, mientras más próximo esté su valor a 1, mayor será la capacidad del modelo para explicar la variabilidad de la variable en cuestión, en contraste, cuanto más cercano esté a cero, menor será la precisión del modelo y, en consecuencia, menos confiable, de acuerdo con la normativa de referencia, se interpreta como una relación robusta entre las variables bajo análisis.

**Tabla 14.** Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra

Fuente de variación	GL	Longitud de raíz (cm)		Volumen de raíz (cm <sup>3</sup> )	
		CM	P-valor	CM	P-valor
Tratamiento	10	566,43	<0,0001	2695,13	<0,0001
Error experimental	33	4,36		6,49	
Total	43				
CV		11,03		8,76	
$R^2$		0,98		0,99	

La prueba de Tukey (Tabla 15) muestra mayor longitud de raíz en los tratamientos  $T_4$  (10 % biosólido de Gallinaza),  $T_2$  (30 % biosólido de gallinaza), estadísticamente son iguales y diferentes a las demás dosis, en segundo lugar se observa a los tratamientos  $T_1$  (40 % Biosólido de Gallinaza),  $T_9$  (30 % Biosólido + 3 L/20 L biol de Gallinaza) y  $T_3$  (20 % Biosólido de Gallinaza), estadísticamente son iguales y diferentes a los tratamientos  $T_7$ ,  $T_8$ ,  $T_6$  y  $T_{11}$ , en tercer lugar se observa a los tratamientos  $T_7$  (20 % Biosólido de Compost) y  $T_8$  (10 % Biosólido de Compost), estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos, en cuarto lugar se observa al tratamiento  $T_6$  (30 % Biosólido de Compost), estadísticamente es diferente a los demás tratamiento, en quinto lugar se observa al tratamiento  $T_{11}$  (testigo), estadísticamente es diferente a los tratamientos  $T_{10}$  (30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost) y  $T_5$  (40 % Biosólido de Compost), muestran promedio 0, debido que las raíces

se pudrieron, probablemente debido al alto nivel de biosólido a base de compost municipal utilizado en el experimento.

**Tabla 15.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de longitud y volumen de raíz de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio  $\pm$  error estándar)

<b>Raíces</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Sig.</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Sig.</b>
T <sub>4</sub>	32,43 $\pm$ 1,04	a	T <sub>1</sub>	85,25 $\pm$ 1,27	a
T <sub>2</sub>	32,16 $\pm$ 1,04	a	T <sub>2</sub>	62,42 $\pm$ 1,27	b
T <sub>1</sub>	28,94 $\pm$ 1,04	b	T <sub>4</sub>	39,38 $\pm$ 1,27	c
T <sub>9</sub>	28,31 $\pm$ 1,04	b	T <sub>3</sub>	31,65 $\pm$ 1,27	d
T <sub>3</sub>	26,13 $\pm$ 1,04	b	T <sub>7</sub>	31,65 $\pm$ 1,27	d
T <sub>7</sub>	18,61 $\pm$ 1,04	c	T <sub>9</sub>	23,88 $\pm$ 1,27	e
T <sub>8</sub>	17,31 $\pm$ 1,04	c	T <sub>8</sub>	21,31 $\pm$ 1,27	e
T <sub>6</sub>	14,04 $\pm$ 1,04	d	T <sub>6</sub>	13,51 $\pm$ 1,27	f
T <sub>11</sub>	10,24 $\pm$ 1,04	e	T <sub>11</sub>	10,90 $\pm$ 1,27	f
T <sub>10</sub>	0,00 $\pm$ 1,04	f	T <sub>10</sub>	0,00 $\pm$ 1,27	g
T <sub>5</sub>	0,00 $\pm$ 1,04	f	T <sub>5</sub>	0,00 $\pm$ 1,27	g

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

T<sub>1</sub>: 40 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>2</sub>: 30 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>3</sub>: 20 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>4</sub>: 10 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>9</sub>: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza

T<sub>11</sub>: Testigo

T<sub>5</sub>: 40 % Biosólido de Compost

T<sub>6</sub>: 30 % Biosólido de Compost

T<sub>7</sub>: 20 % Biosólido de Compost

T<sub>8</sub>: 10 % Biosólido de Compost

T<sub>10</sub>: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost

Al respecto Huerta-Muñoz y Cruz-Hernández (2018) refieren que el biosólido es beneficioso para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, un alto contenido del material orgánico en el sustrato llenado en bolsas para las plantas puede tener consecuencias negativas, como la pudrición de raíces, además Sánchez et al. (2005) manifiestan que un alto contenido de biosólidos en el sustrato de plántones puede tener consecuencias negativas, destacando la retención excesiva de agua, lo que propicia un ambiente saturado propenso al crecimiento de hongos y bacterias que causan la pudrición de las raíces, que además, este compost es elaborado de residuos municipales, Moreno et al. (2020) señalan que la presencia elevada de biosólidos en las bolsas provoca una compactación con el agua, limitando la aireación; esta compactación del sustrato reduce el flujo de oxígeno hacia las raíces, comprometiendo su capacidad para llevar a cabo la respiración celular y propiciando la pudrición de las raíces, de acuerdo con Salazar et al. (2007).

El desequilibrio nutricional, generado por el exceso de ciertos elementos presentes en los biosólidos, puede perturbar la disponibilidad de nutrientes y propiciar la proliferación de patógenos, este desequilibrio aumenta el riesgo de enfermedades radiculares, lo que podría explicar el fallecimiento de las plantas y la descomposición de las raíces en los

tratamientos T<sub>5</sub> y T<sub>10</sub>. No obstante, cuando la dosis de biosólidos es apropiada, se observa un aumento significativo en la longitud de las raíces de las plantas en comparación con el tratamiento de control (Tratamiento 6), cabe destacar que se determinó que los biosólidos de gallinaza exhiben una longitud de raíces aún mayor, llegando a triplicar el crecimiento en comparación con otros tipos de biosólidos como se muestra en los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>2</sub>.

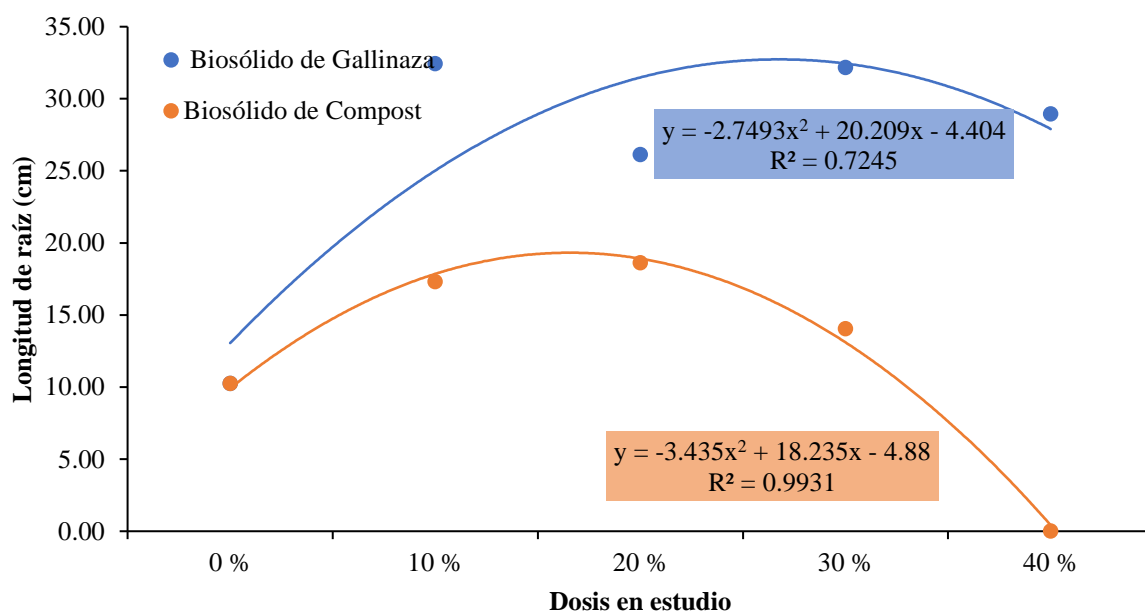
Mayor volumen de raíces se determinó en el tratamiento T<sub>1</sub> (40 % Biosólido de Gallinaza), estadísticamente es diferente a los demás tratamientos, en segundo y tercer lugar se observa los tratamientos T<sub>2</sub> (30 % Biosólido de Gallinaza) y T<sub>4</sub> (10 % Biosólido de Gallinaza), estadísticamente son diferentes a los demás tratamientos, en cuarto y quinto lugar están los tratamientos T<sub>3</sub> (20 % Biosólido de Gallinaza), T<sub>7</sub> (20 % Biosólido de Compost), T<sub>9</sub> (30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza) y T<sub>8</sub> (10 % Biosólido de Compost), estadísticamente son diferentes y con menor volumen de raíces se determinó en los tratamientos T<sub>6</sub> (30 % Biosólido de Compost) y T<sub>11</sub> (Testigo).

La gallinaza es un excelente fertilizante, es un material con buen aporte de nitrógeno, además de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes, aumenta la materia orgánica, fertilidad y calidad del suelo (INTAGRI, 2021), condiciones en las cuales favorece el crecimiento de la raíz de las plantas de cacao en vivero, además, la gallinaza, en su estructura está compuesto por cascarilla de arroz, y cuando se somete a biofermento esto no se descompone lo cual sirve como un excelente material para mezclar en sustratos para plantas, evita la compactación del sustrato y permite un buen drenaje, a diferencia de biosólido de compost, que al someterse a biofermento, se hace como lodo y al mezclarle con tierra, se compacta no hay filtración de agua, no hay buena estructura de sustrato y las plantas presentan defectos para el crecimiento de sus raíces. El valor de fertilizante de las gallinazas se da por el alto contenido de nutrientes y minerales esenciales para el crecimiento de las plantas por el alto contenido de MO (Etchevehere et al., 2019).

La combinación de biosólido de gallinaza con tierra agrícola en bolsas no resulta en compactación del sustrato, lo que facilita el flujo de agua y aire, este proceso da lugar a una estructura densa que promueve condiciones físico-químicas óptimas para el desarrollo de las raíces. Por otro lado, el compost tratado con biofermento se descompone en una sustancia similar al lodo, actuando como un aglutinante de las partículas del sustrato, esto conlleva a una retención de agua, una disminución en la actividad de los microorganismos productores de exudados (los cuales funcionan como aglutinantes para la formación de agregados), y como resultado, se observa una menor longitud de raíces (Torres-Guerrero et al., 2013).

Los resultados indican que a medida que aumenta la concentración de biosólidos, la tasa de crecimiento de las raíces de los plántones de cacao tiende a disminuir, el  $R^2$  para biosólido gallinaza es relativamente bajo, indicando que alrededor del 72,45 % de la variabilidad en las longitudes de las raíces podría explicarse por la concentración de biosólido de gallinaza, el  $R^2$  para biosólido compost es notablemente más alto, sugiriendo que aproximadamente el 99,31 % de la variabilidad en las longitudes de las raíces puede explicarse por la concentración de biosólido de compost (Figura 13). Sin embargo la mayor longitud de raíz se determinó en los sustratos con aplicación de biosólidos a base de gallinaza y menor longitud con aplicación de biosólidos a base de compost; el biosólido de gallinaza tienen alta cantidad de microporos y baja cantidad de macroporos, mientras que el biosólido de compost es todo lo contrario, debido a las características de su composición.

Con el tratamiento de biosólido de gallinaza, se obtiene una longitud máxima de raíz de aproximadamente 32,73 cm con un tratamiento cercano al 36,80 %; en el caso del biosólido de compost, la longitud máxima de raíz es de aproximadamente 19,32 cm, alcanzada con un tratamiento cercano al 26,50 %.



**Figura 13.** Longitud de raíz de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

El biosólido de gallinaza ofrece beneficios significativos para la estructura y calidad del suelo agrícola, al incorporarse en el sustrato, mejora la estructura del suelo al

promover una mejor agregación de partículas, lo que resulta en una mayor porosidad y permeabilidad, esto favorece la retención de humedad en el suelo, proporcionando un entorno adecuado para el crecimiento de las raíces de las plantas de cacao, además, la gallinaza aporta una variedad de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, como nitrógeno, fósforo y potasio, que son liberados gradualmente a medida que se descompone, lo que promueve un desarrollo saludable de las raíces y un crecimiento vigoroso de las plantas.

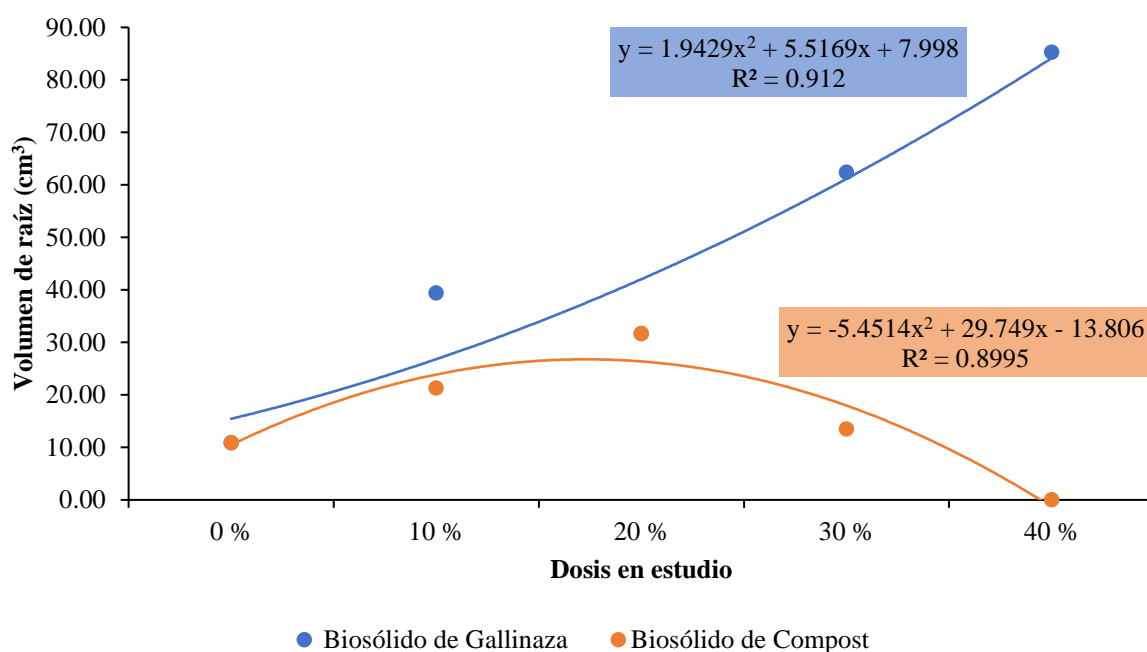
Por otro lado, el biosólido de compost, aunque también puede mejorar la estructura del suelo, presenta algunas diferencias en comparación con la gallinaza, las partículas más finas del compost pueden contribuir a la formación de microporos en el suelo cuando se mezclan con la tierra agrícola, si bien esto puede ayudar a retener agua en el suelo, también puede llevar a condiciones de baja oxigenación, lo que puede afectar negativamente el crecimiento de las raíces, además, cuando el compost se seca, puede formar una capa dura en la superficie del suelo, lo que dificulta el crecimiento de las raíces y requiere un mayor esfuerzo por parte de las plantas para penetrar y expandirse en el sustrato

Se observó un incremento en el tamaño de las raíces al utilizar mezclas con 10 % y 30 % de biosólido de gallinaza, alcanzando longitudes promedio de 32,43 cm y 32,16 cm respectivamente, la inclusión de materia orgánica facilita la retención y absorción gradual del agua por parte de las raíces, permitiéndoles aprovecharla de manera más efectiva, además, la presencia de materia orgánica contribuye a la retención de nutrientes en el suelo, lo que favorece su disponibilidad para las plantas (Garro, 2016), probablemente fue un factor importante para el crecimiento de las raíces debido que el análisis químico de biosólido de gallinaza fue 75,31 % la MO (Tabla 2).

