

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

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFICIENCIA DE TRES FUENTES FOSFATADAS CON ADICIÓN DE CUATRO
NIVELES DE GALLINAZA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAFÉ**
(Coffea arabica L.)

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR

EDWIN RIDER VILLA GUERREROS

Asesor

LUIS GERMÁN MANSILLA MINAYA

Tingo María – Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"Año del buen servicio al ciudadano"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 027-2017-FA-UNAS

BACHILLER : **EDWIN RIDER VILLA GUERREROS**

TÍTULO : "EFICIENCIA DE TRES FUENTES FOSFATADAS CON ADICION DE CUATRO NIVELES DE GALLINAZA EN LA PRODUCCION DE PLANTONES DE CAFÉ (Coffea arábica L.)."

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. WILFREDO ZAVALA SOLORZANO
VOCAL : Dr. HUGO HUAMANI YUPANQUI
VOCAL : Ing. M.Sc. JOSÉ LEVANO CRISOSTOMO

ASESOR : Ing. LUIS MANSILLA MINAYA

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 16 DE NOVIEMBRE DE 2017

HORA DE SUSTENTACIÓN : 8:00 P.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 16 DE NOVIEMBRE DE 2017.

.....
Dr. WILFREDO ZAVALA SOLORZANO
PRESIDENTE

.....
Dr. HUGO HUAMANI YUPANQUI
VOCAL

.....
Ing. M.Sc. JOSÉ LEVANO CRISOSTOMO
VOCAL

.....
Ing. LUIS MANSILLA MINAYA
ASESOR



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

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFICIENCIA DE TRES FUENTES FOSFATADAS CON ADICIÓN DE CUATRO
NIVELES DE GALLINAZA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAFÉ**
(Coffea arabica L.)

Autor	: Edwin Rider Villa Guerreros
Asesor (es)	: M. Sc. Luis Germán Mansilla Minaya
Área de investigación	: Suelos y Fertilizantes
Línea de investigación	: Fertilidad clasificación, biología, manejo y conservación de suelos.
Eje temático	: Abonos orgánicos
Lugar de ejecución	: Vivero del Fundo Agrícola N° 1 - Tingo María - UNAS
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: S/ 7006.80

Tingo María - Perú – Marzo, 2025



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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 280 - 2025 - CS-RIDUNAS

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

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFICIENCIA DE TRES FUENTES FOSFATADAS CON ADICIÓN DE CUATRO NIVELES DE GALLINAZA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.)	EDWIN RIDER VILLA GUERREROS	15 % Quince	0 % Cero

Tingo María, 28 de agosto de 2025.



ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

VICERRECTOR DE INVESTIGACION

Instituto de Investigación

Unidad de Gestión de la Investigación

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

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la selva

Facultad : Agronomía

Escuela profesional/ : Agronomía

Departamento Académico

Título de la Tesis : Eficiencia de tres fuentes fosfatadas con adición de cuatro niveles de gallinaza en la producción de plantones de Café (*Coffea arabica* L.)

Objetivo General : Evaluar el efecto de cuatro niveles de Gallinaza y tres fuentes fosfatadas en la obtención de plantones de café en fase de vivero

Autor de la Tesis : Villa Guerreros, Edwin Rider

DNI : 42797082

Correo electrónico : Edwin.villa@unas.edu.pe

Asesor : M. Sc. Luis Germán Mansilla Minaya

Área de Investigación : Suelos y fertilizantes

Grupo de Investigación : Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados

Línea de investigación : Fertilidad, clasificación, biología y manejo de suelos

Lugar de Ejecución : Vivero del Fundo Agrícola N° 1 - Tingo María - UNAS

Fecha de inicio : Enero 2016

Fecha de finalización : Junio 2016

Presupuesto : S/. 7006.80

Financiamiento : Propio (X) FIF () Externo ()

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

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Jesucristo, por ser misericordioso conmigo por guiarme e iluminarme por el buen camino, dándome salud y sabiduría en el día a día.

A mis padres, Amador y Modesta, por sus consejos, comprensión y amor en todo momento de mi vida, y por su ayuda incondicional con los recursos necesarios para estudiar.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por el apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional.

- A los jurados de mi tesis: al presidente Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, y miembros, Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, Ing. M. Sc. José Dolores Lévano Crisostomo por la revisión de la revisión científica del informe del trabajo de investigación.

- A M. Sc. Luis Mansilla Minaya, asesor de la presente tesis, por su apoyo en la ejecución y culminación de mi trabajo de investigación.

- A mis queridos hermanos: Carlos, Aydé, Vanesa y Ángel, por el apoyo económico, moral para poder culminar mis estudios y realizar el presente trabajo de investigación.

- A mis amigos: Lucas Adán, José Rojas, Giezi Gutiérrez, Walter Palomino, por el apoyo en la ejecución del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Importancia económica del cultivo de café.....	2
2.2. Característica de la variedad de <i>C. arabica</i> en estudio: variedad Catimor.....	2
2.3. Vivero de café	3
2.3.1. Germinadores.....	3
2.3.2. Vivero	3
2.4. Suelos para el cultivo de café.....	4
2.5. El fósforo	5
2.5.1. El fósforo en la planta.....	5
2.5.2. El fósforo en el suelo	6
2.6. Uso de fosfatos inorgánicos en la agricultura	8
2.6.1. Factores que influyen en la adsorción de fosfatos en los suelos.....	9
2.6.2. Microorganismos solubilizadores de fosfatos.....	10
2.7. Fuentes a base de fosforo	11
2.7.1. Roca Fosfórica	11
2.7.2. Fosfato Diamónico (DAP).....	13
2.7.3. Superfosfato Triple de Calcio	14
2.8. Gallinaza	15
2.8.1. Valor de la gallinaza	16
2.8.2. La materia orgánica de la Gallinaza	17
2.9. Generalidades sobre la acidez de los suelos.....	17
2.9.1. Alternativas para suelos ácidos.....	18
2.10. Investigaciones realizadas ¡Error! Marcador no definido.	
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Campo experimental	21
3.1.1. Ubicación política y geográfica	21
3.2. Materiales.....	21

3.2.1. Material vegetativo e insumos	21
3.3. Método estadístico	21
3.3.1. Componentes en estudio	21
3.3.2. Tratamientos en estudio	22
3.3.3. Diseño Experimental.....	22
3.3.4. Características del campo experimental	23
3.4. Metodología	24
3.4.1. Obtención del suelo y materia orgánica.....	24
3.4.2. Germinador y preparación del sustrato	24
3.4.3. Análisis físico-químico del suelo.....	24
3.4.4. Análisis químico de la Gallinaza	25
3.4.5. Preparación del sustrato y llenado de bolsas	26
3.4.6. Repique a bolsas	26
3.4.7. Manejo del vivero	27
3.5. Características evaluadas	27
3.5.1. Altura de planta.....	27
3.5.2. Materia seca de la parte aérea y radicular.....	27
3.5.3. Área foliar	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Altura de planta.....	28
4.1.1. Efectos principales.....	28
4.1.2. Efectos simples	31
4.1.3. Tratamientos en estudio	35
4.2. Peso de la materia seca de la raíz.....	37
4.2.1. Efectos principales.....	38
4.2.2. Efectos simples	41
4.2.3. Tratamientos en estudio	45
4.3. Peso de materia seca del tallo y hojas	47
4.3.1. Efectos principales.....	48
4.3.2. Efectos simples	50
4.3.3. Tratamientos en estudio	56