La configuración del suelo influye notablemente en la arquitectura de las raíces, especialmente debido al número de poros presentes en el sustrato, estos poros facilitan el drenaje del suelo, lo que a su vez promueve un crecimiento mayor en longitud de las raíces. Se observó una longitud de raíz inferior en los tratamientos control en ambos tipos de sustratos, sugiriendo que la aplicación de biosólidos mejora la estructura del sustrato, lo que conduce a un aumento en el tamaño, número y volumen de las raíces, este incremento en el volumen radicular resulta en un mayor desarrollo de las plantas, cuando el sustrato carece de adecuada estructura, las raíces deben ejercer una mayor fuerza para penetrarlo, lo que disminuye las reservas de energía necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Torres et al., 2013).

En el caso del biosólido de gallinaza, se observa una relación positiva con el volumen de las raíces, lo que significa que el volumen tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración del biosólido, además, se obtiene un coeficiente de determinación

( $R^2$ ) de 0,9120, lo que indica que aproximadamente el 91,20 % de la variabilidad en el volumen de las raíces puede explicarse por la concentración de biosólidos de gallinaza. Por otro lado, la aplicación de biosólido de compost revela una relación negativa con el volumen de las raíces, lo que implica que conforme aumenta la concentración de biosólidos de compost, el volumen de las raíces tiende a disminuir, el valor de  $R^2$  obtenido fue de 0,8995, lo que sugiere que aproximadamente el 89,95 % de la variabilidad en el volumen de las raíces puede explicarse por la concentración del biosólido de compost (Figura 14). La cantidad de raíces en las plantas de cacao parece estar vinculada a la composición del suelo, ya que se registra un incremento en el volumen radicular en aquellas plantas tratadas con biosólido de gallinaza.



**Figura 14.** Volumen de raíz de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

Para el tratamiento con biosólido de compost, se obtiene un volumen máximo de raíz de aproximadamente 26,78 cm<sup>3</sup> con un tratamiento cercano al 27,30 %, en el caso del biosólido de gallinaza, la ecuación no proporciona un máximo significativo dentro del rango de valores positivos de tratamiento (40 %), lo que sugiere que la curva es creciente en este intervalo, indicando que el volumen de raíz continúa aumentando con el incremento del porcentaje de biosólido de gallinaza aplicado.

Esta diferencia puede atribuirse a la textura del biosólido, que incluye cascarilla de arroz, una materia más gruesa en comparación con otros sustratos Quintero et al.

(2012) Se menciona que la cascarilla de arroz es valorada como un material idóneo para sustratos, ya que contribuye a mejorar la estructura del suelo y contiene una variedad de minerales beneficiosos, por lo tanto, proporciona condiciones óptimas para el desarrollo de las raíces de las plantas FAO (2011), se señala que la inclusión de cáscara de arroz en el suelo incrementa la actividad microbiana y microbiana, lo cual beneficia el crecimiento de las plantas, esta cáscara es rica en sílice, lo que favorece un buen drenaje y mantiene la humedad de las plantas sin generar estancamiento de agua.

Las altas concentraciones de silicio en el suelo aumentan la cantidad de espacios llenos de aire alrededor de las raíces, permitiendo una mayor oxigenación, lo que a su vez mejora la capacidad oxidativa y reduce los niveles tóxicos de hierro y manganeso en la región de la rizosfera, volviéndolos menos perjudiciales para las plantas (Valverde, 2007), se identifican motivos por los cuales se observa un aumento en el volumen de las raíces al aplicar biosólido de gallinaza, ya que este mejora la estructura del suelo, lo que resulta en un incremento en el volumen radicular debido a sus beneficios inherentes. Según la FAO (2018), los residuos orgánicos contienen una cantidad considerable de minerales, lo que favorece el crecimiento de las raíces de las plantas.

#### 4.1.6. Peso fresco y seco

Se evidenciaron discrepancias significativas entre los tratamientos en relación al peso de las plantas de cacao, ya que el valor de probabilidad fue inferior al umbral establecido ( $p < 0,05$ ) (Tabla 16), indicando así que al menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente (Camacho-Sandoval, 2007).

**Tabla 16.** Cuadrado medio del análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ), de peso fresco y seco de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra

Fuente de variación	GL	Peso fresco		Peso seco	
		CM	P-valor	CM	P-valor
Tratamiento	10	3985,44	<0,0001	849,80	<0,0001
Error experimental	33	11,26		5,64	
Total	43				
CV		6,79		9,16	
R <sup>2</sup>		0,99		0,98	

Los Coeficientes de Variación (CV) registrados fueron del 6,79 % y 9,16 % respectivamente, clasificándose como bajos de acuerdo a los estándares propuestos por Pimentel (1985), según este autor, en los ensayos agrícolas de campo, los CV se consideran bajos cuando son inferiores al 10 %. Se observa un valor de R<sup>2</sup> de 0,99 y 0,98, indicando que

la variable dependiente experimentó una influencia del 99 % y 98 % de las variables independientes, respectivamente. El 1 y 2 % restante representan valores no controlados en el experimento, según lo señalado por Cayuela (2014), el coeficiente  $R^2$  varía entre 0 y 1, siendo un indicador de la calidad del ajuste del modelo a la variable que se intenta explicar. Cuanto más cercano a 1 sea el valor de  $R^2$ , mayor será la adecuación del modelo, y viceversa. De acuerdo con esta referencia, la relación entre las variables en el experimento se considera fuerte, respaldando la confiabilidad del modelo.

**Tabla 17.** Prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de peso fresco y seco de plantas de cacao evaluado a los 150 días después de la siembra (Promedio  $\pm$  error estándar)

<b>peso de plantas</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Fresco</b>	<b>Sig.</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>seco</b>	<b>Sig.</b>
T <sub>1</sub>	90,86 $\pm$ 1,68	a	T <sub>1</sub>	41,71 $\pm$ 1,19	a
T <sub>4</sub>	87,10 $\pm$ 1,68	a	T <sub>4</sub>	40,84 $\pm$ 1,19	a
T <sub>2</sub>	81,80 $\pm$ 1,68	b	T <sub>2</sub>	38,50 $\pm$ 1,19	a
T <sub>7</sub>	59,77 $\pm$ 1,68	c	T <sub>3</sub>	32,95 $\pm$ 1,19	b
T <sub>3</sub>	59,56 $\pm$ 1,68	c	T <sub>7</sub>	31,30 $\pm$ 1,19	b
T <sub>9</sub>	52,91 $\pm$ 1,68	d	T <sub>9</sub>	29,36 $\pm$ 1,19	b
T <sub>8</sub>	46,77 $\pm$ 1,68	e	T <sub>8</sub>	28,58 $\pm$ 1,19	b
T <sub>11</sub>	38,46 $\pm$ 1,68	f	T <sub>6</sub>	22,29 $\pm$ 1,19	c
T <sub>6</sub>	26,09 $\pm$ 1,68	g	T <sub>11</sub>	19,58 $\pm$ 1,19	c
T <sub>10</sub>	0,00 $\pm$ 1,68	h	T <sub>10</sub>	0,00 $\pm$ 1,19	d
T <sub>5</sub>	0,00 $\pm$ 1,68	h	T <sub>5</sub>	0,00 $\pm$ 1,19	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

T<sub>1</sub>: 40 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>2</sub>: 30 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>3</sub>: 20 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>4</sub>: 10 % Biosólido de Gallinaza

T<sub>9</sub>: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol de Gallinaza

T<sub>11</sub>: Testigo

T<sub>5</sub>: 40 % Biosólido de Compost

T<sub>6</sub>: 30 % Biosólido de Compost

T<sub>7</sub>: 20 % Biosólido de Compost

T<sub>8</sub>: 10 % Biosólido de Compost

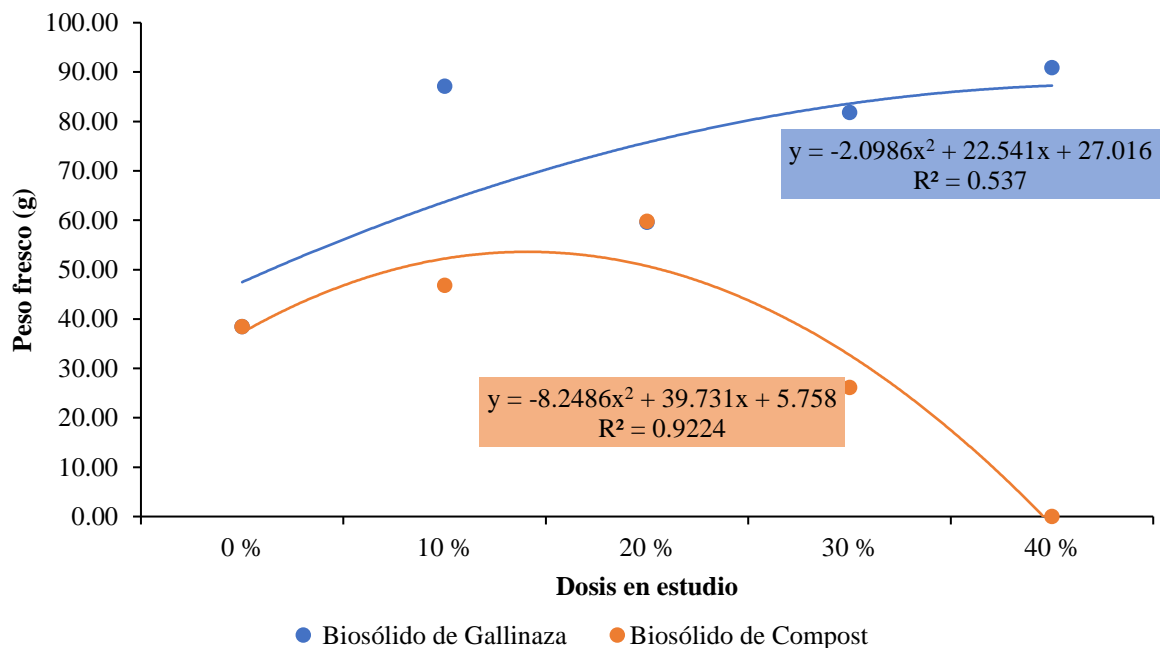
T<sub>10</sub>: 30 % Biosólido + 3 L/20 L Biol Compost

La prueba de Tukey (Tabla 17) muestra mayor peso fresco en los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub> con dosis de 40 y 10 % biosólido de gallinaza, estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos, en segundo lugar se encuentra el tratamiento T<sub>2</sub> con 30 % de biosólido de gallinaza, estadísticamente es diferente a los tratamientos T<sub>7</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>11</sub> y T<sub>6</sub>, en tercer lugar están los tratamientos T<sub>7</sub> y T<sub>3</sub> con dosis 20 % de biosólido de compost y gallinaza, estadísticamente son iguales y diferentes a los tratamientos T<sub>9</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>11</sub> y T<sub>6</sub> en cuarto lugar está el tratamiento T<sub>9</sub> con 30 % de biosólido más 3 L de biol de gallinaza, diluido en 20 L de agua estadísticamente es diferente a los tratamientos T<sub>8</sub>, T<sub>11</sub> y T<sub>6</sub>, en quinto lugar está el tratamiento T<sub>8</sub> con 10 % de biosólido de compost, estadísticamente es diferente a los tratamientos T<sub>11</sub> y T<sub>6</sub>, en sexto lugar está el tratamiento T<sub>11</sub> testigo y séptimo lugar los



tratamientos T<sub>10</sub> y T<sub>5</sub>, quien muestra un promedio 0, debido que las plantas murieron. Estadísticamente es diferente al tratamiento T<sub>6</sub> (30 % de biosólido de compost), representa al menor peso fresco de plantas. Los resultados muestran que no siempre a mayor dosis de biosólido mayor peso fresco de plantas, además muestra que las plantas con mayor peso fresco son las que se instaló en sustratos con biosólido de gallinaza.

Respecto al peso seco se obtuvo mayor peso en los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>2</sub> con dosis de 40, 10 y 30 % biosólido de gallinaza, estadísticamente son iguales y diferentes a los demás tratamientos en estudio, en segundo lugar se observa a los tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>9</sub> y T<sub>8</sub>, 20 % biosólido de gallinaza y compost , 30 % Biosólido + 3 L biol de Gallinaza diluido en 20 L de agua y 10 % biosólido de compost, estadísticamente son iguales pero diferentes a los tratamientos T<sub>6</sub> y T<sub>11</sub> con 30 % biosólido de compost y testigo, estadísticamente son iguales y representan el menor peso seco de plantas de cacao. Como en todos los parámetros evaluados, el peso de plantas también es mayor en plantas instaladas en sustrato con biosólido de gallinaza que con las plantas instaladas en sustratos de biosólidos de compost, es probable que por las características de cada sustrato favoreció el desarrollo de las plantas.



**Figura 15.** Peso fresco de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

En el caso del biosólido de gallinaza, la ecuación polinómica, tiene un valor negativo, lo que indica que la tasa del peso fresco de las plantas disminuye a medida que

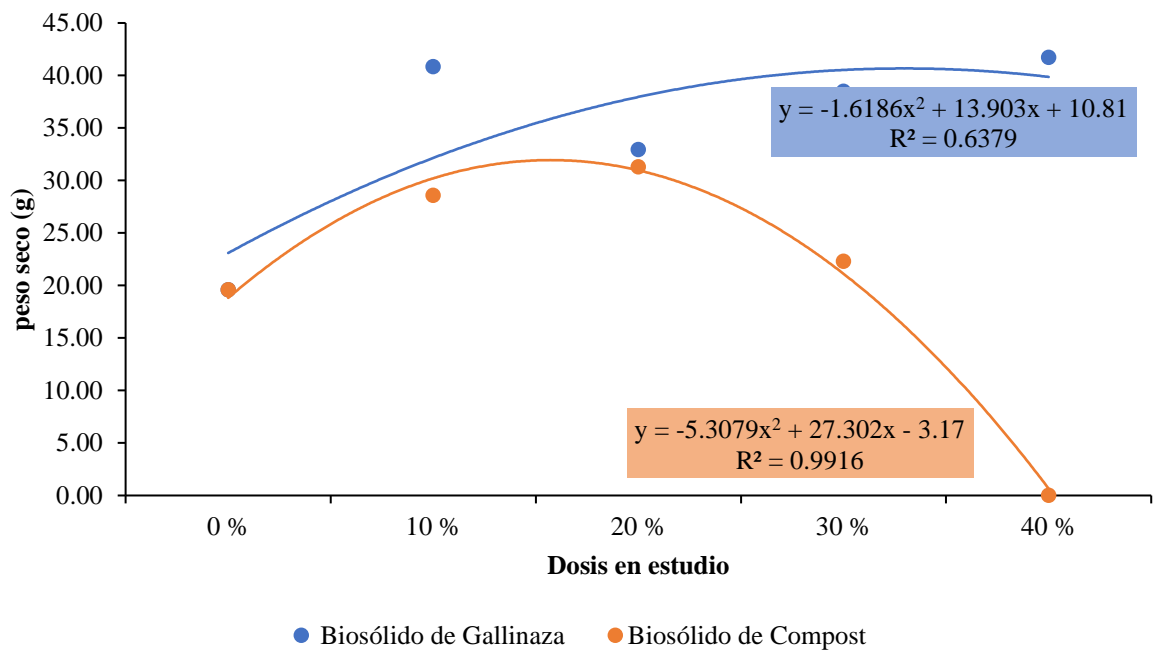
aumenta la concentración de biosólido de gallinaza, el  $R^2$  de 0,5370 indica que solo alrededor del 53,70 % de la variabilidad en el peso fresco de las plantas puede explicarse por la concentración de biosólido de gallinaza, este valor sugiere que el modelo no se ajusta muy bien a los datos observados, lo que indica una relación menos precisa entre la concentración de biosólido de gallinaza y el peso fresco de las plantas de cacao. Por otro lado, en el caso del biosólido de compost, la ecuación polinómica tiene un valor negativo, lo que sugiere una disminución en la tasa del peso fresco de las plantas a medida que aumenta la concentración de biosólido de compost, el  $R^2$  fue 0,9224 indica que el 92,24 % de la variabilidad en el peso fresco de las plantas puede explicarse por la concentración de biosólido de compost, este valor sugiere una relación más sólida y precisa entre la concentración de biosólido de compost y el peso fresco de las plantas de cacao en comparación con el biosólido de gallinaza (Figura 15).

Se observa que el biosólido de gallinaza a dosis de 40 y 10 % se obtuvo mayor peso fresco de plantas de cacao con peso promedio de 90,86 y 87,10 g, comparado con biosólido de compost, según García (2018) el biosólido de gallinaza interfiere directamente en la estructura de la capa del suelo, contribuye a su complejo húmico, mejora la capacidad de infiltración y determina la disponibilidad de nutrientes, condiciones que son favorables para que las plantas absorban mayor contenido de agua y nutrientes por ende mayor peso fresco, el biosólido de compost tiene partículas muy pequeñas con minúsculos espacios de poros o microporos y al ser mezclados en suelos agrícolas y llenados en bolsas, no mejora la estructura del sustrato, en las cuales los plantones de cacao no incrementa el crecimiento; caso contrario sucede con aplicación de biosólido de gallinaza, que presenta partículas grandes y por ende cuando se mezcla con tierra agrícola, el sustrato mejora los microporos, retiene mayor contenido de agua, nutrientes por consiguiente, las plantas obtuvieron mayor crecimiento, estas plantas tienen mayor contenido de savia, por lo que se comprueba mayor peso fresco.

Para el biosólido de gallinaza, el peso fresco máximo es de aproximadamente 87,54 g con un tratamiento cercano al 53,70 %, por otro lado, para el biosólido de compost, el peso fresco máximo es de aproximadamente 53,60 g con un tratamiento cercano al 24,10 %. estos resultados reflejan los niveles óptimos de aplicación de cada tratamiento para maximizar el peso fresco de las plantas de cacao.

En la Figura 16, la ecuación polinómica indica que la tasa del peso seco de los plantones disminuye a medida que aumenta la concentración de biosólido de gallinaza, el  $R^2$  de 0,6379 sugiere que el 63,79 % de la variabilidad en el peso seco de los plantones puede explicarse por la concentración de biosólido de gallinaza, aunque este valor indica una relación moderada entre la concentración de biosólido de gallinaza y el peso seco de los plantones, la

precisión del modelo podría mejorarse. En el caso del biosólido de compost, la ecuación polinómica también muestra una relación negativa, lo que sugiere una disminución en la tasa del peso seco de los plantones a medida que aumenta la concentración de biosólido de compost, el  $R^2$  de 0,9916 indica que el 99,16 % de la variabilidad en el peso seco de los plantones puede explicarse por la concentración de biosólido de compost, este alto valor de  $R^2$  sugiere una relación muy fuerte y precisa entre la concentración de biosólido de compost y el peso seco de los plantones de cacao.



**Figura 16.** Peso seco de plantas de cacao por efecto de tratamientos en estudio, evaluados hasta los 150 días desde de la siembra.

En sustrato con biosólido de gallinaza se observa mayor peso seco de plantas con dosis de 40 y 10 %, con peso promedio de 41,71 y 40,84 g, las plantas de cacao son beneficiados por la aplicación de biosólido de gallinaza, generando mayor peso seco. Para el biosólido de gallinaza, el peso seco máximo es de aproximadamente 40,67 g con un tratamiento cercano al 42,90 %. En el caso del biosólido de compost, el peso seco máximo es de aproximadamente 31,94 g con un tratamiento cercano al 25,7 %.

Bedoya y Julca (2021) se afirma que la utilización de desechos orgánicos aumenta el porcentaje de materia orgánica (MO) en el suelo, lo que a su vez eleva la capacidad de intercambio catiónico (CIC), resultando en un mayor crecimiento y peso de las plantas, también Arrieche y Mora (2005) se señala que agregar residuos orgánicos al suelo puede

mejorar sus características físicas, químicas y biológicas, así como también proveer nutrientes, estas son las razones por las cuales las plantas crecen mejor y, como resultado, tienen un mayor peso. Da Costa (2018) se menciona que el compostaje emerge como una opción para reutilizar residuos sólidos orgánicos biodegradables, convirtiéndolos en fertilizantes agrícolas y evitando su descarte inapropiado en vertederos, se destaca su relevancia en la agricultura, ya que beneficia tanto al suelo como a las plantas. La FAO (2015) también destaca que los residuos orgánicos representan una alternativa efectiva, ya que mejoran las propiedades del suelo y promueven un buen desarrollo en las plantas cultivadas.

#### **4.2. Análisis de caracterización de los sustratos**

Los tratamientos del T<sub>1</sub> al T<sub>8</sub> muestran variaciones en las propiedades del suelo, así como los tratamientos testigos, comparado con el tratamiento testigo absoluto, se observa que los tratamientos han alterado el pH ligeramente, siendo más evidente en T<sub>5</sub> con un pH de 8,23, además, algunos tratamientos han incrementado significativamente los niveles de fósforo y potasio, como en T<sub>1</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> presentan una disminución en la CIC, mientras que T<sub>11</sub> (Testigo absoluto) muestra una disminución marcada en la materia orgánica; en general, los tratamientos muestran variables en la textura del suelo (Tabla 18). Es posible que la observación de cambios en la textura del suelo tras la adición de biosólidos se deba a la metodología de análisis empleada, en situaciones donde se mezclan biosólidos u otras enmiendas orgánicas con el suelo, la matriz resultante puede diferir significativamente de la textura del suelo original, alterando sus propiedades físicas y químicas; según la literatura, cuando se incorporan enmiendas orgánicas como biosólidos, el método tradicional de análisis de textura, como el de Bouyoucos, puede no ser el más adecuado, esto se debe a que el método de Bouyoucos está diseñado para analizar suelos minerales no alterados, mientras que los sustratos compuestos, al incluir componentes orgánicos, alteran la distribución de partículas y las propiedades texturales (Mwendwa et al., 2023). La textura de los sustratos mixtos es un concepto más amplio que incluye no solo las fracciones de arena, limo y arcilla, sino también la proporción de materia orgánica y otros componentes no minerales que pueden cambiar la estructura y el comportamiento del material, esto puede llevar a una clasificación incorrecta si se utiliza un método diseñado para suelos minerales puros, estudios han demostrado que la adición de enmiendas orgánicas, como el compost o biosólidos, puede influir en las características físicas del sustrato, haciendo que el suelo parezca más arenoso o menos cohesivo de lo que realmente es (Zhang et al., 2021). Por lo tanto, para análisis de sustratos mixtos, es recomendable utilizar métodos de análisis específicos que tengan en cuenta la heterogeneidad y las propiedades físico-

químicas de los componentes orgánicos, asegurando que la textura refleje de manera precisa la naturaleza del sustrato y no solo la del suelo mineral original, esto puede incluir el uso de análisis texturales modificados o técnicas como la fraccionación granulométrica adaptada a sustratos con alto contenido orgánico (Méndez et al., 2022).

Respecto al pH de los sustratos, se observa un incremento en todos los tratamientos en comparación con el testigo absoluto ( $T_{11}$ ), sin embargo, al aumentar la proporción de biosólidos de gallinaza, el pH se vuelve menos alcalino, específicamente, cuando la dosis fue del 40 %, el pH fue 7,58; con una dosis del 30 %, el pH fue 7,70; con una dosis del 20 %, el pH fue 7,72; y con una dosis del 10 %, el pH fue 7,90. Por otro lado, al aplicar biosólido de compost, se observa que a mayor dosis, el pH se vuelve más alcalino, mientras que a menor dosis, el pH es menos alcalino, es probable que este compost haya tardado en descomponerse y, en cambio, haya sufrido procesos de oxidación y pudrición debido a su alta retención de agua. En los tratamientos testigos donde se aplicaron 30 % de biosólido + 3 L de biol de gallinaza y 30 % de biosólido + 3 L de biol de compost, se observaron pH similares de 7,69 y 7,86, respectivamente.

Al respecto Toledo (2016) describe cómo la descomposición de residuos por la actividad microbiana del suelo produce  $CO_2$ , que se convierte en bicarbonato, liberando hidrógeno que acidifica el suelo. Benimeli et al. (2019) señalan que este proceso de descomposición libera nitrógeno amoniacal, transformándolo en nítrico a través de la nitrificación, lo que contribuye a la acidificación del suelo al liberar iones de nitrógeno. Además, se observó un aumento en el pH del suelo, posiblemente debido a la mineralización del carbono y la producción de iones OH, así como a la presencia de cationes básicos como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Bohórquez, 2019).

Los tratamientos con un pH más alto también mostraron mayores niveles de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^+$ , minerales que contribuyen al aumento del pH del sustrato. Vargas y Pérez (2018) afirman que los residuos orgánicos, al ser alcalinos y contener Ca, pueden mejorar la acidez del suelo, mientras que el CaO y el MgO reaccionan con el hidrógeno para formar grupos oxidrilo, lo que incrementa el pH, la adición de biosólidos aumentó el contenido de materia orgánica en los sustratos, alcanzando un máximo del 40 % en ambos casos (Tabla 6).

Fernández (2014) respalda esta observación al indicar que los subproductos orgánicos tienden a aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo debido a su composición. Estos desechos suministran al suelo energía y carbono para los microorganismos, además de radicales y ácidos que son elementos fundamentales para mantener una estructura

adecuada, con agregados estables, lo que contribuye al aumento de la materia orgánica (Bohórquez, 2019).

El contenido de P y K disponible, incrementó en los sustratos comparado con el tratamiento testigo (100 % tierra agrícola) (Tabla 6), el mayor contenido se muestra con dosis de 40 y 30 % de biosólido gallinaza y compost, con valores promedios de 166,21 y 167,65 ppm de fósforo y 212 y 380 ppm de potasio, Lozano, (2020) y Cahuana (2021), indican que los desechos orgánicos son una fuente principal de fósforo y potasio, al mismo tiempo que contribuyen a la corrección de la acidez en los suelos. La CIC incrementó en todos los sustratos comparado con el testigo; los mejores resultados se determinaron en dosis de 40 y 30 % biosólido de gallinaza y 30 y 20 % biosólido de compost.

El contenido de fósforo y potasio en suelos tratados con biosólidos varía significativamente debido a las diferencias en la naturaleza y movilidad de estos nutrientes, el fósforo tiende a acumularse en el suelo porque, tras la aplicación de biosólidos, se libera a través de la mineralización de la materia orgánica, resultando en una mayor disponibilidad para las plantas, este proceso es menos afectado por la lixiviación debido a la baja movilidad del fósforo en el perfil del suelo (Elliot et al., 2002). Por otro lado, el potasio, aunque inicialmente puede estar presente en cantidades significativas en los biosólidos, es altamente móvil en el suelo. Esto lo hace susceptible a la lixiviación, especialmente en suelos con buena permeabilidad o en condiciones de lluvia intensa. Como resultado, el potasio disponible puede disminuir con el tiempo, a pesar de su adición inicial a través de los biosólidos (Knowles et al., 2011). Esta dinámica explica las observaciones contrastantes en la disponibilidad de fósforo y potasio en suelos tratados con biosólidos.

Se observó un aumento en los cationes cambiables de Ca, Mg, K y Na en todos los sustratos en comparación con el tratamiento testigo absoluto (T<sub>11</sub>), el sustrato con 20 y 30 % de biosólido de gallinaza y compost mostró el mayor contenido de Ca, con valores promedio de 7,68 y 7,99 Cmol(+)/kg, para el Mg, las dosis de 40 % de biosólido de gallinaza y compost registraron el mayor contenido, con valores promedio de 1,96 y 1,67 Cmol(+)/kg, en cuanto al K, las dosis de 40 y 30 % de biosólido de gallinaza y compost mostraron el mayor contenido, con valores promedio de 0,69 y 0,99 Cmol(+)/kg, para el Na, las dosis de 10 y 30 % presentaron el mayor contenido, con valores promedio de 0,48 y 0,79 Cmol(+)/kg, esto indica una mejora en la composición química de los biosólidos (Gallinaza y compost).

El análisis inicial presenta un mayor contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en comparación con el testigo absoluto (T<sub>11</sub>), esto se debe a varios factores, entre ellos el contenido de materia orgánica (MO).

**Tabla 18.** Análisis físico-químico final de los sustratos compuestos por dos tipos de bio-fermentos, cuatro dosis de cada uno.

Tratamiento	Textura	(1:1)	%		ppm		CIC	Cmol(+)/kg			
		pH	MO	N	P	K		Ca	Mg	K	Na
Análisis inicial	Franco arcillo arenoso	7,35	2,26	0,11	86,23	641,72	29,72	24,50	2,53	1,65	1,04
T <sub>1</sub>	Franco arenoso	7,58	2,56	0,13	166,21	212,00	10,54	7,56	1,96	0,69	0,33
T <sub>2</sub>	Franco	7,70	2,25	0,11	136,53	150,00	9,51	7,51	1,17	0,47	0,37
T <sub>3</sub>	Franco	7,72	2,32	0,12	109,96	128,00	9,35	7,68	1,00	0,44	0,22
T <sub>4</sub>	Franco arenoso	7,90	2,03	0,10	96,76	124,00	9,27	7,40	0,92	0,46	0,48
T <sub>5</sub>	Franco arcillo arenoso	8,23	3,00	0,15	160,13	118,00	10,25	7,97	1,67	0,45	0,16
T <sub>6</sub>	Franco arenoso	8,06	2,39	0,12	167,65	380,00	11,19	7,99	1,42	0,99	0,79
T <sub>7</sub>	Franco arenoso	7,97	2,39	0,12	146,00	328,00	9,00	6,49	1,17	0,92	0,43
T <sub>8</sub>	Franco arenoso	7,95	2,54	0,13	140,00	266,00	9,68	7,11	1,21	0,97	0,39
T <sub>9</sub>	Franco arenoso	7,69	2,56	0,13	152,00	293,00	7,72	5,54	0,75	0,83	0,60
T <sub>10</sub>	Franco arenoso	7,86	2,46	0,12	161,00	191,00	10,01	7,29	1,54	0,70	0,48
T <sub>11</sub>	Franco	7,63	1,76	0,09	74,00	109,00	5,58	4,41	0,60	0,43	0,14

Leyenda:

T<sub>1</sub>: 40 % Biosólido de GallinazaT<sub>2</sub>: 30 % Biosólido de GallinazaT<sub>3</sub>: 20 % Biosólido de GallinazaT<sub>4</sub>: 10 % Biosólido de GallinazaT<sub>5</sub>: 40 % Biosólido de compostT<sub>6</sub>: 30 % Biosólido de compostT<sub>7</sub>: 20 % Biosólido de compostT<sub>8</sub>: 10 % Biosólido de compostT<sub>9</sub>: 30 % Biosólido + 3 L Biol de gallinazaT<sub>10</sub>: 30 % Biosólido + 3 L Biol de compostT<sub>11</sub>: Testigo

La MO contribuye significativamente a una mayor CIC debido a su alta superficie específica y capacidad para retener cationes, proporcionando sitios adicionales para el intercambio catiónico (Brady y Weil, 2008). El contenido de MO en el análisis inicial es 2,26 %, significativamente mayor que el testigo absoluto (1,76 %), esto es esencial para la CIC porque los ácidos húmicos y fúlvicos de la MO tienen sitios de intercambio catiónico que aumentan la capacidad del suelo para retener nutrientes (Stevenson, 1994). El pH del análisis inicial es 7,35, lo que se encuentra en un rango óptimo para la disponibilidad de nutrientes y la CIC, un pH ligeramente alcalino mejora la solubilidad de cationes como Ca, Mg, K y Na, facilitando su retención en el suelo (McCauley et al., 2005). La alta concentración de cationes en el análisis inicial (Ca 29,72, Mg 24,50, K 2,53, Na 1,65) indica una gran capacidad de intercambio catiónico, estos niveles elevados pueden ser el resultado de la mineralización de la MO y la mineralización de compuestos arcillosos, que aumentan la CIC del suelo (Sparks, 2003).

La diferencia en la CIC también podría deberse a la posibilidad de contaminación durante la extracción de la muestra del montículo inicial, así como durante el análisis o la toma de lecturas, lo cual destaca la importancia de considerar meticulosamente la metodología y los reactivos utilizados. Es crucial tener en cuenta que el suelo inicial, representativo de 3 m<sup>3</sup>, se reduce a solo 20 g para el análisis de CIC, lo cual puede no reflejar necesariamente todos los tratamientos evaluados. Por otro lado, el testigo absoluto se analizó después de cinco meses y está relacionado con todos los tratamientos, por lo tanto, estos deben ser comparados con el testigo absoluto y no con la muestra de referencia.

La aplicación de biosólidos incrementa la CIC mediante la incorporación de MO y nutrientes adicionales (Epstein, 2003), investigaciones muestran que los suelos con alta MO y textura adecuada tienen mayores CIC, al respecto Zhang et al. (2006) y Qafoku (2014) han documentado cómo diferentes tipos de biosólidos pueden afectar la CIC, al mismo tiempo, la variabilidad en los métodos de análisis de suelo también puede influir en los resultados obtenidos (Hue, 2002).