4.4. Área foliar	59
4.4.1. Efectos principales	59
4.4.2. Efectos simples	62
4.4.3. Tratamientos en estudio	67
V. CONCLUSIONES	71
VI. PROPUESTAS A FUTURO	72
VII. REFERENCIAS.....	73
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Valor como abono de la gallinaza de ponedoras de jaula	16
2. Descripción de los tratamientos en estudio.	22
3. Esquema del análisis de variancia	23
4. Análisis físico - químico del suelo utilizado para el sustrato.	25
5. Análisis químico de la Gallinaza.	26
6. Análisis de variancia para la altura de planta.	28
7. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta del factor fuentes fosfatadas (A)	29
8. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta del factor niveles de Gallinaza (B)	30
9. Análisis de variancia de los efectos simples para la altura de planta.	31
10. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de 5% y 50 % de Gallinaza (B).	32
11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).	34
12. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de café de los tratamientos en estudio.	36
13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los testigos.	37
14. Análisis de variancia para el peso de materia seca de la raíz.	38
15. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas para el peso de materia seca de la raíz.	38
16. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza para el peso de materia seca de la raíz.	40
17. Análisis de variancia de los efectos simples para el peso de materia seca de la raíz. ..	41
18. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de Gallinaza (B).	41
19. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).	44
20. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los tratamientos en estudio.	46
21. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los testigos.	47
22. Análisis de variancia para el peso de materia seca del tallo y hojas.	47

23. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas (A) para el peso de materia seca del tallo y hojas.....	48
24. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza (B) para el peso de materia seca del tallo y hojas.....	49
25. Análisis de variancia de los efectos simples para el peso de materia seca de la raíz. ..	50
26. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de Gallinaza (B).	52
27. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).	55
28. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los tratamientos en estudio.	57
29. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los testigos.	58
30. Análisis de variancia para el área foliar.	59
31. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas (A) para el área foliar.	60
32. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza (B) para el área foliar....	61
33. Análisis de variancia de los efectos simples para el área foliar.	62
34. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas cada nivel de Gallinaza.	63
35. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza en las fuentes fosfatadas.	66
36. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los tratamientos en estudio.	68
37. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el área foliar de los testigos.	69
38. Resultados de la altura de planta de café a los 120 días después de la siembra.	82
39. Resultados del peso de materia seca de tallos y hojas de la planta de café a los 120 días después de la siembra.....	83
40. Resultados del peso de materia seca de la raíz de la planta de café a los 120 días después de la siembra.	84
41. Resultados del área foliar de la planta de café a los 120 días después de la siembra... ..	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Efecto de las fuentes fosfatadas en la altura de planta de café.	29
2. Variación de la altura de planta de café en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.	31
3. Altura de planta de café por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 % y 50 % de Gallinaza.	33
4. Variación de la altura de planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.	35
5. Peso de la materia seca de la raíz por efecto de las fuentes fosfatadas.	39
6. Variación del peso seco de la raíz por planta de café en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.	40
7. Peso de materia seca de la raíz por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 % y 35 % de Gallinaza.	42
8. Peso de la materia seca del tallo y hojas por efecto de tres fuentes fosfatadas.	48
9. Variación del peso seco aéreo por planta en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.	50
10. Peso de materia seca del tallo y hojas de la planta de café por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 %, 20 % y 35 % de Gallinaza.	53
11. Variación del peso seco aéreo de la planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.	56
12. Área foliar por efecto de las fuentes fosfatadas.	60
13. Variación del área foliar por planta en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.	61
14. Área foliar por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 %, 20 %, 35 % y 50 % de Gallinaza.	64
15. Variación del área foliar por planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.	67
16. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Roca Fosfórica.	86
17. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Superfosfato.	86
18. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Fosfato Diamónico.	87
19. Altura de planta por efecto de Gallinaza sin fuente fosfatada.	87
20. Altura de planta por efecto de las fuentes fosfatadas sin Gallinaza.	88
21. Altura de planta de los tratamientos en estudio.	88

RESUMEN

Entre julio y noviembre de 2013, en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se evaluó la eficiencia de tres fuentes fosfatadas (Roca Fosfórica, Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico) en combinación con cuatro niveles de Gallinaza (5 %, 20 %, 35 % y 50 %) para la producción de plantones de café. Se conformaron doce tratamientos mediante la interacción de ambas variables y se añadieron ocho testigos, distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los resultados evidenciaron que la aplicación de Gallinaza al 5 % mejoró notablemente las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato, favoreciendo la solubilidad de las fuentes fosfatadas y optimizando la nutrición de las plantas. Esto se tradujo en un incremento significativo en la altura de los plantones, el peso de materia seca radicular y aérea, así como en el área foliar. Sin embargo, aplicaciones de 35 % y 50 % de Gallinaza redujeron el desarrollo biométrico de las plantas debido al efecto negativo de una elevada concentración de materia orgánica en el sustrato. Finalmente, la Roca Fosfórica mostró el mejor desempeño al combinarse con Gallinaza en niveles de 5 % y 20 %, logrando mayor biomasa y área foliar en comparación con las demás fuentes. En conclusión, la Gallinaza en dosis bajas potencia la eficiencia de las fuentes fosfatadas, siendo la Roca Fosfórica la alternativa más adecuada para mejorar la calidad de los plantones de café.

Palabras clave: café, Gallinaza, fósforo, Roca Fosfórica.

ABSTRACT

Between July and November 2013, at the nursery of the Faculty of Agronomy, National Agrarian University of the Selva, the efficiency of three phosphate sources (Rock Phosphate, Triple Superphosphate, and Diammonium Phosphate) combined with four levels of poultry manure (5 %, 20 %, 35 %, and 50 %) was evaluated for coffee seedling production. Twelve treatments were established through the interaction of both variables, plus eight controls, arranged in a completely randomized factorial design. Results showed that applying poultry manure at 5 % significantly improved the physical, chemical, and biological properties of the substrate, enhancing the solubility of the phosphate sources and optimizing plant nutrition. This led to a notable increase in plant height, root and shoot dry matter weight, and leaf area. Conversely, applications of 35 % and 50 % poultry manure reduced plant biometric traits due to the negative effect of high organic matter concentration in the substrate. Finally, Rock Phosphate showed the best performance when combined with 5 % and 20 % poultry manure, achieving greater biomass and leaf area compared to the other phosphate sources. In conclusion, low doses of poultry manure enhance the efficiency of phosphate sources, with Rock Phosphate being the most suitable alternative to improve the quality of coffee seedlings.