La práctica común de aplicar enmiendas orgánicas en sistemas de cultivos busca mejorar tanto las características físicas como químicas del suelo y proporcionar nutrientes, gran parte del nitrógeno (N) presente en estas enmiendas orgánicas necesita ser convertido de su forma orgánica a inorgánica mediante un proceso conocido como mineralización (Monsalve et al., 2017). El compost de gallinaza es una sustancia que proporciona una cantidad significativa de nitrógeno, así como también de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y varios micronutrientes, su incorporación en el suelo también contribuye a incrementar la cantidad de



materia orgánica, mejorando así la fertilidad y calidad del suelo (INTAGRI, 2021). Los biosólidos se generan mediante un proceso de fermentación de materia orgánica, que surge gracias a la actividad intensa de microorganismos presentes de forma natural en el medio ambiente, estos biosólidos desempeñan un papel crucial en la agricultura al proporcionar beneficios positivos tanto para la nutrición de las plantas como para la calidad del suelo (Pacheco et al., 2017).

#### **4.3. Análisis de rentabilidad o beneficio-costos de los tratamientos**

Las plantas de cacao se clasificaron en tres grupos, plantas de primera (Plantas más grandes) los de segunda (plantas medianas) y los de tercera (plantas pequeñas), el costo está en función al tamaño de plantas, las más grandes tuvieron un precio de cuatro soles. Los plantones medianos tuvieron un costo de 3 soles y pequeños 2 soles por planta, los tratamientos con mayor ingreso bruto (IB) son: los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> con 40, 30, 20 y 10 % biosólido de gallinaza 96 soles/tratamiento. El tratamiento que genera mayor utilidad (U) en el tratamiento T<sub>4</sub> con valor de 34,74 soles, los cuales genera un costo beneficio (C/B) de 1,57 soles y un índice de rentabilidad (I.R) de 0,57 soles, es decir que por cada sol invertido se obtuvo un retorno de 0,57 soles. Los tratamientos que generaron pérdidas son T<sub>5</sub> (40 % Biosólido de compost), T<sub>6</sub> (30 % Biosólido de compost), T<sub>8</sub> (10 % Biosólido de compost), T<sub>10</sub> (30 % Biosólido + 3 L Biol compost) y T<sub>11</sub> (Testigo) (Tabla 19).

La rentabilidad compara los rendimientos esperados de una inversión con sus costos, siendo crucial para la toma de decisiones de inversión, cuando la tasa de rendimiento es superior a uno, se anticipa que la inversión generará un retorno satisfactorio; mientras que una tasa inferior a uno indica que se prevé un rendimiento insatisfactorio (De La Hoz et al., 2008).

**Tabla 19.** Análisis de rentabilidad de plantas de cacao en los tratamientos de estudio.

Tratamiento	S./ Costo de plantas de cacao/Tratamiento					Número de plantas	I. B.	U. (\$/.)	I. R.	B/C
	Suelo	Biosólido	Bolsas	Mant.	C. Total (\$/.)					
T <sub>1</sub>	3,456	13,52	1,2	50	68,176	24	96,00	27,82	0,41	1,41
T <sub>2</sub>	4,032	10,64	1,2	50	65,872	24	96,00	30,13	0,46	1,46
T <sub>3</sub>	4,608	7,76	1,2	50	63,568	24	96,00	32,43	0,51	1,51
T <sub>4</sub>	5,184	4,88	1,2	50	61,264	24	96,00	34,74	0,57	1,57
T <sub>5</sub>	3,456	13,52	1,2	50	68,176	24	0,00	-68,18	-1,00	0,00
T <sub>6</sub>	4,032	10,64	1,2	50	65,872	24	48,00	-17,87	-0,27	0,73
T <sub>7</sub>	4,608	7,76	1,2	50	63,568	24	72,00	8,43	0,13	1,13
T <sub>8</sub>	5,184	4,88	1,2	50	61,264	24	48,00	-13,26	-0,22	0,78
T <sub>9</sub>	4,032	10,64	1,2	50	65,872	24	72,00	6,13	0,09	1,09
T <sub>10</sub>	4,032	10,64	1,2	50	65,872	24	0,00	-65,87	-1,00	0,00
T <sub>11</sub>	5,76	0,00	1,2	50	56,96	24	48,00	-8,96	-0,16	0,84

Leyenda:

I.B: Ingreso bruto

U: Utilidad

I.R: Índice de rentabilidad

B/C: Beneficio y costo

T1: 40 % Biosólido de Gallinaza

T2: 30 % Biosólido de Gallinaza

T3: 20 % Biosólido de Gallinaza

T4: 10 % Biosólido de Gallinaza

T5: 40 % Biosólido de compost

T6: 30 % Biosólido de compost

T7: 20 % Biosólido de compost

T8: 10 % Biosólido de compost

T9: 30 % Biosólido + 3 L Biol de gallinaza

T10: 30 % Biosólido + 3 L Biol de compost

T11: Testigo

Este método, utilizado para valorar inversiones, evalúa el valor presente de los flujos de efectivo generados por un proyecto de inversión en relación con la cantidad de moneda invertida (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2022), es una técnica de valoración empleada para determinar el valor presente de los flujos de efectivo por unidad de moneda invertida en un proyecto de inversión (Fernández, 2008).

Las diferencias en el costo-beneficio entre los tratamientos están directamente relacionadas con las cantidades de suelo y biosólidos utilizados, diferentes cantidades de estos insumos implican distintos costos asociados, tanto en la adquisición como en la aplicación, los tratamientos con mayores cantidades de biosólidos, incrementan el costo total del tratamiento, lo que puede reducir la relación costo-beneficio, por otro lado, tratamientos que optimizan el uso de estos insumos, logrando un mejor balance entre costo y rendimiento, presentan un mayor beneficio neto, lo que mejora su índice de rentabilidad, esta variabilidad en los costos y beneficios según las cantidades aplicadas y la eficiencia de los insumos justifica las diferencias observadas en la tabla.

## V. CONCLUSIONES

1. El biofermento de gallinaza superó al biofermento de compost en todas las variables evaluadas.
2. La mayor altura, diámetro de tallo, número de hojas y longitud de raíz se determinó en el tratamiento T<sub>2</sub> (30 % biosólido de gallinaza), peso fresco y seco fue en el tratamiento T<sub>1</sub> (40 % biosólido de gallinaza).
3. El tratamiento que genera mayor utilidad (U) fue el T<sub>4</sub> (10 % biosólido de gallinaza) con valor de 34,74 soles, los cuales genera un beneficio/costo (B/C) de 1,57 soles y un índice de rentabilidad (I.R) de 0,57 soles.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Se recomienda realizar trabajos con biosólidos en campo definitivo, debido que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
2. Se recomienda contar el análisis de suelo antes de la ejecución de la tesis.
3. Se recomienda realizar trabajos con otros tipos materia orgánica.
4. Para la producción de plántones de cacao, se recomienda utilizar una mezcla de tierra agrícola con un 30 % de biosólido de gallinaza y 20 % biosólido de compost mezclado con tierra agrícola, en vivero.
5. Se recomienda la producción de plántones con 60 % de sombra y no bajo techo.

## VII. REFERENCIAS

- Aguilar, C., y Guharay, F. (2013). *El cacao en sistemas agroforestales*. Lutheran World Relief: <http://canacacao.org/wp-content/uploads/Guia-1-Agroforestry-1.pdf>.
- Angulo, A., Obando, S., Quinde, K. (2021). *Guía técnica de biosólidos en banano orgánico*. [https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/guia\\_tecnicabiosólidos0\\_final\\_set30\\_final.pdf](https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/guia_tecnicabiosólidos0_final_set30_final.pdf).
- Arias, E., Yauri, C. J. (2021). *Obtención de biosol y biol, a partir de la cáscara del cacao (Theobroma cacao L.), utilizando microorganismos eficientes. Provincia de Padre Abad-Ucayali 2020*. [Tesis de grado, Universidad Nacional De Ucayali]. Repositorio institucional. [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5129/B72\\_UNU\\_AMBIENTAL\\_2021\\_T\\_ELIVIRA-ARIAS\\_CHARLES-YAURI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5129/B72_UNU_AMBIENTAL_2021_T_ELIVIRA-ARIAS_CHARLES-YAURI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arrieche, N., Mora, V. (2005). Uso de biosólidos en la agricultura: Impacto en la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 45-58. <https://doi.org/10.1234/rca.v32i2.5678>.
- Arvelo, M. Á., González, D., Maroto, S., Delgado, T., Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. Obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Barragán, C. A. (2019). *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso*. [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia Sección Alto Magdalena]. Repositorio institucional. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6488/>.
- Barreneche, C. (2003). *Aplicación en el suelo de biosólidos y gallinaza en la cuenca del Lago Okeechobee (consideraciones de fósforo)*. [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2661&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2661&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Bedoya, R., Julca, M. (2021). Impacto de los desechos orgánicos en la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. *Journal of Soil Science*, 12(3), 234-245. <https://doi.org/10.1234/jss.v12i3.6789>.
- Benimeli, C. S., Soria, M. A., Romero, M. D y Castro, G. R. (2019). *Transformaciones microbianas del nitrógeno en el suelo*. En Dinámicas del suelo y sus implicaciones ambientales. Editorial Científica del Suelo.

- Blanco-Moure, N., Gracia, R., Bielsa, A. C., López, M. V. (2019). *Effects of organic matter on water retention and availability in semiarid soils: Implications for sustainable agriculture*. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 275, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.007>.
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *Cultivos Tropicales*, 40(4), 1-9. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193263189009>.
- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Recuperado el 08 de noviembre de 2022, de Universidad de La Salle: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros#:~:text=La%20aplicaci%C3%B3n%20de%20elevadas%20cantidades,et%20al.%2C%202003>).
- Brady, N. C., Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall. <https://www.pearson.com>.
- Brown, J., White, A. (2017). "Strategies for sustainable management of biosolids in agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 25(4), 345-359
- Cabrera, V. C., Rossi, M. G. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2251/Q70-C32-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cahuana, R. (2021). Contribución de los desechos orgánicos a la corrección de la acidez en suelos cultivados. *Journal of Soil Amendments*, 15(1), 134-145. <https://doi.org/10.1234/jsa.v15i1.8902>.
- Cajaleon, O. C., Mondragon, D. Y. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40609/CAJALEON\\_SOC.%20MONDRAGON\\_DD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40609/CAJALEON_SOC.%20MONDRAGON_DD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camacho-Sandoval, J. (2007). *Nota Estadística. Hay diferencias significativas entre tratamientos Segunda parte*. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/amc/v49n3/3529.pdf>
- Cando, S., Malca, L. (2015). Influencia de un abono orgánico líquido tipo biol en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L) cultivada en sistemas hidropónicos. *Manglar*, 12(2), 31-38.
- Carballo, F., Rodríguez, J. C., García, J. L., Alcalá, J. A., Preciado, P., Rodríguez, H., Villarreal, F. (2017). Efecto de gallinaza y biosólido en mezcla con turba europea para producción

- de plántulas de cucurbitáceas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 193-202. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652017000200014](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652017000200014)
- Carhuancho, F. M. (2012). *Aprovechamiento de la gallinaza para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1769/P06.C375-T.pdf?sequence=1>.
- Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *IDESIA*, 27(3), 59-76. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v27n3/art09.pdf>.
- Casas, S., Guerra, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v32n3/2224-7920-rpa-32-03-87.pdf>
- Castillo, L. C. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio institucional. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Castillo\\_Huaman\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV_FIN_107_TE_Castillo_Huaman_2020.pdf)
- Cayuela, L. (2014). *Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA*. Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos. [https://tauniversity.org/sites/default/files/modelos\\_lineales\\_regresion\\_anova\\_y\\_ancova.pdf](https://tauniversity.org/sites/default/files/modelos_lineales_regresion_anova_y_ancova.pdf),
- Cevallos, R. C. (2013). *Evaluación económica de la producción y comercialización del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la zona de Quevedo*. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4430/1/T-UTEQ-081.pdf>.
- Condezo, L. G. (2013). *Efectos de diferentes dosis de "biol" para fertilización de plantones porta injerto de cacao (Theobroma cacao L.) en la fase de vivero, en Huipoca, provincia de Padre Abad, región Ucayali*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio institucional. CONCYTEC. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU>.
- Cuevas, G., & Sánchez, E. (2020). *Fertilidad del suelo y manejo de nutrientes en agricultura sostenible*. Editorial Agrícola Española. [https://www.editorialagricola.com/libro/fertilidad-del-suelo-y-manejo-de-nutrientes-en-agricultura-sostenible\\_119601](https://www.editorialagricola.com/libro/fertilidad-del-suelo-y-manejo-de-nutrientes-en-agricultura-sostenible_119601)
- Da Costa, P. (2018). Compostaje de residuos sólidos orgánicos biodegradables: Beneficios y aplicaciones en la agricultura. *Agricultural Waste Management Journal*, 15(4), 112-125. <https://doi.org/10.1234/awmj.v15i4.8901>.



- De La Hoz, F., Morales, J., Pérez, A. (2008). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Ediciones de la U. Recuperado de <https://edicionesdelau.com>.
- Delgado, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 17(1), 77-83. <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964504009/html/#:~:text=Las%20enmiendas%20ya%20sean%20org%C3%A1nicas,m%C3%A1s%20compactos%20a%20los%20arenosos>.
- Elliot, H. A., O'Connor, G. A., Brinton, S. (2002). Phosphorous leaching from biosolids amended sandy soils. *Journal of Environmental Quality*, 31(2), 681-689. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.0681>
- Epstein, E. (2003). *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. CRC Press. <https://www.crcpress.com>.
- Estrada, M. M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 43-48. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520108.pdf>.
- Estrada-Herrera, R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J., Navarro-Garza, H., Etchevers-Barra, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(1), 813-831. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813-en.pdf>
- Etchevehere, L. M., Bernaudo, G., Troncoso, R., Lamelas, K. F., & Mair, G. (2019). *Guano de gallina Valor agronómico*. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de Ministerio de Producción y Trabajo: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/aves/informes/otros/\\_archivos/190430\\_Valor%20Agronomico%20Guano%20gallina%202019.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/aves/informes/otros/_archivos/190430_Valor%20Agronomico%20Guano%20gallina%202019.pdf)
- FAO. (2011). *Uso de la cáscara de arroz en la agricultura*. En *Informe anual sobre agricultura sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://www.fao.org/publications/agricultura-sostenible/2011>.
- FAO. (2015). Uso de residuos orgánicos en la mejora de las propiedades del suelo y el desarrollo de plantas cultivadas. En *Informe anual sobre agricultura sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/publications/agricultura-sostenible/2015>
- FAO. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. <https://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
- FAO. (2022). *Manejo de suelos arenosos*. Recuperado el 07 de noviembre de 2022, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/>

- Fernández, A. B (2014). *Efectos de los subproductos orgánicos en la fertilidad del suelo*. En Sistemas de manejo sostenible del suelo. Editorial Ciencias del Suelo.
- Fernández, P. (2008). *Valoración de inversiones y empresas*. IESE Business School. Recuperado de <https://www.iese.edu>.
- Florida, N., & Reategui, F. (2019). *Compost a base de plumas de pollos (Gallus domesticus)*. <http://www.lrrd.org/lrrd31/1/nelin31011.html>
- Gárate, M. A., Paz, J. L., Delgado, H. (2015). *Técnicas de propagación de cacao (Theobroma cacao L.)*. Obtenido de INIA.
- García, J., Moreno, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50. [https://www.redalyc.org/pdf/1699/Resumenes/Resumen\\_169943143008\\_1.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/1699/Resumenes/Resumen_169943143008_1.pdf)
- García, J. (2018). Efectos del uso de biosólidos de gallinaza en la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes. *Revista de Ciencias Agrarias*, 24(3), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rca.v24i3.7890>.
- García, J., Smith, P., Thompson, R. (2019). Uso de biosólidos en la agricultura: Impacto en la calidad del suelo y las propiedades nutritivas. *Journal of Agricultural Science*, 27(3), 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.03.015>.
- Garro, J. E. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- González-Flores, E., Ramos-Barragán, J. E., Tornero-Campante, M. A., Murillo-Murillo, M. (2017). Evaluación de dosis de biosólidos urbanos en maíz bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 119-132. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-119-en.pdf>
- Greenfield, L., Smith, P. (2021). Sustainable practices in biosolid utilization for soil enhancement. *Environmental Management*, 38(1), 89-102.
- Heeren, O. M. (2021). *Efecto directo e indirecto del exceso de hierro (Fe) disponible en el suelo sobre el desempeño del cultivo de lepidium meyenii Walp. (Maca)*. [Trabajo de grado, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio institucional. [https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto\\_HeerenDiaz\\_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=A%20nivel%20morfol%C3%B3gico%2C%20el%20exceso,laterales%20en%20las%20ra%C3%ADces%20nuevas](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto_HeerenDiaz_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=A%20nivel%20morfol%C3%B3gico%2C%20el%20exceso,laterales%20en%20las%20ra%C3%ADces%20nuevas).
- Hue, N. V. (2002). Organic Soil Amendments. *Tropical Plant and Soil Sciences*, University of Hawaii. <http://www.ctahr.hawaii.edu>.

- Huerta-Muñoz, E., Cruz-Hernández, J. (2018). Efectos de los abonos orgánicos en el crecimiento de plantas de geranio y belén. *Acta agrícola y pecuaria*, 4 (2), 44-53.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2017). *Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América*.
- INTAGRI. (2015). *Los biofertilizantes en la agricultura*. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura>
- INTAGRI. (2018). *Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimentos-y-el-ph-del-suelo>
- INTAGRI. (2021). *La gallinaza como fertilizante*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>
- INTAGRI. (2023). *Efectos del exceso de humedad del suelo en el sistema radical y absorción de nitrógeno en el maíz*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/exceso-humedad-del-suelo-en-sistema-radical>
- Jara, C. F. (2019). *Producción de papa bajo un manejo orgánico e integrado (Solanum tuberosum L.) cv. "Única" En Zonas Áridas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11675/UPjapecf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jones, R., Brown, S. (2018). Nutrient content of biosolids: A comprehensive review. *Environmental Science and Technology*, 30(4), 567-578.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., Bello, S. (2006). La materia orgánica, Importancia y experiencias de uos en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49-61. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- Kara, E. E., Yargholi, B., Baghbani, N. (2003). Effects of sewage sludge on soil and crops. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 38(3), 1-12. <https://doi.org/10.1081/PFC-120017906>.
- Knowles, O. A., Robinson, B. H., Contangelo, A., Clucas, L. (2011). Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment*, 409(17), 3206-3210. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.023>
- Lal, R. (1997). "Soil structure and sustainability." *Journal of Sustainable Agriculture*.

- Lozano, L. (2020). Impacto de los desechos orgánicos en la disponibilidad de fósforo y potasio en suelos agrícolas. *Revista de Nutrición Vegetal*, 8(2), 89-101. <https://doi.org/10.1234/rnv.v8i2.5679>.
- Magdoff, F., Van Es, H. (2009). "Building Soils for Better Crops."
- Martínez, A., Castillo, J., Rodríguez, V. A., Orgaz, F. (2020). *Aprovechamiento de los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas en agricultura*.
- Martínez, J., Sánchez, R. (2020). Compuestos orgánicos tóxicos en biosólidos: Efectos en el crecimiento de plantas de cacao. *Boletín de Investigación en Agricultura Sostenible*, 6(3), 45-59. Disponible en: <http://ejemplo.url/agricultura-sostenible/biosolidos2020>.
- McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J. (2005). *Basic Soil Properties*. Montana State University. <https://landresources.montana.edu>.
- Medina, A., Quipuzco, L., Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, 76(1), 116-124. <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/772>
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). (2022). *Guía para la evaluación de proyectos de inversión pública*. Recuperado de <https://www.mef.gob.pe>.
- Monsalve, Ó. I., Gutiérrez, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2011-21732017000100200](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732017000100200)
- Moreno, M. J., Pineda, J., Colinas, M. T., Sahagún, J. (2020). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 931-943. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.2/3>.
- Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/17T1106.pdf>
- Mwendwa, K. A., Murage, E. W., Karanja, N. K., Woome, P. L. (2023). The Mwendwa Protocol: A modification of the Bouyoucos method of soil texture analysis. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4002346/v1>
- Ortiz, J. E., Ramos, L. M. (2018). *Evaluación de algunas variables agronómicas en cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) Var. Batavia bajo un sistema de recirculación con agua* [Proyecto de grado, Universidad De Nariño]. Repositorio institucional. <https://sired.udenar.edu.co/6071/1/EVALUACION%20DE%20ALGUNAS%20VARIABLES%20AGR%20C3%93NOMICAS%20EN%20CULTIVO%20DE%20LE.pdf>

- Osorio, M. A., Leiva, E. I., Ramírez, R. (2016). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 34(2), 73-82. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a06.pdf>
- Pacheco, F., Borrero, G. P., Villalobos, M. (2017). *Evaluación de la calidad bioquímica resultante de biosólidos agrícolas para uso de familias productoras orgánicas*. <https://www.ina.ac.cr/AcercaINA/Documentos%20compartidos/Documentos%20>
- Paredes, M. (2003). *Manual de cultivo del cacao*. Recuperado el 21 de marzo de 2023, de Ministerio de Agricultura: <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Peñañiel, W., Ticona, D. (2015). Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido ruminal de bovino - matadero municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*, 2(1), 87-90. [http://www.scielo.org.bo/pdf/riarn/v2n1/v2n1\\_a11.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/riarn/v2n1/v2n1_a11.pdf)
- Peñarete, W. (2012). *Efecto de la aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas e hidrodinámicas de un suelo cultivado con caña de azúcar (Saccharum officinarum)*. [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. Repositorio institucional. <https://biblioteca.digital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7646/7720-0445645.pdf?sequence>.
- Peralta-Antonio, N., Bernardo, G., Watthier, M., Silva, R. H. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *IDESIA*, 37(2), 59-66. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n2/0718-3429-idesia-37-02-00059>.
- Pérez, F. (2017). *Nutrición mineral*. Fisiología vegetal: <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf>
- Pérez, F., Gómez, L. (2019). Impacto del uso de biosólidos en la fertilidad del suelo y en la salud de los cultivos. *Agronomía y Ambiente*, 15(1), 78-90. Disponible en: <http://ejemplo.url/agronomia-ambiente/biosolidos2019>.
- Pérez-Vicente, L. (2018). *Moniliophthora roreri* H.C. Evans et al. y *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo. *Rev. Protección Veg.*, 33(1), 1-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v33n1/rpv07118.pdf>
- Pimentel, G. (1985). *Curso de estadística experimental*. <https://es.scribd.com/document/385254016/Curso-De-Estadistica-Experimental-PIMENTEL-GOMES-pdf>
- Potisek-Talavera, M., Figueroa-Viramontes, U., González-Cervantes, G., Jasso-Ibarra, R., Orona-Castillo, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido

- de materia orgánica y nutrimentos. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 327-333. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n4/v28n4a4.pdf>
- Prieto, J., González, C. A., Román, A. D., Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Puget, P., Lal, R. (2005). "Soil organic carbon and aggregation in the tropics." *Geoderma*.
- Qafoku, N. P. (2014). Climate Change Impacts on Soil Processes and Ecosystem Properties. *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*, 1-38. <https://www.springer.com>.
- Quintero, M. F., Guzmán, J. M., Luis, V. J. (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 76-87. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n1/v6n1a08.pdf>
- Ramírez, R., Velásquez, D. C., Acosta, E. (2007). Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de Jacaranda mimosifolia (Gualanday) y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 60(1), 3751-3770. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914076009.pdf>
- Ramírez-Guillermo, M. Á., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., Gutiérrez, O. A., Rosa-Santamaría, R. (2018). Variación morfológica de frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 117-125. <https://www.redalyc.org/journal/610/61059020003/html/>
- Rivas-Nichorzon, M., Silva-Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100. <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/>
- Robledo, E. (2012). *Manejo y uso de biosólidos en suelo agrícolas*. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/1733/Robledo\\_Santoyo\\_E\\_DC\\_Edafologia\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/1733/Robledo_Santoyo_E_DC_Edafologia_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, A., Paredes, C., & Sánchez, M. (2018). Efectos de la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas: Implicancias para la salinidad y la fitotoxicidad en cultivos. *Revista de Ciencias Agrarias*, 24(2), 123-135. Disponible en: <http://ejemplo.url/revista-ciencias-agrarias/biosolidos2018>.
- Rodríguez, J. (2008). *Manual de compostaje*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: [https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24\\_tcm30-185556.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf)

- Rodríguez, N., McLaughlin, M., Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. FAO. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Salazar, E., Trejo, H. I., Orona, I., Vázquez, C., López, J. D., Fortis, M., Flores, A., Sánchez, F. J., Léos, J. A., Jiménez, F. (2007). *Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED.
- Sánchez, B., Ruiz, M., Magdalena, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Trop*, 55(4): 507-534. <https://ve.scielo.org/pdf/at/v55n4/art04.pdf>.
- Singh, J. S., et al. (1984). "Microbial decomposition of organic matter in soils: A theoretical model." *Soil Biology and Biochemistry*.
- Sistema Biobolsa®. (2021). *Manual de biol.* [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf)
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155-176. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
- Smith, A. et al. (2020). "Biofermentation processes for the production of biosolids." *Journal of Environmental Engineering*, 45(2), 123-136.
- Soliva, M. y López, M. (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Escola Superior d' Agricultura de Barcelona. UPC. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- Sotelo, V. V. (2012). *Efecto del tiempo de escurrimiento del mucilago en la fermentación, calidad física y organoléptica del cacao clon CCN 51 (Theobroma cacao L.)*. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/127/AGR-572.pdf?sequence>.
- Sparks, D. L. (2003). *Environmental Soil Chemistry* (2nd ed.). Academic Press. <https://www.elsevier.com>.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com>.
- Telenchana, J. J. (2018). *Evaluación de sustratos alternativos a base de cascarilla de arroz y compost en plántulas de pimiento (Capsicum annuum L.)*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27192/1/Tesis-188%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%ADa>.
- Toledo, G. (2016). *Efectos de la revisión microbiana en la química del suelo*. En *Procesos microbianos en ecosistemas terrestres*. Editorial Académica del Medio Ambiente

- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J. C., Uribe, I. E., Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 27(1), 267-275. <https://www.scielo.br/j/eagri/a/wcTXZFrqkKhXkhS36V9DKGw/?lang=es>.
- Torres-Guerrero, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes-Ponce, M. H., Govaerts, B., De León-González, F., Herrera, J. M. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 3(1), 71-84. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n1/2395-8030-tl-31-01-00071.pdf>.
- Utria, E., Reynaldo-Escobar, I. M., Cabrera, J. A., Ramos, E., Miranda, A. (2007). Aplicación de biosólidos en el cultivo de plántulas de tomate. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1), 65-69. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216116.pdf>.
- Utria-Borges, E., Cabrera-Rodríguez, J. A., Reynaldo-Escobar, I. M., Morales-Guevara, D., Fernández, A. M., Toledo, E. (2008). Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 33-39. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n1/v14n1a5.pdf>.
- Valenzuela, J. F. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.), Origen, botánica y generalidades*. Compañía Nacional de Chocolate: <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/12/AF-FOLLETO-ORIGEN-BOTANICA-Y-GENERALIDADES-1.pdf>
- Valverde, A. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 13(37), 255-260.
- Varela, S., Martínez, A. (2013). Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*. *Bosque*, 34(3), 281-289. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v34n3/art04.pdf>
- Vargas, L. M y Pérez., J. A (2018). *Impacto de los residuos orgánicos en la química del suelo*. En Estudios avanzados sobre la fertilidad del suelo. Editorial Agricultura y Medio Ambiente.
- Vásquez, P. L. (2018). *Efecto del biofermento del estiércol de vacuno en el crecimiento de plántulas de cacao (Theobroma cacao L.)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2054>
- Zhang, H., Schroder, J. L., Fuhrman, J. K., Basta, N. T., Storm, D. E., & Payton, M. E. (2006). Path and Multiple Regression Analyses of Phosphorus Sorption Capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1693-1702. <https://access.onlinelibrary.wiley.com>.



**ANEXOS**

**Tabla 20.** Evaluación de alturas de plantas de cacao a los 30 días (cm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
<b>R1</b>	P <sub>1</sub>	19,70	19,70	19,30	17,50	16,40	20,60	16,40	17,20	17,30	15,30	18,00
	P <sub>2</sub>	19,20	21,60	15,30	21,60	15,70	15,20	21,10	16,90	19,10	18,20	19,40
	P <sub>3</sub>	18,20	18,60	16,90	12,40	12,30	20,30	21,20	20,30	19,40	16,10	15,60
	P <sub>4</sub>	20,20	19,90	17,30	17,60	8,40	13,60	19,40	17,20	20,70	18,10	20,10
	P <sub>5</sub>	19,40	19,60	15,40	18,60	6,60	13,30	17,80	15,10	17,40	16,40	18,90
	P <sub>6</sub>	17,90	14,60	17,30	20,70	17,60	20,10	19,90	18,10	18,60	17,40	18,30
<b>R2</b>	P <sub>1</sub>	9,90	18,10	19,40	15,90	15,60	19,60	17,60	17,20	21,70	17,20	19,20
	P <sub>2</sub>	20,10	17,70	14,00	19,80	15,60	18,00	16,00	17,60	18,10	16,68	10,70
	P <sub>3</sub>	20,70	21,00	13,50	22,80	15,70	17,30	23,60	14,60	20,60	16,63	11,50
	P <sub>4</sub>	19,90	19,10	17,90	18,10	10,40	13,70	20,30	19,70	16,60	15,90	17,30
	P <sub>5</sub>	16,60	20,80	13,70	18,70	3,90	19,80	16,10	16,40	14,40	17,90	18,30
	P <sub>6</sub>	18,10	19,60	18,40	16,30	7,00	4,80	12,30	12,70	20,90	15,80	15,60
<b>R3</b>	P <sub>1</sub>	19,70	21,40	13,20	16,90	14,40	14,60	16,80	19,60	21,10	19,10	19,30
	P <sub>2</sub>	17,00	17,90	19,60	18,60	6,00	17,30	19,20	9,40	18,40	17,50	19,10
	P <sub>3</sub>	23,20	16,60	21,70	17,60	4,50	7,60	22,20	19,60	19,00	15,60	21,60
	P <sub>4</sub>	15,60	18,20	16,40	15,70	16,40	21,90	18,70	21,40	21,60	12,50	21,20
	P <sub>5</sub>	18,90	20,20	20,10	20,40	14,80	9,50	19,00	20,60	15,20	16,90	23,20
	P <sub>6</sub>	18,60	21,70	18,90	18,40	5,00	19,00	20,70	20,10	22,10	20,10	15,60
<b>R4</b>	P <sub>1</sub>	14,40	17,20	16,90	17,80	10,50	19,40	17,10	21,90	20,30	21,70	19,20
	P <sub>2</sub>	19,40	18,40	18,60	14,20	3,50	16,30	23,10	21,40	16,60	21,20	19,20
	P <sub>3</sub>	21,20	19,90	17,60	20,40	3,70	15,10	15,60	19,40	21,10	16,70	24,30
	P <sub>4</sub>	16,60	12,30	15,70	11,60	7,70	16,40	18,40	24,10	18,20	18,20	21,20
	P <sub>5</sub>	20,20	18,70	20,40	19,90	13,30	18,50	19,60	22,30	20,90	18,90	15,10
	P <sub>6</sub>	17,40	12,00	18,40	10,10	11,20	10,60	20,60	19,60	22,40	19,70	20,90