Keywords: coffee, poultry manure, phosphorus, Rock Phosphate.

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos de mayor importancia económica en la región amazónica ya que genera divisas para el Perú, debido a que el 95 % de la producción nacional es destinada a la exportación y el resto, al consumo interno. De acuerdo a MINAGRI (2015), los rendimientos de las zonas productoras del Perú están en promedio en 12 qq/ha/año, esta productividad que se considera baja se debe entre otros a la limitada transferencia de tecnología validada para la producción de café convencional y orgánico, además del manejo inadecuado del cultivo.

Los suelos en donde se cultiva el café en nuestra selva, presentan por lo general bajos niveles de materia orgánica y alta acidez con elevada saturación de Aluminio, debido a la alta intemperización de los suelos tropicales y a los procesos erosivos, con lo que se ven reducidas la disponibilidad de P, Ca y Mg entre otros nutrientes, provocando un crecimiento y desarrollo reducidos y bajo desarrollo radicular impidiendo su translocación, por lo que en este último caso, la planta puede llegar a mostrar síntomas de deficiencia de fósforo.

Se sabe que sólo una pequeña parte del fosforo que es aplicado como fertilizante es aprovechado por la planta, valor conocido como coeficiente aparente de uso y cuya magnitud está muy relacionada con la fuente de fosforo utilizada y las características de los suelos. Como quiera que para la instalación del café se requiere la producción de plántones de buena calidad, se presenta como una alternativa la aplicación de la Gallinaza en combinación con fuentes fosfatadas y de ese modo se pueda corregir la baja disponibilidad del fosforo y, otros nutrientes y estaríamos mejorando las propiedades, físicas, químicas y microbiológicas del suelo a utilizar como sustrato.

De esta manera, el presente trabajo de investigación pretende contribuir en la producción de plántones de café, planteándose los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de cuatro niveles de Gallinaza y tres fuentes fosfatadas en la obtención de plántones de café en fase de vivero.

Objetivos específicos

1. Determinar el mejor nivel de Gallinaza en combinación con tres fuentes fosfatadas en la obtención de plántones de café en vivero.
2. Evaluar el efecto independiente de tres fuentes fosfatadas y cuatro niveles de Gallinaza en la obtención de plántones de café en vivero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia económica del café

Castro et al. (2004) afirman que el café se posiciona entre los principales productos agroexportables del Perú, generando importantes divisas y empleo, ya que se emplean cerca de 24 millones de jornales anuales en su producción y beneficio. Además, la caficultura es la actividad primordial en los valles de la selva peruana, consolidándose como uno de los cultivos alternativos más relevantes frente a la coca. Este cultivo se desarrolla en terrenos accidentados y con pendientes pronunciadas, ubicados entre los 800 y 1850 metros sobre el nivel del mar, en zonas donde las precipitaciones varían entre 800 y 2 500 mm anuales debido a una combinación particular de clima, tipo de suelo, precipitación y radiación solar

Los mismos autores agregan que el Perú, hasta el 2004 se estimaba que el cultivo ocupaba una extensión de 285 000 hectáreas sembradas en diez regiones, de los cuales, Cuzco, Junín, Cajamarca, San Martín y Amazonas representaban el 87,4 % de la producción; asimismo, se consideraba que el 80 % de las unidades agrícolas dedicadas al café, mantienen un sistema tradicional de técnicas rudimentarias heredadas de sus ancestros, conduciendo ello a una baja productividad que se estimaba en 15 quintales/hectárea/año y que se relacionaría con el poco desarrollo tecnológico de las labores agrícolas. Se ha determinado en este sentido, que el 80 % del área sembrada con café (186 400 ha) carece de tecnología y tienen un rendimiento de 11 qq/ha, el 18 % (41 940 ha) trabaja con tecnología media y rendimientos de 28 qq/ha y sólo el 2 % (4 660 hectáreas) trabaja con tecnología de punta y obtienen rendimientos de 60 qq/ha.

Marín (2012) destaca que Perú se ha consolidado como uno de los líderes en la producción de cafés especiales, los cuales se distinguen por sus superiores cualidades físicas y organolépticas, provocando una creciente demanda en el mercado internacional. Por su parte, MINAGRI (2015) señala que la producción nacional de café ha mostrado un comportamiento inestable, alcanzando un récord de 332 000 toneladas en 2011 gracias a los favorables precios internacionales. Sin embargo, a fines de 2012, la aparición de la “roya amarilla” en las hojas y la escasa renovación de cafetales antiguos ocasionaron una disminución en la producción durante tres años consecutivos, tocando fondo en diciembre de 2014 con 209 000 toneladas.

2.2. Característica de la variedad de *C. arabica* en estudio: variedad Catimor

El término "variedad" o "cultivar" en el café, al igual que en otras plantas, se utiliza para referirse a las variaciones naturales que surgen por dos mecanismos: las mutaciones y los híbridos. Las mutaciones implican cambios a veces abruptos inherentes en la descendencia de una planta normal, y al propagarse por semilla, el nuevo rasgo se consolida

permanentemente. En contraste, los híbridos son el resultado de cruces, ya sean naturales o inducidos, entre variedades o especies. Al propagarse por semilla, estos cruces no reproducen de forma uniforme sus características originales, lo que ocasiona una segregación de rasgos. Es relevante destacar que, en *C. arabica*, los híbridos naturales son poco comunes; mientras que en *C. canephora* y *C. liberica*, la mayoría de las poblaciones presentan un origen híbrido.

La variedad Catimor ejemplifica este fenómeno de hibridación, al haberse originado del cruce entre la variedad Caturra conocida por su alta productividad aunque susceptible a la roya y el híbrido Timor, el cual destaca por su resistencia a la roya amarilla pese a su menor productividad. Entre los híbridos resistentes, el Catimor es el que ofrece mayores perspectivas comerciales, ya que se caracteriza por su porte bajo, un tronco de grosor intermedio y un considerable número de ramas laterales, lo que configura una copa medianamente vigorosa y muy compacta (Numa, 1988; citado por Zacarías, 2001). Además, esta variedad se distingue por su alta producción, estatura relativamente reducida y frutos y semillas de gran tamaño (Vergara, 2012).

2.3. Vivero de café

2.3.1. Germinadores

Las semillas de café deben seleccionarse en la misma finca o adquirirse en un centro de producción de semilla certificada. Es fundamental que el germinador se prepare con arena lavada de río, ya que cada semilla contiene un embrión cuyo desarrollo depende de las reservas nutricionales que posee; en otras palabras, mientras mayor sea el tamaño de la semilla, más reservas tendrá para favorecer su crecimiento. El momento ideal para establecer el germinador es aproximadamente siete u ocho meses antes del trasplante al campo, de modo que el proceso coincida con el periodo de invierno. Se utiliza cerca de 1 kg de semilla de café por cada metro cuadrado de germinador, cantidad suficiente para plantar una hectárea en el campo definitivo. Luego de regar las semillas, se cubren con sacos de yute, hojas de plátano u otro material similar; a los 40 días, cuando se observan las cabezas de fosforito emergiendo del sustrato, se eleva la cobertura hasta una altura aproximada de 50 cm. A los 50 días se retira completamente esta sombra, y entre los 55 y 60 días las plántulas, conocidas como fosforitos, están listas para ser trasladadas a la cama de vivero (Castañeda, 1997).