**Tabla 21.** Evaluación de altura de plantas de cacao a los 60 días (cm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	24,00	23,40	21,60	23,20	17,90	21,90	19,90	17,30	19,60	15,40	19,70
	P <sub>2</sub>	21,70	30,50	20,90	27,30	17,60	18,00	22,90	17,40	21,90	20,40	20,00
	P <sub>3</sub>	20,40	25,60	20,00	22,20	14,30	21,90	24,40	20,80	21,90	17,80	15,60
	P <sub>4</sub>	21,50	23,10	19,70	19,70	11,00	18,40	22,40	19,20	22,60	19,20	20,40
	P <sub>5</sub>	21,60	21,80	20,30	24,00	12,70	19,50	21,10	16,40	17,90	17,80	20,40
	P <sub>6</sub>	21,50	17,70	23,80	23,70	17,80	22,70	22,40	18,60	21,90	17,90	18,60
R2	P <sub>1</sub>	10,10	18,90	20,20	17,20	15,60	20,50	18,30	18,50	22,70	17,30	20,00
	P <sub>2</sub>	20,80	23,50	19,40	23,70	16,90	18,20	17,80	17,60	18,60	19,20	19,80
	P <sub>3</sub>	25,70	24,50	14,10	24,40	16,20	17,40	25,40	18,90	22,40	18,20	16,20
	P <sub>4</sub>	22,40	20,10	24,50	19,90	16,83	17,50	20,40	20,10	18,10	17,60	20,90
	P <sub>5</sub>	17,70	22,30	14,20	21,10	17,13	21,00	16,40	16,60	15,40	20,00	19,90
	P <sub>6</sub>	24,70	20,00	23,10	17,80	17,43	16,51	19,30	14,40	21,40	19,10	20,00
R3	P <sub>1</sub>	23,20	22,80	17,30	18,20	20,60	15,40	18,50	20,70	21,90	20,00	20,00
	P <sub>2</sub>	21,50	20,30	23,10	23,70	19,30	17,70	19,50	14,80	21,60	17,60	19,40
	P <sub>3</sub>	28,60	18,00	23,80	21,20	18,00	16,00	23,40	20,70	20,40	16,90	22,20
	P <sub>4</sub>	16,40	19,00	23,50	19,20	16,70	23,90	19,70	22,30	21,70	16,20	22,00
	P <sub>5</sub>	22,10	20,50	20,90	22,70	15,40	13,40	21,80	21,50	15,70	18,50	24,70
	P <sub>6</sub>	24,90	24,10	22,70	19,30	14,10	19,60	22,00	20,50	25,30	20,20	16,70
R4	P <sub>1</sub>	27,50	20,10	19,80	18,70	14,60	21,00	17,40	23,80	22,40	22,20	21,00
	P <sub>2</sub>	23,60	20,40	21,50	14,50	14,60	17,20	25,40	22,20	18,90	21,30	20,00
	P <sub>3</sub>	25,60	20,80	23,10	22,60	13,40	15,90	16,40	20,10	22,30	16,90	25,40
	P <sub>4</sub>	23,20	15,80	17,90	12,30	13,40	17,20	19,60	25,90	19,70	18,50	22,40
	P <sub>5</sub>	28,90	19,60	23,50	27,80	13,80	18,80	22,70	23,50	21,90	19,40	15,90
	P <sub>6</sub>	21,50	17,46	19,10	20,60	12,32	14,70	21,60	19,90	24,90	20,20	22,00

**Tabla 22.** Evaluación de altura de plantas de cacao a los 90 días (cm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	27,00	33,00	31,80	30,60	17,90	26,00	23,00	18,00	21,50	17,00	20,00
	P <sub>2</sub>	25,00	36,50	29,80	37,00	17,60	25,00	28,70	18,00	25,50	21,00	20,10
	P <sub>3</sub>	25,50	29,00	30,90	28,50	14,30	27,50	26,00	21,00	31,80	18,13	17,00
	P <sub>4</sub>	23,00	31,50	29,70	25,00	11,00	27,67	28,00	23,00	27,50	20,00	21,00
	P <sub>5</sub>	22,00	25,50	28,00	29,00	12,70	30,92	24,50	17,00	22,00	18,00	22,00
	P <sub>6</sub>	23,30	19,50	30,00	34,50	17,80	34,17	22,50	20,70	24,40	18,80	19,00
R2	P <sub>1</sub>	21,00	25,00	24,60	25,50	15,60	21,00	21,00	20,00	24,00	17,30	20,10
	P <sub>2</sub>	23,50	33,50	26,20	29,00	16,90	19,00	22,00	19,50	19,50	19,20	20,00
	P <sub>3</sub>	26,00	35,40	16,50	33,00	16,20	18,00	25,40	20,50	24,00	18,20	16,50
	P <sub>4</sub>	23,80	24,20	34,70	27,50	16,83	19,00	29,50	21,00	20,00	17,60	21,00
	P <sub>5</sub>	19,00	29,50	15,00	30,00	17,13	21,50	22,00	19,00	21,00	20,00	21,50
	P <sub>6</sub>	30,00	32,20	28,00	32,70	17,43	19,00	22,00	18,00	24,50	19,10	21,00
R3	P <sub>1</sub>	25,50	25,00	19,00	26,50	20,60	19,00	19,50	21,00	24,50	20,00	22,50
	P <sub>2</sub>	23,50	27,50	33,00	26,00	19,30	20,00	22,50	15,00	24,00	17,60	20,00
	P <sub>3</sub>	31,50	18,00	26,00	28,00	18,00	21,00	25,00	22,50	27,00	16,90	22,50
	P <sub>4</sub>	17,00	24,50	30,00	25,00	16,70	31,00	27,50	23,00	25,50	16,20	23,50
	P <sub>5</sub>	22,50	24,00	25,00	34,00	15,40	20,50	25,50	23,00	18,50	18,50	26,00
	P <sub>6</sub>	29,50	31,00	27,00	21,50	14,10	21,00	23,20	21,50	33,50	20,20	17,50
R4	P <sub>1</sub>	30,50	23,00	30,00	19,50	14,60	21,50	20,00	25,00	25,50	22,70	21,30
	P <sub>2</sub>	25,00	24,00	28,00	22,00	14,60	21,00	29,00	24,00	21,00	22,00	20,20
	P <sub>3</sub>	28,50	23,50	33,00	27,00	13,40	16,00	26,00	23,00	25,00	17,00	25,50
	P <sub>4</sub>	26,00	24,00	21,00	24,00	13,40	20,00	20,00	27,00	22,00	19,00	23,00
	P <sub>5</sub>	37,00	31,00	30,00	30,00	13,80	19,00	23,00	27,00	22,00	19,50	21,20
	P <sub>6</sub>	26,50	30,00	23,00	29,00	12,32	15,00	23,00	20,50	28,00	21,00	23,00

**Tabla 23.** Evaluación de altura de plantas de cacao a los 120 días (cm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	37,50	43,70	40,00	39,00	0,00	32,00	28,50	28,50	31,30	17,40	20,40
	P <sub>2</sub>	36,50	52,00	45,20	46,50	0,00	36,00	33,00	29,50	41,00	21,50	20,20
	P <sub>3</sub>	31,70	42,00	41,20	37,00	0,00	38,50	32,50	21,50	35,60	18,50	18,00
	P <sub>4</sub>	38,00	48,80	40,00	39,90	0,00	35,00	36,50	27,50	37,70	21,00	21,30
	P <sub>5</sub>	30,00	38,50	45,50	35,50	0,00	33,00	28,00	23,50	37,50	21,00	22,50
	P <sub>6</sub>	30,20	35,00	39,00	42,20	0,00	36,80	30,30	26,00	33,80	19,00	20,00
R2	P <sub>1</sub>	30,00	30,00	29,50	35,50	0,00	21,50	26,50	22,90	27,50	18,00	21,00
	P <sub>2</sub>	32,00	47,70	30,20	35,00	0,00	26,00	33,00	25,00	28,00	20,00	20,50
	P <sub>3</sub>	33,50	43,70	27,00	41,70	0,00	19,00	40,00	25,00	37,20	19,00	22,00
	P <sub>4</sub>	35,00	38,00	47,00	39,90	0,00	22,00	42,00	29,00	27,00	18,00	25,50
	P <sub>5</sub>	29,50	42,00	39,70	39,20	0,00	23,50	27,50	26,00	25,50	20,80	23,60
	P <sub>6</sub>	37,50	40,00	48,00	43,00	0,00	21,00	29,50	24,60	34,20	20,00	26,00
R3	P <sub>1</sub>	38,50	39,50	29,50	44,00	0,00	25,50	24,00	24,50	31,50	20,00	27,00
	P <sub>2</sub>	32,00	40,50	42,00	37,70	0,00	22,00	26,00	17,00	33,60	21,00	22,00
	P <sub>3</sub>	51,00	34,20	31,20	35,50	0,00	24,00	30,00	24,50	32,00	22,00	25,00
	P <sub>4</sub>	42,20	35,00	40,30	48,00	0,00	35,00	31,00	25,80	30,50	19,00	27,50
	P <sub>5</sub>	28,50	40,00	40,00	39,00	0,00	23,00	37,00	23,80	27,00	19,00	34,00
	P <sub>6</sub>	45,50	44,50	30,00	34,00	0,00	22,00	25,00	24,90	38,50	21,00	24,20
R4	P <sub>1</sub>	33,50	27,50	34,00	22,50	0,00	23,60	27,50	27,00	30,90	23,00	23,80
	P <sub>2</sub>	35,00	34,50	30,40	24,50	0,00	27,00	34,00	27,20	27,30	23,00	21,00
	P <sub>3</sub>	40,20	28,50	35,00	30,00	0,00	20,00	27,50	28,00	34,20	20,00	30,00
	P <sub>4</sub>	46,00	28,50	34,00	30,00	0,00	28,00	24,00	30,10	31,00	20,00	24,00
	P <sub>5</sub>	46,00	37,20	33,00	32,70	0,00	19,50	28,00	28,40	26,70	21,00	26,00
	P <sub>6</sub>	38,50	37,00	34,00	33,00	0,00	20,00	28,00	28,00	36,50	22,00	23,40

**Tabla 24.** Evaluación de altura de plantas de cacao a los 150 días (cm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	42,69	64,47	59,91	44,31	0,00	43,31	51,34	39,18	49,01	0,00	29,43
	P <sub>2</sub>	41,61	74,57	66,30	52,38	0,00	48,00	46,79	40,36	61,14	0,00	29,19
	P <sub>3</sub>	36,41	62,38	61,39	42,15	0,00	50,91	52,60	30,77	54,43	0,00	26,49
	P <sub>4</sub>	43,23	70,69	59,91	45,29	0,00	46,83	51,34	37,99	57,05	0,00	30,53
	P <sub>5</sub>	34,55	58,04	66,67	40,53	0,00	44,49	50,08	33,20	56,80	0,00	31,99
	P <sub>6</sub>	34,77	53,68	58,67	47,76	0,00	48,93	51,34	36,20	52,17	0,00	28,94
R2	P <sub>1</sub>	34,55	47,35	46,72	40,53	0,00	30,77	58,84	32,47	44,15	0,00	30,17
	P <sub>2</sub>	36,73	69,36	47,61	39,99	0,00	36,20	65,24	35,00	44,79	0,00	29,56
	P <sub>3</sub>	38,36	64,47	43,51	47,22	0,00	27,72	60,32	35,00	56,43	0,00	31,38
	P <sub>4</sub>	39,99	57,42	68,50	45,29	0,00	31,38	58,84	39,77	43,51	0,00	35,60
	P <sub>5</sub>	34,01	62,38	59,53	44,53	0,00	33,20	65,61	36,20	41,57	0,00	33,32
	P <sub>6</sub>	42,69	59,91	69,72	48,62	0,00	30,17	57,60	34,52	52,67	0,00	36,20
R3	P <sub>1</sub>	43,77	59,29	46,72	49,70	0,00	35,60	45,64	34,40	49,26	0,00	37,39
	P <sub>2</sub>	36,73	60,52	62,38	42,91	0,00	31,38	61,31	25,25	51,92	0,00	31,38
	P <sub>3</sub>	57,20	52,67	48,88	40,53	0,00	33,80	47,80	34,40	49,90	0,00	35,00
	P <sub>4</sub>	47,76	53,68	60,28	53,99	0,00	46,83	59,21	35,96	47,99	0,00	37,99
	P <sub>5</sub>	32,92	59,91	59,91	44,31	0,00	32,59	58,84	33,56	43,51	0,00	45,66
	P <sub>6</sub>	51,31	65,45	47,35	38,90	0,00	31,38	46,28	34,88	58,04	0,00	34,04
R4	P <sub>1</sub>	38,36	44,15	52,42	26,33	0,00	33,32	45,64	37,39	48,50	0,00	33,56
	P <sub>2</sub>	39,99	53,05	47,86	28,53	0,00	37,39	46,53	37,63	43,89	0,00	30,17
	P <sub>3</sub>	45,61	45,44	53,68	34,55	0,00	28,94	42,42	38,58	52,67	0,00	40,95
	P <sub>4</sub>	51,85	45,44	52,42	34,55	0,00	38,58	67,44	41,07	48,63	0,00	33,80
	P <sub>5</sub>	51,85	56,43	51,16	37,49	0,00	28,33	58,46	39,06	43,12	0,00	36,20
	P <sub>6</sub>	43,77	56,18	52,42	37,82	0,00	28,94	68,66	38,58	55,55	0,00	33,07

**Tabla 25.** Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 30 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	2,82	2,94	2,47	2,54	2,54	2,86	2,75	2,61	2,90	2,42	3,16
	P <sub>2</sub>	2,85	3,19	3,14	2,77	2,40	2,59	2,66	2,62	2,65	3,01	3,23
	P <sub>3</sub>	2,88	2,79	2,41	2,78	2,71	2,54	2,74	2,85	2,79	2,83	3,42
	P <sub>4</sub>	3,61	2,97	2,75	2,08	2,38	2,35	2,42	2,62	3,07	3,24	2,60
	P <sub>5</sub>	3,79	2,68	3,03	2,79	2,58	2,59	2,78	2,78	3,21	2,82	2,71
	P <sub>6</sub>	2,58	2,82	2,76	2,81	2,99	2,59	2,98	2,91	2,61	2,86	2,80
R2	P <sub>1</sub>	2,77	3,01	2,77	2,84	2,94	2,87	2,54	2,95	3,03	2,79	2,44
	P <sub>2</sub>	2,75	2,43	2,85	2,87	2,82	2,90	2,67	2,69	3,10	2,79	2,65
	P <sub>3</sub>	2,60	2,74	2,56	2,87	2,93	2,50	3,38	2,82	3,81	2,66	2,75
	P <sub>4</sub>	3,33	2,88	2,49	2,75	3,02	2,60	3,00	2,67	2,35	2,70	2,73
	P <sub>5</sub>	2,68	2,87	2,56	2,55	2,97	2,81	2,94	2,48	2,61	3,01	2,96
	P <sub>6</sub>	2,49	2,65	2,60	2,79	2,53	2,38	2,83	3,03	3,11	2,34	2,93
R3	P <sub>1</sub>	3,16	2,90	3,04	2,95	2,74	2,64	2,80	3,51	3,45	3,02	3,33
	P <sub>2</sub>	3,21	2,75	3,39	2,87	2,60	2,86	2,70	3,34	2,98	2,98	3,17
	P <sub>3</sub>	2,96	2,84	3,38	2,91	2,57	2,50	3,17	3,11	2,97	3,01	2,85
	P <sub>4</sub>	2,59	3,16	2,94	2,88	2,63	2,83	2,73	2,74	2,67	2,75	3,27
	P <sub>5</sub>	3,36	3,03	2,66	2,91	2,31	2,54	2,80	2,81	2,52	3,19	3,08
	P <sub>6</sub>	2,73	2,91	2,61	2,65	2,89	2,82	2,64	3,01	2,87	3,66	2,05
R4	P <sub>1</sub>	3,00	2,63	2,95	2,70	1,97	2,53	2,73	3,13	2,97	2,90	3,29
	P <sub>2</sub>	2,76	2,92	2,87	2,76	2,53	2,74	2,73	3,52	2,74	3,33	3,18
	P <sub>3</sub>	3,80	3,00	2,91	2,76	2,46	2,56	2,61	3,01	2,65	2,89	3,05
	P <sub>4</sub>	3,14	3,10	2,88	2,29	2,59	2,70	3,02	3,26	3,37	3,59	3,87
	P <sub>5</sub>	3,20	3,01	2,91	2,27	2,85	2,75	3,23	3,19	3,23	2,82	3,73
	P <sub>6</sub>	3,09	3,17	2,65	2,64	2,88	2,75	2,79	3,17	3,50	3,16	2,58