2.3.2. Vivero

El vivero es el lugar donde se trasplantan las plántulas (fosforitos) antes de pasarlas a un lugar definitivo (Castañeda, 1997). Es el lugar donde se producen los plantones, hasta que estos logren de 4 a 6 pares de hojas en un tiempo de 4 a 6 meses (Marín, 2012). Los

viveros se pueden hacer en bolsas perforadas de polietileno negro o directamente en el suelo o camellones con sombrero natural o artificial; se construye un tinglado (techo) que deje pasar 60 % de luz. El distanciamiento de siembra es de 15 x 15 cm. Antes del trasplante se corta la punta de la raíz de la cabeza de fósforo y se trasplantan dos cabezas de fósforo por hoyo, pero si es necesario se aplican abonos foliares después que aparece el segundo par de hojas verdaderas. La sombra se va raleando a partir del segundo mes de tal manera que al final del quinto mes la cama está a plena luz, a los cinco meses de instalada en la cama ya tenemos plántones listos para el trasplante a campo (Castañeda, 1997).

Es fundamental gestionar el vivero de forma integral. Por ejemplo, se recomienda regar tanto en la mañana como en la tarde para mantener una adecuada humedad, realizar el deshierbe de forma mensual y aplicar abono foliar mensualmente cuando se considere necesario. Además, es imprescindible monitorear constantemente la presencia de plagas y enfermedades para efectuar un control oportuno. En cuanto al manejo de la sombra, inicialmente se debe permitir la entrada de aproximadamente un 60 % de luz. A partir del cuarto mes, se expone completamente a los plántones al 100 % de luz hasta que sean trasladados al campo definitivo. La fertilización se realiza tras la aparición del primer par de hojas verdaderas, aplicándose guano de isla (4 g/bolsa) y fosfato diamónico (2 g/bolsa); de ser necesario, se puede efectuar una segunda fertilización cuando aparezca el cuarto par de hojas (Marín, 2012).

2.4. Suelos para el cultivo de café

El café no requiere condiciones extremadamente específicas en cuanto a la naturaleza del sustrato, ya que puede crecer tanto en suelos aluviales con excelentes propiedades químicas como en suelos ácidos con características menos favorables. En este sentido, se recomienda que el contenido óptimo de materia orgánica se sitúe entre el 2,1 % y el 5,7 %, y el fósforo ideal entre 20 y 45 ppm (Quijano, 2008). Por otro lado, según Zavala (2007), un suelo adecuado para el cultivo del café debe contar con más de 7 ppm de P_2O_5 , superar los 300 kg/ha de K_2O , contener entre 0,5 y 2,0 meq/100 de magnesio, disponer de una CICe superior a 7 Cmol/kg, mantener una saturación de aluminio menor al 35% y tener un pH en el rango de 5,5 a 5,8.

Según Molina (1998), el cultivo de café puede tolerar hasta un 40 % de saturación de aluminio aunque también recomienda reducirla hasta un 25 %; de igual forma, Malavolta (1984) citado por Mansilla (2013), hace referencia que un porcentaje de saturación de aluminio menor a 15 % en el suelo, es un nivel bajo, considerando un porcentaje no perjudicial; por su parte Zavala (2007), considera que el porcentaje de saturación de aluminio

para el cultivo de café debe ser menor de 35 %, es decir el suelo usado para el sustrato no presenta un exceso de saturación de aluminio y es posible que no sea perjudicial para las plantas de café en vivero.

2.5. El fósforo

2.5.1. El fósforo en la planta

El fósforo (P) ocupa el segundo lugar entre los 16 nutrientes esenciales para la nutrición vegetal, solo por detrás del nitrógeno. Este nutriente desempeña un rol crucial en procesos fundamentales como la fotosíntesis, la respiración, la transferencia de energía, la transformación de azúcares y almidón, y la translocación de nutrientes (Lee, 2013). Además, el fósforo es un componente indispensable de moléculas vitales, tales como ácidos nucleicos, fosfolípidos, adenosín trifosfato (ATP) y diversas coenzimas. Sin un suministro confiable de este nutriente, las plantas no pueden expresar completamente su potencial genético (Valenzuela, 2010; citado por Yacumal, 2015). En los cultivos, la concentración de fósforo varía entre un 0,1 % y un 0,5 % (Munera y Meza, 2014). De esta cantidad, entre el 30 % y el 40 % se encuentra en forma de ácido fítico, almacenado principalmente en las semillas y constituyendo el principal reservorio del nutriente; un 3 % está presente en los ácidos nucleicos, mientras que el 1 % se encuentra en forma de fosfolípidos. Por último, para que las plantas puedan absorber el fósforo orgánico, este debe ser previamente mineralizado por los microorganismos del suelo (Corrales et al., 2014).

a. Absorción de fósforo por las plantas

Durante la nutrición vegetal, las plantas asimilan el fósforo en forma inorgánica a partir de la solución del suelo. Las formas inorgánicas más fácilmente aprovechables son el ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y el ion fosfato secundario (HPO_4^-), siendo este último más absorbido a medida que aumenta el pH (Berrocal, 2009; citado por Yacumal, 2015).

El fósforo entra a la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz, y su absorción se ve favorecida por la acción de las micorrizas, hongos que se asocian con las raíces de numerosos cultivos. Una vez en la raíz, el fósforo puede almacenarse en esa zona o trasladarse a las partes aéreas. Posteriormente, mediante diversas reacciones químicas, se incorpora a compuestos orgánicos como los ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y moléculas ricas en energía como la adenosina trifosfato (ATF) (Munera y Meza, 2014).

b. Reacciones y transferencia genética del fósforo en la planta

El fósforo es fundamental en la formación de las moléculas que componen los genes y cromosomas. Por ello, juega un rol esencial en los procesos que permiten la transmisión del código genético de una generación a otra, proporcionando el mapa genético que dirige el crecimiento y la reproducción de la planta. Un suministro adecuado de fósforo es indispensable para el desarrollo de nuevas células, ya que facilita la transferencia del material genético de una célula a otra conforme se generan células nuevas. Cabe destacar que se acumula en gran cantidad en las semillas y frutos, donde su presencia resulta crucial para la formación y maduración de la semilla. Además, el fósforo es un componente de la fitina, que constituye la principal forma de almacenamiento de este nutriente en la semilla (Munera y Meza, 2014).

2.5.2. El fósforo en el suelo

El fósforo se destaca como uno de los nutrientes con menor movilidad en el suelo y, por ello, se convierte en un factor limitante para la nutrición de las plantas. Estas solo lo captan en forma inorgánica, disuelta en la solución del suelo, pero su disponibilidad se ve restringida porque forma compuestos fosfatados de baja solubilidad en presencia de minerales, dejándolo en formas inaccesibles para la planta (Munera y Meza, 2014). Es relevante señalar que el fósforo se encuentra tanto en formas orgánicas como inorgánicas, siendo únicamente la forma inorgánica la apta para la absorción. Por otro lado, el fósforo presente en la fracción orgánica que puede representar entre el 30 % y el 85 % del total en el suelo, manifestado en humus y materia orgánica fresca debe ser transformado por ciertos microorganismos (mineralizado) para que pueda ser utilizado por las plantas (Pereira et al., 2011; citado por Yacumal, 2015; Corrales et al., 2014).

En suelos ácidos, la escasez de fósforo frecuentemente constituye el principal obstáculo para el desarrollo de los cultivos. Este problema se origina en lo que se conoce como fijación del fósforo, un proceso que comprende tanto la adsorción superficial en partículas de arcilla y calcio, como la precipitación en forma de minerales insolubles de fosfato de calcio (Leytem y Mikkelsen, 2005; citado por Mendoza et al., 2015). Las plantas absorben la mayor parte del fósforo en forma de ion ortofosfato (H_2PO_4^-), aunque también incorporan el ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}), cuya captación aumenta conforme se eleva el pH, sin que se reduzca internamente en la planta (Balta et al., 2011). Además, el crecimiento de las plantas depende de un suministro continuo de iones o nutrientes desde el suelo; estos iones, provenientes tanto de partículas cristalizadas como de coloides, pasan a la solución, entran en contacto con la superficie de las raíces y son absorbidos por la planta (Zamora, 1998).

El término fósforo lábil se refiere a la fracción disuelta del fósforo en la solución del suelo, que está disponible para ser absorbida por las raíces y, de ese modo, favorecer el crecimiento y desarrollo de la planta. Aunque el suelo posee una cantidad total significativa de fósforo, solo entre un 0,05 % y un 0,10 % se encuentra en solución, lo que requiere un aporte continuo de esta fracción para lograr una nutrición adecuada. Sin embargo, debido a la absorción constante por parte de las plantas y la lenta reposición de este nutriente en el suelo, la concentración de fósforo lábil se mantiene baja (Sánchez y Velázquez, 2008; citado por Yacumal, 2015). Adicionalmente, la unión de los aniones fosfato con otros componentes del suelo contribuye a su baja disponibilidad; en suelos ácidos se forman fosfatos de hierro (FePO_4) o de aluminio (AlPO_4), mientras que en ambientes alcalinos se favorece la formación de fosfatos de calcio, como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Ojekami et al., 2011).

a. Adsorción – desorción

La adsorción es el proceso mediante el cual el fósforo es retenido por los compuestos minerales del suelo. En este mecanismo, los iones de ortofosfato se atraen hacia las cargas positivas de ciertas arcillas, como la caolinita, y también hacia minerales como los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que poseen una mayor capacidad de fijación que otras arcillas. Cabe destacar que este fenómeno aniónico depende del pH del suelo: cuando el pH es ácido, se intensifica la carga positiva en los coloides, lo que incrementa la adsorción. Por el contrario, la desorción es el proceso inverso, en el que el fósforo liberado de estas superficies retorna a la solución del suelo (Yacumal, 2015).

b. Mineralización – Inmovilización

La mineralización es el proceso por el cual el fósforo presente en la materia orgánica se transforma en su forma inorgánica, gracias a la ruptura de los enlaces orgánicos realizada por enzimas llamadas fosfatasas, que son producidas por ciertos microorganismos. En contraste, la inmovilización consiste en la captación activa del fósforo inorgánico por parte de las células microbianas, convirtiéndolo en formas orgánicas de fósforo (Patiño y Sanclemente, 2014).

c. Precipitación – disolución

Durante la precipitación, el fósforo reacciona con cationes como el aluminio, calcio y hierro para formar compuestos de baja o nula solubilidad. Debido a sus propiedades moleculares, estos compuestos se sedimentan como minerales mediante la acción de la gravedad. Por ello, el grado de precipitación está influenciado tanto por la solubilidad de

los minerales resultantes como por la concentración de los iones que intervienen, manteniendo así la solución en equilibrio (Restrepo et al., 2015).

2.6. Uso de fosfatos inorgánicos en la agricultura

En la agricultura se utilizan fosfatos inorgánicos para suministrar el fósforo que requieren las plantas, sin embargo, gran parte de estos compuestos queda inmovilizada en el suelo y, por ello, no es aprovechada en la nutrición vegetal (Lozano et al., 2012). Los fosfatos presentes en los fertilizantes inorgánicos tienden a fijarse en el suelo según el pH y el tipo de arcillas existentes; los iones fosfato (PO_4^-) son altamente reactivos y se asocian con óxidos e hidróxidos hidratados de aluminio y hierro en suelos ácidos, mientras que en ambientes alcalinos se combinan con calcio y magnesio para formar fosfatos insolubles. Esta situación reduce la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos a niveles muy bajos, entre el 10 % y el 25 % (Valenzuela, 2010; citado por Yacumal, 2015).

En el ámbito agrícola, los fertilizantes fosfóricos más empleados provienen de fuentes como los superfosfatos simple y triple, además de los fosfatos amoniacales, tales como el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato diamónico (DAP). No obstante, la disponibilidad de roca fosfórica, utilizada para producir estos compuestos, está disminuyendo a nivel mundial, y la obtención de fosfatos solubles a partir de dicha roca demanda un consumo elevado de energía e insumos, lo que resulta ambientalmente ineficiente. Sumado a estos factores, los altos costos de extracción y el aumento en el precio del petróleo y el gas han provocado la elevación en los precios de los fertilizantes fosforados (Conpes, 2009; citado por Yacumal, 2015).

Aunque se ha considerado la aplicación directa de rocas fosfóricas como una opción más económica para fertilizar los cultivos, se ha comprobado que estas presentan un bajo contenido de fósforo soluble en agua. En consecuencia, dados los altos costos de producción de fertilizantes fosfatados inorgánicos, la limitada eficacia agronómica de la roca fosfórica y la reducida disponibilidad de fósforo en los suelos resulta indispensable explorar alternativas que incrementen la disponibilidad de este nutriente para los cultivos (Patiño, 2010).

En este sentido, se propone que la solubilización de diversas rocas fosfatadas y otras fuentes de fósforo inorgánico, llevada a cabo por microorganismos del suelo, sea una estrategia viable para aumentar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas (Sánchez et al., 2012). Además, el suelo experimenta pérdidas de fósforo a través de procesos como la erosión que puede desplazar entre 0,1 y 10 kg por hectárea al año el lavado o escurrimiento superficial (entre 0,01 y 3,0 kg por hectárea anualmente) y la remoción del fósforo contenido en las plantas durante la cosecha (entre 5 y 60 kg por hectárea al año). Por lo tanto, resulta

necesaria la fertilización fosfórica para compensar la baja capacidad natural de reposición del fósforo en el suelo (Camas et al., 2012).