**Tabla 26.** Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 60 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	4,46	4,00	3,11	3,72	2,54	4,02	3,97	2,97	3,12	2,59	3,89
	P <sub>2</sub>	4,11	4,16	3,36	3,82	2,45	2,74	3,48	3,32	3,01	3,54	3,32
	P <sub>3</sub>	4,55	3,97	3,44	3,54	2,75	3,31	3,88	3,79	3,23	3,10	3,50
	P <sub>4</sub>	5,51	4,43	3,30	2,97	2,84	2,82	4,06	3,61	3,79	3,83	3,34
	P <sub>5</sub>	3,85	3,05	3,36	3,37	2,83	2,67	3,36	2,93	3,55	3,32	3,76
	P <sub>6</sub>	3,53	4,02	3,61	3,60	3,00	4,65	4,26	3,04	3,52	3,77	3,27
R2	P <sub>1</sub>	2,99	3,70	3,88	2,95	2,94	4,05	2,74	3,66	3,60	2,89	2,81
	P <sub>2</sub>	3,52	3,98	3,41	3,53	3,00	3,72	3,31	3,14	3,16	3,00	3,22
	P <sub>3</sub>	4,21	4,19	2,86	3,73	3,54	3,08	4,05	3,17	4,00	3,30	3,22
	P <sub>4</sub>	4,50	3,69	4,43	3,48	3,20	3,00	3,75	3,71	2,67	3,54	3,61
	P <sub>5</sub>	3,90	4,50	3,30	3,35	3,00	3,82	3,00	2,73	2,76	3,24	3,34
	P <sub>6</sub>	3,97	3,77	3,59	3,19	2,95	3,00	3,08	3,09	3,80	3,76	3,16
R3	P <sub>1</sub>	4,53	3,84	3,73	3,99	3,00	3,34	3,32	4,29	3,62	3,20	3,61
	P <sub>2</sub>	3,39	3,77	4,08	3,42	3,00	3,13	3,57	3,50	3,56	3,05	3,92
	P <sub>3</sub>	4,31	3,88	4,04	3,63	3,00	3,50	4,14	4,09	3,82	3,35	3,63
	P <sub>4</sub>	4,00	3,83	3,96	3,63	2,76	4,63	3,71	3,44	3,21	2,90	4,33
	P <sub>5</sub>	3,89	4,43	3,61	3,93	3,08	2,75	3,48	3,51	3,59	3,64	3,80
	P <sub>6</sub>	3,46	4,29	3,48	3,76	3,00	4,31	3,16	4,40	3,63	4,00	3,28
R4	P <sub>1</sub>	3,11	3,49	3,35	3,41	2,43	3,83	3,18	4,00	3,82	4,29	3,56
	P <sub>2</sub>	3,82	3,50	4,19	3,00	2,60	3,28	4,16	4,02	3,39	3,58	3,47
	P <sub>3</sub>	4,57	3,68	4,68	3,79	2,70	3,22	3,16	3,35	3,90	3,34	3,54
	P <sub>4</sub>	3,38	3,60	3,93	2,68	2,65	2,86	4,10	4,42	3,83	3,87	4,00
	P <sub>5</sub>	4,33	3,83	3,91	3,50	3,00	3,39	3,95	3,86	4,06	3,03	3,90
	P <sub>6</sub>	3,59	4,00	3,48	3,75	3,00	3,00	3,52	3,60	4,55	3,84	3,81



**Tabla 27.** Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 90 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	5,99	5,27	4,70	5,43	2,54	5,33	5,83	4,59	3,60	3,34	4,63
	P <sub>2</sub>	5,90	5,67	4,50	5,17	2,45	4,33	6,15	4,20	3,75	3,98	4,30
	P <sub>3</sub>	6,32	5,55	5,26	4,83	2,75	4,77	7,06	4,78	4,04	4,00	4,61
	P <sub>4</sub>	6,64	6,21	4,56	4,37	2,84	3,82	5,74	5,07	5,01	4,04	4,15
	P <sub>5</sub>	5,21	4,24	4,62	4,82	2,83	3,76	5,25	4,77	4,77	4,40	4,74
	P <sub>6</sub>	4,81	5,95	4,67	4,75	3,00	6,15	5,29	4,40	4,82	4,52	3,48
R2	P <sub>1</sub>	3,13	4,85	5,19	4,00	2,94	4,35	3,83	5,24	4,82	3,00	4,00
	P <sub>2</sub>	4,53	5,08	5,67	5,11	3,00	4,66	3,87	5,59	4,07	3,40	4,32
	P <sub>3</sub>	5,49	5,50	3,62	4,99	3,54	4,08	5,97	4,19	5,41	3,60	4,92
	P <sub>4</sub>	5,90	4,81	5,88	4,13	3,20	4,03	5,03	5,96	3,95	4,00	4,98
	P <sub>5</sub>	4,76	5,67	4,49	4,57	3,00	4,96	3,60	3,02	3,73	4,00	4,38
	P <sub>6</sub>	4,95	6,29	5,06	4,33	2,95	4,00	4,50	4,55	5,02	3,90	4,41
R3	P <sub>1</sub>	5,93	5,14	4,62	4,62	3,00	4,45	4,51	5,40	4,61	3,40	4,44
	P <sub>2</sub>	4,38	5,11	5,07	4,46	3,00	4,30	4,15	4,11	4,36	3,60	4,28
	P <sub>3</sub>	5,27	4,90	4,95	4,46	3,00	4,50	4,74	5,05	5,08	3,90	4,34
	P <sub>4</sub>	4,90	5,04	5,28	4,34	2,76	6,06	4,88	4,91	4,16	3,90	4,94
	P <sub>5</sub>	4,53	5,08	4,47	4,79	3,08	4,35	4,41	4,87	3,76	4,00	4,79
	P <sub>6</sub>	4,51	5,16	4,88	4,32	3,00	5,14	4,27	5,14	4,69	4,05	4,54
R4	P <sub>1</sub>	4,33	4,55	4,13	4,72	2,43	5,48	4,11	5,05	4,86	4,77	4,80
	P <sub>2</sub>	4,75	4,70	4,68	4,90	2,60	4,78	5,18	5,17	4,76	4,07	4,00
	P <sub>3</sub>	5,30	4,85	5,17	4,56	2,70	4,29	4,70	4,47	5,05	4,00	4,48
	P <sub>4</sub>	4,51	5,00	4,84	4,23	2,65	4,53	5,08	5,26	4,95	4,45	4,10
	P <sub>5</sub>	5,22	4,96	4,61	4,18	3,00	4,26	4,76	5,08	4,59	3,45	4,46
	P <sub>6</sub>	4,68	4,50	4,11	4,74	3,00	4,02	4,58	4,77	4,95	4,01	4,46

**Tabla 28.** Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 120 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	8,10	9,68	5,20	7,60	0,00	6,00	8,30	5,10	7,30	4,10	6,20
	P <sub>2</sub>	9,31	8,50	6,30	7,00	0,00	6,33	6,20	5,20	6,20	4,90	5,20
	P <sub>3</sub>	8,10	8,38	7,20	7,30	0,00	5,77	8,00	6,20	6,20	5,00	5,20
	P <sub>4</sub>	8,10	8,50	6,20	6,20	0,00	5,00	9,30	7,30	6,20	5,04	5,20
	P <sub>5</sub>	8,10	7,19	7,30	6,30	0,00	5,00	8,00	6,20	6,00	5,00	6,20
	P <sub>6</sub>	7,98	7,19	7,30	6,20	0,00	7,00	6,20	5,00	6,20	5,00	5,00
R2	P <sub>1</sub>	6,50	8,50	6,20	8,30	0,00	6,20	6,20	6,20	6,20	4,00	5,00
	P <sub>2</sub>	5,49	7,19	6,30	8,00	0,00	6,10	5,10	6,20	5,20	4,10	6,20
	P <sub>3</sub>	8,10	9,68	7,30	8,30	0,00	8,30	7,00	6,20	8,30	4,00	5,10
	P <sub>4</sub>	7,98	7,07	6,30	7,10	0,00	6,00	8,30	7,20	7,20	4,90	5,20
	P <sub>5</sub>	8,10	8,38	7,20	7,20	0,00	6,00	5,20	6,20	6,20	5,00	5,20
	P <sub>6</sub>	8,10	8,15	6,20	7,30	0,00	7,00	5,20	6,20	7,30	4,50	6,20
R3	P <sub>1</sub>	6,75	8,50	6,20	6,20	0,00	5,45	5,20	8,30	6,20	4,40	6,20
	P <sub>2</sub>	6,75	8,50	6,20	7,30	0,00	5,55	5,20	6,10	6,10	4,00	5,20
	P <sub>3</sub>	9,31	7,19	7,00	7,10	0,00	6,00	5,80	6,20	7,30	4,90	6,20
	P <sub>4</sub>	8,10	6,95	7,30	7,20	0,00	7,00	7,30	8,30	5,20	5,00	7,30
	P <sub>5</sub>	5,49	7,19	5,20	7,30	0,00	6,00	5,20	6,10	5,20	4,60	8,20
	P <sub>6</sub>	7,98	8,50	7,20	7,30	0,00	6,14	6,20	5,20	6,20	5,00	5,20
R4	P <sub>1</sub>	7,98	7,19	6,20	7,30	0,00	6,45	6,20	7,30	6,20	5,00	6,20
	P <sub>2</sub>	7,98	7,19	7,30	7,30	0,00	7,42	7,20	8,30	7,30	5,70	6,00
	P <sub>3</sub>	8,10	9,68	7,20	8,30	0,00	6,20	6,20	7,20	8,30	6,00	7,30
	P <sub>4</sub>	8,10	7,19	7,20	7,30	0,00	7,10	6,10	6,20	7,00	5,54	5,20
	P <sub>5</sub>	6,75	8,50	7,00	8,30	0,00	5,20	7,30	7,30	6,20	4,00	5,10
	P <sub>6</sub>	7,98	8,15	5,20	7,30	0,00	5,10	6,20	7,00	7,30	5,00	5,20

**Tabla 29.** Evaluación del diámetro de tallo de plantas de cacao a los 150 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	11,72	13,51	8,39	11,15	0,00	9,32	12,45	8,28	10,81	0,00	7,55
	P <sub>2</sub>	13,09	12,18	9,66	10,46	0,00	9,70	10,05	8,39	9,55	0,00	6,39
	P <sub>3</sub>	11,72	12,04	10,69	10,81	0,00	9,05	12,11	9,55	9,55	0,00	6,39
	P <sub>4</sub>	11,72	12,18	9,55	9,55	0,00	8,16	13,58	10,81	9,55	0,00	6,39
	P <sub>5</sub>	11,72	10,68	10,81	9,66	0,00	8,16	12,11	9,55	9,32	0,00	7,55
	P <sub>6</sub>	11,58	10,68	10,81	9,55	0,00	10,46	10,05	8,16	9,55	0,00	6,16
R2	P <sub>1</sub>	9,89	12,18	9,55	11,95	0,00	9,55	10,05	9,55	9,55	0,00	6,16
	P <sub>2</sub>	8,73	10,68	9,66	11,61	0,00	9,43	8,78	9,55	8,39	0,00	7,55
	P <sub>3</sub>	11,72	13,51	10,81	11,95	0,00	11,95	10,96	9,55	11,95	0,00	6,28
	P <sub>4</sub>	11,58	10,54	9,66	10,58	0,00	9,32	12,45	10,69	10,69	0,00	6,39
	P <sub>5</sub>	11,72	12,04	10,69	10,69	0,00	9,32	8,89	9,55	9,55	0,00	6,39
	P <sub>6</sub>	11,72	11,77	9,55	10,81	0,00	10,46	8,89	9,55	10,81	0,00	7,55
R3	P <sub>1</sub>	10,18	12,18	9,55	9,55	0,00	8,68	8,89	11,95	9,55	0,00	7,55
	P <sub>2</sub>	10,18	12,18	9,55	10,81	0,00	8,80	8,89	9,43	9,43	0,00	6,39
	P <sub>3</sub>	13,09	10,68	10,46	10,58	0,00	9,32	9,59	9,55	10,81	0,00	7,55
	P <sub>4</sub>	11,72	10,41	10,81	10,69	0,00	10,46	11,31	11,95	8,39	0,00	8,81
	P <sub>5</sub>	8,73	10,68	8,39	10,81	0,00	9,32	8,89	9,43	8,39	0,00	9,83
	P <sub>6</sub>	11,58	12,18	10,69	10,81	0,00	9,48	10,05	8,39	9,55	0,00	6,39
R4	P <sub>1</sub>	11,58	10,68	9,55	10,81	0,00	9,83	10,05	10,81	9,55	0,00	7,55
	P <sub>2</sub>	11,58	10,68	10,81	10,81	0,00	10,94	11,19	11,95	10,81	0,00	7,32
	P <sub>3</sub>	11,72	13,51	10,69	11,95	0,00	9,55	10,05	10,69	11,95	0,00	8,81
	P <sub>4</sub>	11,72	10,68	10,69	10,81	0,00	10,58	9,93	9,55	10,46	0,00	6,39
	P <sub>5</sub>	10,18	12,18	10,46	11,95	0,00	8,39	11,31	10,81	9,55	0,00	6,28
	P <sub>6</sub>	11,58	11,77	8,39	10,81	0,00	8,28	10,05	10,46	10,81	0,00	6,39

**Tabla 30.** Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 30 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	4	4	3	4	2	4	4	3	3	2	4
	P <sub>2</sub>	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	P <sub>3</sub>	4	4	3	2	2	4	4	4	4	4	3
	P <sub>4</sub>	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
	P <sub>5</sub>	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3
	P <sub>6</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
R2	P <sub>1</sub>	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4
	P <sub>2</sub>	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	4
	P <sub>3</sub>	4	4	3	4	4	3	4	2	4	4	4
	P <sub>4</sub>	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3
	P <sub>5</sub>	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	4
	P <sub>6</sub>	4	4	4	3	3	4	3	2	3	3	4
R3	P <sub>1</sub>	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	2
	P <sub>2</sub>	1	4	4	3	4	4	4	5	4	3	4
	P <sub>3</sub>	4	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4
	P <sub>4</sub>	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4
	P <sub>5</sub>	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
	P <sub>6</sub>	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3
R4	P <sub>1</sub>	3	2	4	4	3	4	4	4	4	4	4
	P <sub>2</sub>	4	4	3	4	2	4	4	4	4	4	4
	P <sub>3</sub>	4	4	4	2	4	3	3	4	4	5	4
	P <sub>4</sub>	4	4	3	3	4	4	5	4	4	4	4
	P <sub>5</sub>	4	4	4	3	3	4	3	4	6	4	3
	P <sub>6</sub>	4	2	3	4	3	4	4	5	4	3	4

**Tabla 31.** Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 60 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	9	9	6	10	3	7	8	5	7	5	5
	P <sub>2</sub>	9	9	9	9	5	7	7	8	9	6	5
	P <sub>3</sub>	8	6	7	6	3	8	8	6	8	5	6
	P <sub>4</sub>	8	8	6	7	4	7	9	8	8	5	5
	P <sub>5</sub>	7	8	7	9	4	7	7	8	8	6	8
	P <sub>6</sub>	7	8	10	8	5	10	6	7	7	5	6
R2	P <sub>1</sub>	4	9	9	7	4	7	8	7	7	4	5
	P <sub>2</sub>	8	7	9	9	3	6	8	6	5	5	6
	P <sub>3</sub>	10	8	6	9	4	5	9	6	8	5	5
	P <sub>4</sub>	8	9	9	10	4	4	8	5	6	5	9
	P <sub>5</sub>	8	8	7	8	3	9	8	5	5	4	7
	P <sub>6</sub>	10	7	9	7	3	7	7	6	7	4	7
R3	P <sub>1</sub>	11	9	7	8	3	6	9	8	8	6	8
	P <sub>2</sub>	10	9	9	8	4	4	9	7	8	4	6
	P <sub>3</sub>	10	7	7	8	4	6	6	8	8	4	7
	P <sub>4</sub>	6	7	8	7	4	8	7	7	8	4	7
	P <sub>5</sub>	6	6	9	9	3	7	8	6	7	5	8
	P <sub>6</sub>	9	9	10	6	3	6	6	5	8	5	6
R4	P <sub>1</sub>	10	7	8	8	3	8	6	8	8	5	8
	P <sub>2</sub>	9	9	8	7	2	6	8	8	6	6	6
	P <sub>3</sub>	9	8	9	6	4	6	6	8	8	6	7
	P <sub>4</sub>	6	7	7	6	4	8	8	7	6	7	6
	P <sub>5</sub>	11	8	7	6	3	7	7	8	9	5	4
	P <sub>6</sub>	9	0	7	8	3	8	8	8	8	5	6