2.6.1. Factores que influyen en la adsorción de fosfatos en los suelos

a. Influencia de la reacción del suelo en la adsorción de fosfatos

La respuesta del suelo es crucial para determinar cuán solubles son los fosfatos y, en consecuencia, afecta su disponibilidad para las plantas. Por ejemplo, el fosfato dicálcico una forma de fósforo más fácilmente asimilable se encuentra únicamente en un rango de pH entre 6,0 y 7,8. Cuando el pH desciende por debajo de 6,0, se incrementa la solubilidad de los compuestos de hierro y aluminio, lo que favorece la formación de fosfatos insolubles; de manera similar, en suelos con pH superior a 7,5 se forma el fosfato tricálcico, el cual también es insoluble (Teuscher y Adler, 1979; citados por Novelo et al., 1998).

b. Arcillas

La adsorción o fijación de fosfatos se relaciona estrechamente con el tipo de arcilla presente en el suelo. En este sentido, las arcillas de tipo 1:1, como la caolinita, retienen el fosfato con mayor eficacia que las arcillas de tipo 2:1, como la montmorillonita, debido principalmente a la presencia de hidróxidos de hierro y aluminio en los suelos dominados por la primera. Además, a mayor contenido de arcilla se incrementa la capacidad para adsorber fósforo, evidenciando una correlación directa entre estos dos factores (Teuscher y Adler, 1985; citados por Novelo et al., 1998).

c. Materia orgánica

Un incremento en la materia orgánica del suelo potencia su capacidad máxima para adsorber fósforo. Asimismo, el proceso de mineralización de la materia orgánica realizado por enzimas fosfatasas producidas por los microorganismos que se alimentan de los residuos de los cultivos acelera la liberación de fosfatos orgánicos, los cuales se vuelven fundamentales para sostener cultivos de alto rendimiento. Sin embargo, parte de la materia orgánica no se descompone y queda acumulada en el suelo (Tisdale y Nelson, 1991).

d. Óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio

Una porción significativa de la fijación del fósforo se debe a la acción de los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. En suelos ácidos, el aluminio intercambiable se combina con los fosfatos para formar compuestos como $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$. Además, suelos con altos contenidos de hierro y aluminio como los presentes en las familias Ultisols y Oxisols muestran una mayor capacidad de fijación del fósforo, al formar compuestos

P–Al y P–Fe, en comparación con aquellos de menor acidez (Sánchez, 1981; citado por Imhoff et al., 2000).

e. Carbonato de calcio (calcáreo)

La actividad del fósforo disminuye en suelos que presentan una elevada actividad de calcio, abundante CaCO_3 finamente fragmentado y una marcada saturación de la arcilla con calcio. Por ello, en suelos alcalinos o calcáreos la concentración, o actividad, del fósforo en la solución está determinada esencialmente por tres factores: la actividad del calcio, la cantidad y tamaño de las partículas de CaCO_3 libres en el suelo y la proporción de arcilla saturada con calcio (Tisdale y Nelson, 1991).

2.6.2. Microorganismos solubilizadores de fosfatos

Los microorganismos desempeñan un papel crucial en la dinámica del fósforo en el suelo, influyendo en sus ciclos y en su disponibilidad para las plantas a través de varios mecanismos. Primero, participan en la mineralización, transformando el fósforo orgánico en su forma inorgánica. En segundo lugar, facilitan la solubilización, descomponiendo o liberando el fósforo que está unido a compuestos con calcio, hierro o aluminio. Por último, intervienen en la inmovilización, incorporando el fósforo a sus propios tejidos (Osorno, 2013).

Adicionalmente, algunos microorganismos tienen la capacidad de modificar el fósforo, ya sea que provenga de fuentes orgánicas o inorgánicas, dependiendo de la fuente y del mecanismo que empleen. Así, la solubilización del fósforo inorgánico se logra mediante la producción de ácidos orgánicos, mientras que la liberación del fósforo orgánico se facilita a través de enzimas como las fosfatasas (Selvakumar et al., 2013; citado por Yacumal, 2015). Por otra parte, estos organismos se involucran en procesos que alteran la forma del fósforo en el suelo, participando en la solubilización del fosfato inorgánico, en la mineralización del fosfato orgánico y en la inmovilización de este nutriente (Rotaru y Sinclair, 2009; citado por Yacumal, 2015). La solubilización del fósforo inorgánico, por ejemplo, se produce mediante cambios en el pH del entorno, ocasionados por la secreción de ácidos orgánicos (como el cítrico, láctico, glicólico, maleico, etc.) generados por el metabolismo microbiano, y también por la exudación de sustancias quelatantes, como los sideróforos (Pérez et al., 2012).

Finalmente, se ha observado que las bacterias resultan ser más eficientes en los procesos de solubilización del fósforo, representando entre el 1 % y el 50 % en comparación con los hongos solubilizadores, que apenas constituyen entre el 0,1 % y el 0,5 % de la población. Además, diversas comunidades bacterianas presentes en el suelo, pertenecientes a géneros como *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*,

Burkholderia, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium* y *Erwinia*, han demostrado ser muy efectivas para solubilizar fosfatos. La eficacia de estas comunidades depende de las condiciones agroecológicas del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, la concentración de fósforo y las prácticas culturales aplicadas (Paredes y Espinosa, 2009).

2.7. Fuentes a base de fosforo

2.7.1. Roca Fosfórica

Se trata de un fertilizante fosfatado sencillo, cuyo contenido de P_2O_5 oscila entre el 28 % y el 36 %, presentando fórmulas con un 13 % o un 9 % de fósforo (Zapata y Villagarcía, 1982; citado por Quevedo, 1994). En suelos ácidos, este tipo de abono se disuelve paulatinamente con el tiempo, lo que permite liberar fósforo de manera comparable a las fuentes más solubles (Horowitz, 1998; citado por Lemos et al., 2004). Por otro lado, la roca fosfórica se destaca como una alternativa económica, a pesar de que su efecto a corto plazo resulta menor; para su aplicación directa se recomienda que la roca contenga, como mínimo, un 29 % de P_2O_5 y que su granulometría sea fina, de modo que al menos el 60 % del material pase por una malla de 200 micrones (Brenes y Bornemisza, 1992).

Este fertilizante, elaborado a partir de roca fosfórica molida, se utiliza directamente en el suelo y posee un contenido de fósforo total (P_2O_5) del 28 %, acompañado de un 40 % de CaO, un 14 % de SiO_2 y un 3 % de flúor. La presencia de flúor es la responsable de su mayor resistencia al ataque ácido, de su baja solubilidad y de la formación de concentraciones en los depósitos naturales. Además, las fracciones solubles se encuentran recubiertas por una capa que puede disolverse parcial o totalmente bajo condiciones anaeróbicas, mientras que la roca permanece insoluble en solventes como el agua, el ácido cítrico y el citrato de amonio (Fassbender, 1986; citado por Zapata, 2004). En condiciones de acidez, el uso de rocas fosfatadas favorece la liberación en solución del suelo de formas asimilables de fósforo, comportándose de manera similar a los superfosfatos cuando el suelo cuenta con una adecuada proporción de materia orgánica (Guerrero, 1996).

a. Efectos directos e indirectos de la roca fosfórica

El uso de rocas fosfatadas está orientado a mitigar los problemas predominantes en la mayoría de los suelos tropicales, como el elevado contenido de aluminio, que puede alcanzar niveles tóxicos, y la evidente deficiencia de fósforo (Guerrero, 2000). En relación con el impacto de la roca fosfórica, Fassbender (1986), citado por Zapata (2004), destaca que mejora las propiedades físicas del suelo al favorecer la agregación de sus partículas,

optimizar su estructura y mejorar tanto la aireación como el movimiento del agua a través de las fracciones de arena, limo y arcilla. Por otro lado, en el ámbito químico, se señala que, al disolverse, la roca fosfórica reduce la toxicidad del aluminio, manganeso y hierro; regula la disponibilidad de fósforo y de la materia orgánica; eleva los niveles de calcio y magnesio; y potencia las condiciones para la acción de los microorganismos que intervienen en la mineralización de la materia orgánica, la nitrificación y la fijación de nitrógeno.

b. Exceso de la roca fosfórica

Según Buitrón (1976), abusar del uso de la roca fosfórica puede provocar varios efectos negativos. Por ejemplo, un exceso puede inmovilizar o reducir la disponibilidad de elementos esenciales como hierro, magnesio, zinc, boro y cobre, llevándolos incluso a una situación de déficit. Además, emplear únicamente roca fosfórica puede inhibir la absorción de magnesio debido a la interacción antagonista entre el calcio y el magnesio. También se señala que un desequilibrio en la relación entre calcio y potasio podría inducir carencias de este último. Finalmente, cuando hay demasiada cantidad de calcio en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico, este se condensa en un complejo que desplaza al potasio, magnesio y manganeso, causando deficiencias en estos nutrientes.

c. Efecto de la roca fosfórica con otras fuentes fosfatadas

Desde hace cerca de 50 años se han realizado experimentos a nivel mundial con fertilizantes fosforados de distinta solubilidad. Estos estudios han demostrado que los fosfatos solubles, como los fosfatos amónicos y el superfosfato triple, rinden mejor en suelos con un pH neutro a ligeramente alcalino. En contraste, la eficiencia de los fosfatos de roca guarda una relación inversa con el pH: son menos efectivos en medios alcalinos y muestran un desempeño superior en suelos ácidos. Las rocas fosfóricas, debido a su baja reactividad, necesitan reaccionar con ácidos para incrementar su solubilidad, principio que se aplica en la industria para producir superfosfatos solubles a partir de estas rocas, mientras que en suelos ácidos esta transformación ocurre de forma natural. En Perú, desde la década de los 70 se han llevado a cabo ensayos utilizando roca fosfatada en suelos tanto alcalinos como ácidos, especialmente en cultivos de papa y maíz, encontrándose que su comportamiento en suelos ácidos es comparable al de los fosfatos solubles, sobre todo cuando se emplean o se mezclan con materia orgánica que aumenta la presencia de ácidos orgánicos en el suelo (Villagarcía, 1990).

2.7.2. Fosfato Diamónico (DAP)

El fosfato diamónico, o DAP, es el fertilizante fosfatado más común en el mundo. Se elabora a partir de dos componentes básicos de la industria y se destaca por su elevado aporte de nutrientes y sus excelentes características físicas (IPNI, 2017). Este abono concentra un 18 % de nitrógeno y un 46 % de fósforo (P_2O_5), convirtiéndolo en uno de los fertilizantes con mayor densidad nutricional, ya que alcanza niveles de concentración de nutrientes entre el 62 % y 64 %. Además, el fósforo presente en los fosfatos de amonio es completamente soluble en agua. Bajo condiciones normales, solo entre el 20 % y el 30 % del fósforo aplicado se absorbe durante un ciclo de crecimiento. Sin embargo, la eficiencia aumenta al combinar la aplicación de fósforo y nitrógeno, ya que al absorber nitrógeno en forma de amonio, las plantas acidifican el entorno de la raíz, facilitando así la disolución y liberación del fósforo del fertilizante (CISA AGRO, 2017).

a. Producción

Los fertilizantes de fosfato de amonio hicieron su aparición en los años 60, y el DAP rápidamente se consolidó como el producto más destacado de esta categoría. Se fabrica mediante una reacción controlada entre ácido fosfórico y amoníaco. El fosfato diamónico es apreciado por su facilidad de manejo y buena conservación, y su formulación estándar es 18-46-0. Para producir una tonelada de DAP se requieren alrededor de 1,5 a 2 toneladas de roca fosfórica, 0.4 toneladas de azufre para ayudar a disolver la roca y 0.2 toneladas de amoníaco (IPNI, 2017).

b. Uso agrícola

La aplicación de fósforo en la fertilización es fundamental, ya que no solo repone los niveles de este nutriente en el suelo, sino que también contribuye a obtener plantas más saludables y favorece el rápido desarrollo y crecimiento radicular, lo que las dota de mayor resistencia frente a la sequía (FINARVIS, 2017). El DAP destaca como una fuente sobresaliente de fósforo (P) y nitrógeno (N) por su alta solubilidad, lo que permite que se disuelva de forma ágil en el suelo y libere rápidamente fosfato y amonio disponibles para las plantas, asegurando una respuesta inmediata a la fertilización. Un aspecto relevante del DAP es el ambiente alcalino que se forma alrededor de sus gránulos durante la disolución, ya que ésta conlleva la liberación de amonio; sin embargo, el amoníaco volátil que se desprende puede dañar las raíces y las plántulas cuando el pH del suelo supera 7, situación típica en el entorno inmediato de los gránulos en proceso de disolución (IPNI, 2017).

El Fosfato Diamónico genera un efecto arrancador en los cultivos de gran extensión, y debido a su alto contenido en nitrógeno, resulta especialmente ventajoso para aquellos cultivos que demandan este nutriente en las primeras etapas de crecimiento. Su elevada solubilidad en agua garantiza una respuesta rápida en la aplicación de nutrientes, mientras que el nitrógeno contenido ayuda a cubrir parcialmente las necesidades del cultivo durante el período inicial. Aunque los fosfatos amónicos tienen una reacción residual ácida, tras la reacción inicial alcalina, esta característica los hace muy apropiados para suelos de características neutras o ligeramente básicas (FINARVIS, 2017).