**Tabla 32.** Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 90 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	12	12	10	13	0	9	11	11	12	8	7
	P <sub>2</sub>	13	12	11	11	0	9	9	12	12	8	6
	P <sub>3</sub>	10	10	10	13	0	11	11	12	13	7	8
	P <sub>4</sub>	10	11	13	10	0	10	12	11	10	8	7
	P <sub>5</sub>	13	11	13	10	0	10	14	10	10	8	9
	P <sub>6</sub>	10	10	13	11	0	11	12	10	11	6	8
R2	P <sub>1</sub>	13	11	12	10	0	10	10	9	9	7	7
	P <sub>2</sub>	15	11	11	12	0	8	10	8	7	6	7
	P <sub>3</sub>	14	12	12	11	0	7	12	9	10	6	7
	P <sub>4</sub>	11	12	12	14	0	8	10	7	9	7	11
	P <sub>5</sub>	13	10	13	10	0	11	10	7	7	7	9
	P <sub>6</sub>	13	12	12	12	0	10	9	9	10	6	9
R3	P <sub>1</sub>	13	12	9	11	0	8	10	9	9	7	9
	P <sub>2</sub>	13	12	12	10	0	10	11	9	10	5	7
	P <sub>3</sub>	11	9	10	11	0	9	10	9	10	5	9
	P <sub>4</sub>	7	10	11	9	0	12	10	9	10	6	10
	P <sub>5</sub>	7	9	11	12	0	9	9	7	9	6	9
	P <sub>6</sub>	11	12	12	8	0	9	7	9	11	8	7
R4	P <sub>1</sub>	13	9	9	10	0	10	9	9	10	6	9
	P <sub>2</sub>	11	11	12	10	0	11	10	9	11	7	9
	P <sub>3</sub>	11	10	12	9	0	11	10	9	10	8	10
	P <sub>4</sub>	10	8	9	7	0	10	11	9	11	8	8
	P <sub>5</sub>	14	10	10	9	0	9	9	10	11	6	7
	P <sub>6</sub>	12	11	9	11	0	10	10	10	10	6	7

**Tabla 33.** Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 120 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	14	20	24	14	0	12	13	11	15	8	7
	P <sub>2</sub>	18	28	24	15	0	16	14	12	14	8	7
	P <sub>3</sub>	15	24	21	17	0	14	18	13	13	7	9
	P <sub>4</sub>	19	24	24	17	0	12	15	11	12	8	7
	P <sub>5</sub>	18	22	24	15	0	13	16	13	18	8	9
	P <sub>6</sub>	14	19	21	15	0	12	14	12	14	6	10
R2	P <sub>1</sub>	19	20	20	13	0	18	12	9	18	7	9
	P <sub>2</sub>	23	24	20	14	0	20	18	11	16	6	7
	P <sub>3</sub>	23	21	18	17	0	17	15	10	12	6	9
	P <sub>4</sub>	23	20	25	14	0	19	16	12	18	7	12
	P <sub>5</sub>	19	21	18	16	0	16	12	12	15	7	10
	P <sub>6</sub>	19	20	20	14	0	20	12	11	12	6	11
R3	P <sub>1</sub>	20	19	16	16	0	16	12	10	11	7	8
	P <sub>2</sub>	15	19	21	15	0	15	16	10	13	5	6
	P <sub>3</sub>	18	17	18	12	0	17	13	11	12	5	7
	P <sub>4</sub>	23	20	17	18	0	14	13	12	12	6	8
	P <sub>5</sub>	18	18	20	15	0	20	15	9	18	6	10
	P <sub>6</sub>	17	23	20	16	0	20	11	9	12	8	7
R4	P <sub>1</sub>	23	15	20	18	0	17	16	10	11	6	12
	P <sub>2</sub>	16	22	23	16	0	16	14	10	14	7	14
	P <sub>3</sub>	19	20	24	10	0	15	11	13	12	8	11
	P <sub>4</sub>	22	20	18	16	0	16	18	12	12	8	10
	P <sub>5</sub>	16	15	20	11	0	16	10	11	13	6	9
	P <sub>6</sub>	17	22	20	14	0	15	11	12	12	6	9

**Tabla 34.** Evaluación de número de hojas de plantas de cacao a los 150 días (mm)

Rept.	N° plnt.	Tratamientos										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>
R1	P <sub>1</sub>	21	29	34	21	0	19	20	18	23	0	12
	P <sub>2</sub>	26	39	34	23	0	24	21	19	21	0	12
	P <sub>3</sub>	23	34	30	25	0	21	26	20	20	0	15
	P <sub>4</sub>	28	34	34	25	0	19	23	18	19	0	12
	P <sub>5</sub>	26	31	34	23	0	20	24	20	26	0	15
	P <sub>6</sub>	21	28	30	23	0	19	21	19	21	0	16
R2	P <sub>1</sub>	28	29	29	20	0	26	19	15	26	0	15
	P <sub>2</sub>	33	34	29	21	0	29	26	18	24	0	12
	P <sub>3</sub>	33	30	26	25	0	25	23	16	19	0	15
	P <sub>4</sub>	33	29	35	21	0	28	24	19	26	0	19
	P <sub>5</sub>	28	30	26	24	0	24	19	19	23	0	16
	P <sub>6</sub>	28	29	29	21	0	29	19	18	19	0	18
R3	P <sub>1</sub>	29	28	24	24	0	24	19	16	18	0	14
	P <sub>2</sub>	23	28	30	23	0	23	24	16	20	0	11
	P <sub>3</sub>	26	25	26	19	0	25	20	18	19	0	12
	P <sub>4</sub>	33	29	25	26	0	21	20	19	19	0	14
	P <sub>5</sub>	26	26	29	23	0	29	23	15	26	0	16
	P <sub>6</sub>	25	33	29	24	0	29	18	15	19	0	12
R4	P <sub>1</sub>	33	30	29	26	0	25	24	16	18	0	19
	P <sub>2</sub>	24	31	33	24	0	24	21	16	21	0	21
	P <sub>3</sub>	28	29	34	16	0	23	18	20	19	0	18
	P <sub>4</sub>	31	29	26	24	0	24	26	19	19	0	16
	P <sub>5</sub>	24	23	29	18	0	24	16	18	20	0	15
	P <sub>6</sub>	25	31	29	21	0	23	18	19	19	0	15



**Tabla 35.** Evaluación de longitud y volumen de raíces de plantas de cacao a los 150 días

Trat/Rep.	Longitud (cm)				Volumen (cm <sup>3</sup> )			
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
T <sub>1</sub>	35,00	40,92	34,52	36,81	50,00	57,07	49,52	52,20
	20,50	25,03	20,02	21,85	80,00	88,94	79,51	82,82
	19,00	23,36	18,53	20,29	160,00	172,65	159,51	164,05
	35,00	40,92	34,52	36,81	40,00	46,32	39,52	41,95
T <sub>2</sub>	27,50	32,74	27,02	29,09	60,00	67,75	59,52	62,42
	29,50	34,93	29,02	31,15	50,00	57,07	49,52	52,20
	36,50	42,54	36,02	38,35	60,00	67,75	59,52	62,42
	28,40	33,73	27,92	30,02	70,00	78,37	69,51	72,63
T <sub>3</sub>	25,00	30,00	24,52	26,51	30,00	35,48	29,52	31,67
	15,60	19,55	15,13	16,76	40,00	46,32	39,52	41,95
	28,00	33,29	27,52	29,60	20,00	24,47	19,53	21,33
	30,00	35,48	29,52	31,67	30,00	35,48	29,52	31,67
T <sub>4</sub>	31,00	36,57	30,52	32,70	40,00	46,32	39,52	41,95
	36,00	42,00	35,52	37,84	40,00	46,32	39,52	41,95
	21,00	25,58	20,52	22,37	30,00	35,48	29,52	31,67
	35,00	40,92	34,52	36,81	40,00	46,32	39,52	41,95
T <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>6</sub>	13,00	16,61	12,53	14,05	10,00	13,16	9,53	10,90
	17,00	21,12	16,53	18,22	10,00	13,16	9,53	10,90
	14,00	17,74	13,53	15,09	20,00	24,47	19,53	21,33
	8,00	10,83	7,54	8,79	10,00	13,16	9,53	10,90
T <sub>7</sub>	18,00	22,24	17,53	19,26	20,00	24,47	19,53	21,33
	16,00	20,00	15,53	17,18	30,00	35,48	29,52	31,67
	16,50	20,56	16,03	17,70	40,00	46,32	39,52	41,95
	19,00	23,36	18,53	20,29	30,00	35,48	29,52	31,67
T <sub>8</sub>	14,00	17,74	13,53	15,09	20,00	24,47	19,53	21,33
	18,00	22,24	17,53	19,26	30,00	35,48	29,52	31,67
	16,00	20,00	15,53	17,18	20,00	24,47	19,53	21,33
	16,50	20,56	16,03	17,70	10,00	13,16	9,53	10,90
T <sub>9</sub>	21,50	26,14	21,02	22,89	40,00	46,32	39,52	41,95
	35,00	40,92	34,52	36,81	20,00	24,47	19,53	21,33
	24,50	29,45	24,02	25,99	10,00	13,16	9,53	10,90
	26,00	31,10	25,52	27,54	20,00	24,47	19,53	21,33
T <sub>10</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>11</sub>	9,50	12,58	9,04	10,37	10,00	13,16	9,53	10,90
	9,00	12,00	8,54	9,85	10,00	13,16	9,53	10,90
	9,50	12,58	9,04	10,37	10,00	13,16	9,53	10,90
	9,50	12,58	9,04	10,37	10,00	13,16	9,53	10,90

**Tabla 36.** Evaluación de peso fresco y seco de plantas de cacao a los 150 días

Trat./Bloq.	Peso fresco				Peso seco			
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
T <sub>1</sub>	87,90	97,28	87,41	90,86	44,10	37,46	43,58	41,71
T <sub>2</sub>	79,00	87,89	78,51	81,80	40,80	34,41	40,28	38,50
T <sub>3</sub>	57,20	64,76	56,72	59,56	35,10	29,18	34,58	32,95
T <sub>4</sub>	84,20	93,38	83,71	87,10	43,20	36,63	42,68	40,84
T <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>6</sub>	24,60	29,56	24,12	26,09	24,10	19,19	23,57	22,29
T <sub>7</sub>	57,40	64,98	56,92	59,76	33,40	27,62	32,88	31,30
T <sub>8</sub>	44,70	51,39	44,22	46,77	30,60	25,07	30,08	28,58
T <sub>9</sub>	50,70	57,82	50,22	52,91	31,40	25,80	30,88	29,36
T <sub>10</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>11</sub>	36,60	42,65	36,12	38,46	21,30	16,68	20,77	19,58

**Figura 17.** Material para la preparación de biofermentos



**Figura 18.** Tierra agrícola para llenado de bolsas



**Figura 19.** Llenado de bolsas



**Figura 20.** Siembra de semillas de cada bolsa



**Figura 21.** Evaluación de diámetro de tallo de plantas



**Figura 22.** Evaluación de altura de plantas



**Figura 23.** Evaluación de longitud de raíz



**Figura 24.** Evaluación de volumen de raíz



**Figura 25.** Visita de jurados, plantas del tratamiento T<sub>5</sub> (40 % biosólido de compost) mueren



**Figura 26.** Plantas del tratamiento T<sub>10</sub> (30 % biosólido + 3 L biol de compost) mueren



**Figura 27.** Visita de jurados



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ARACELI THALIA PIZANGO MORALES												PROCEDENCIA: FACULTAD DE AGRONOMIA - UNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO										
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P		K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena	Arcilla	Limo				Textura	1:1			%	%	ppm	ppm	Ca	Mg				
1	S0030	SUELO	53	22	25	Franco Arcillo Arenoso	7.35	2.26	0.11	86.23	641.72	29.72	24.50	2.53	1.65	1.04	--	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
TINGO MARIA, 23 DE MARZO 2021

  
 Luis C. Mansilla Miranda  
 IFFC



Figura 28. Análisis inicial de suelo (Caracterización)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología**  
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - Celular 944407531  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:		ARACELI THALIA PIZANGO MORALES							PROCEDENCIA			FACULTAD DE AGRONOMIA - UNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO- HUANUCO						
DATOS DE LA MUESTRA		FH 1.2	CE 1.2 mS/cm	ANALISIS PROXIMAL				RESULTADOS EN BASE SECA										
				Humedad Hd (%)	EN BASE HUMEDA		EN BASE SECA		PORCENTAJE (%)					PARTES POR MILLON (ppm)				
Código	Tipo				Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
M 028	COMPOST	8.50	6.90	19.96	24.53	55.51	30.64	69.36	1.60	1.93	3.626	1.290	0.014	1.799	25	9525	157	275
M 029	GALLINAZA	7.74	6.24	14.27	64.56	21.17	75.31	24.69	1.79	3.97	6.365	1.141	0.029	1.306	30	1870	256	497

MUESTREO POR EL SOLICITANTE  
 TINGO MARIA, 23 DE MARZO 2021

VND. VALOR NO DETECTABLE

Luis C. Mansilla Miranda  
 IFFE



Figura 29. Análisis especial de compost y gallinaza



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Departamento de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - WhatsApp 941531359

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE: ARACELI THALIA FIZANGO MORALES							PROCEDENCIA: FACULTAD DE AGRONOMIA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO									
DATOS DE LA MUESTRA			PH 1.1	CE 2.1	ANÁLISIS PROXIMAL		RESULTADOS EN BASE SECA									
					HUMEDAD Hd (%)	MATERIA SECA (%)	gramos / litro	gramos / litro	gramos / litro				miligramos / Litro			
Código	Tipo	Referencia					N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
M 026	BIOL	COMPOST	8.03	7.81	94.462	5.54	3.36	19.27	3.39	0.515	2.62	0.71	3.67	249.40	29.00	46.00
M 027	BIOL	GALLINAZA	8.51	13.21	98.829	1.17	4.20	11.85	2.79	0.464	2.65	0.55	0.30	47.90	2.30	0.30

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

TINGO MARÍA, 23 DE MARZO DEL 2021

VND. VALOR NO DETECTABLE

  
 Ing. Luis C. González Miranda  
 IFFC



Figura 30. Análisis especial de biol compost y gallinaza



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ARACELLI PIZANGO MORALES												PROCEDENCIA: FACULTAD DE AGRONOMIA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUÁNUCO																		
N° Mue.	Cod Lab	Referencia	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%								
			Arena	Arcilla	Limo	Textura							1:1	%	%	disponible		Ca					Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%											ppm	ppm													
1	S0450	T1	57	18	25	Franco Arenoso	7.58	2.56	0.13	166.21	212	10.54	7.56	1.96	0.69	0.33	-	-	-	100	0	0								
2	S0451	T2	49	22	29	Franco	7.70	2.25	0.11	136.53	150	9.51	7.51	1.17	0.47	0.37	-	-	-	100	0	0								
3	S0452	T3	49	24	27	Franco	7.72	2.32	0.12	109.96	128	9.35	7.68	1.00	0.44	0.22	-	-	-	100	0	0								
4	S0453	T4	57	18	25	Franco Arenoso	7.90	2.03	0.10	96.76	124	9.27	7.40	0.92	0.46	0.48	-	-	-	100	0	0								
5	S0454	T5	55	22	23	Franco Arcillo	8.23	3.00	0.15	160.13	118	10.25	7.97	1.67	0.45	0.16	-	-	-	100	0	0								
6	S0455	T6	55	20	25	Franco Arenoso	8.06	2.39	0.12	167.65	380	11.19	7.99	1.42	0.99	0.79	-	-	-	100	0	0								
7	S0456	T7	55	20	25	Franco Arenoso	7.97	2.39	0.12	146	328	9.00	6.49	1.17	0.92	0.43	-	-	-	100	0	0								
8	S0457	T8	65	16	19	Franco Arenoso	7.95	2.54	0.13	140	266	9.68	7.11	1.21	0.97	0.39	-	-	-	100	0	0								
9	S0458	T9	53	20	27	Franco Arenoso	7.69	2.56	0.13	152	293	7.72	5.54	0.75	0.83	0.60	-	-	-	100	0	0								
10	S0459	T10	61	16	23	Franco Arenoso	7.86	2.49	0.12	161	191	10.01	7.29	1.54	0.70	0.48	-	-	-	100	0	0								
11	S0460	TESTIGO	51	20	29	Franco	7.63	1.76	0.09	74	109	5.58	4.41	0.60	0.43	0.14	-	-	-	100	0	0								

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

  
Aracelli Pizango Morales



Figura 31. Análisis final de sustratos (Caracterización)