Para evitar posibles daños en las plántulas, es necesario tener precaución y no depositar grandes cantidades concentradas de DAP cerca de la zona de germinación. El amonio presente en el DAP se convierte gradualmente en nitrato por acción bacteriana en el suelo, lo que provoca una posterior disminución del pH. Por ello, el incremento inicial del pH en el área de influencia de los gránulos se considera solo un efecto temporal, aunque puede afectar las reacciones locales entre fosfatos y materia orgánica en el suelo (IPNI, 2017).

2.7.3. Superfosfato Triple de Calcio

El Súper Fosfato de Calcio (SFT) se considera principalmente una fuente de fósforo y, a la vez, cumple la función secundaria de aportar calcio, presentándose como fosfato de calcio. Aunque su solubilidad es menor en comparación con el DAP, las plantas absorben aproximadamente entre el 80% y 90% del fósforo disponible, gracias a las variaciones en el pH y la temperatura del suelo (FERTINOVA, 2017). Por otro lado, el superfosfato triple fue uno de los primeros fertilizantes con alto contenido de fósforo que se utilizó de manera extensiva en el siglo XX. Técnicamente, se le conoce como fosfato diácido de calcio o fosfato monocálcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$. Aunque es una fuente excepcional de fósforo, su uso ha disminuido conforme han surgido otros fertilizantes fosfatados más populares (IPNI, 2016).

a. Producción

La elaboración del SFT es un proceso relativamente sencillo. Para obtener la versión sin granular, se hace reaccionando roca fosfórica molida con ácido fosfórico líquido. En el caso del SFT granulado, se sigue un procedimiento similar, pero se utiliza la suspensión resultante para recubrir pequeñas partículas que, de esta forma, se transforman en gránulos del tamaño deseado. En ambos procesos, el producto se deja curar durante varias semanas para que las reacciones químicas se completen de manera paulatina (IPNI, 2016)

b. Uso agrícola

El Superfosfato Triple de Calcio posee múltiples beneficios agronómicos que lo han hecho destacar como fuente de fósforo durante muchos años. Es el fertilizante sólido sin nitrógeno que concentra el mayor porcentaje de fósforo, ya que más del 90 % del P presente es soluble en agua, lo que lo hace rápidamente accesible para las plantas. Al disolverse los gránulos a medida que absorbe la humedad del suelo, se genera una solución concentrada que se torna ácida. Además, aporta un 15 % de calcio, enriqueciendo así la nutrición vegetal (IPNI, 2016). Este fertilizante se caracteriza por su excelente comportamiento físico, lo que le permite utilizarse en suelos con diferentes niveles de pH sin provocar una acidificación a largo plazo. Al no generar fitotoxicidad por amoníaco, resulta ideal para la fertilización de forrajes y leguminosas. Aunque puede combinarse con otros fertilizantes, se debe tener cuidado, ya que presenta incompatibilidades químicas con el DAP y la urea en mezclas físicas, dependiendo del tiempo de procesamiento, almacenamiento y control de humedad (FERTINOVA, 2017).

Un uso relevante del SFT ocurre cuando se mezclan varios fertilizantes sólidos para ser aplicados al voleo sobre la superficie o en bandas concentradas debajo de ella. También se recomienda para cultivos de leguminosas, como la alfalfa o los frijoles, donde no es necesaria una fertilización nitrogenada adicional que complemente la fijación biológica de nitrógeno. Es importante destacar que, en condiciones normales, solo entre el 20 % y el 30 % del fósforo aplicado es absorbido durante un ciclo de crecimiento, y su alta solubilidad en agua asegura una rápida respuesta de la fertilización (IPNI, 2016).

2.8. Gallinaza

La gallinaza es un fertilizante orgánico de alta calidad que se obtiene al combinar las heces de las aves de corral con el material utilizado como cama, habitualmente cascarilla de arroz o viruta, en pequeñas proporciones mezcladas con cal, que se dispone en el suelo. Este abono es muy valorado por ser concentrado y de rápida acción (Yagodín et al., 1986; citado por Cantarero y Martínez, 2002). En comparación con otros estiércoles, posee un contenido nutricional superior, destacándose por su elevado aporte de nitrógeno, niveles moderados de fósforo y baja cantidad de potasio, lo cual lo convierte en la opción ideal para la fertilización de cultivos (Castañeda, 1997).

Su mayor contribución radica en mejorar la fertilidad del suelo al proporcionar no solo nitrógeno, sino también otros nutrientes esenciales como fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. No obstante, el nitrógeno es el nutriente que está presente en mayor proporción. Además, la cascarilla de arroz que forma parte de la mezcla ayuda a optimizar las propiedades físicas del suelo, facilitando la aireación, la retención de

humedad y la movilización de los nutrientes. Esto, a su vez, favorece un incremento en la actividad macro y microbiológica y estimula el desarrollo uniforme y robusto del sistema radicular de las plantas; su riqueza en sílice también refuerza la resistencia de estas frente a insectos y microorganismos (Restrepo, 1998; citado por Cantarero y Martínez, 2002).

2.8.1. Valor de la gallinaza

Si se pretende utilizar la gallinaza como fertilizante u otro propósito, es fundamental tener en cuenta que su composición varía según el momento de su recolección y la forma en que se almacena, como se detalla en la Tabla 1. La gallinaza en estado seco presenta una mayor concentración de nutrientes, lo cual depende del tiempo y la velocidad con la que se seca, así como de sus niveles de N, P (P_2O_5) y K (K_2O). Este aspecto resulta especialmente importante en el caso del nitrógeno y el fósforo, ya que, además de su valor como abono, cuando se aplica en zonas con una alta densidad animal, estos elementos pueden comportarse como contaminantes del suelo (Estrada, 2005).

El principal beneficio de la gallinaza, independientemente de su forma, radica en su aporte de materia orgánica al suelo, lo que incrementa la capacidad para retener agua y enriquece el terreno con nutrientes esenciales para las plantas. Utilizarla como abono es una opción ventajosa porque supone un proceso de reciclaje natural y, a su vez, resulta económico; sin embargo, la aplicación de gallinaza fresca puede generar efectos negativos tanto en el suelo como en las plantas, por lo que se recomienda someterla a un procesamiento previo (Simpson, 1991; citado por Estrada, 2005). Además, Benzing (2001), citado por Mullo (2012), indica que el uso de estiércol fresco puede provocar un considerable incremento en la actividad biológica del suelo.

Tabla 1. Valor como abono de la gallinaza de ponedoras de jaula

Tipo	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	Ácido fosfórico (%)	Potasio (%)
Fresca	<70 - 80>	<1.1 - 1.6>	<0.9 - 1.4>	<0.4 - 0.6>
Acumulada unos meses	<12 - 25>	<1.4 - 2.1>	<1.1 - 1.7>	<0.7 - 1.0>
Desecada industrialmente	<7 - 15>	<3.6 - 5.5>	<3.1 - 4.5>	<1.5 - 2.4>

Fuente: Castelló y Col (1989), citado por Estrada (2005).

Uno de los nutrientes con mayor variabilidad es la proteína cruda, la cual se ve afectada por la humedad presente en el material, ya que las bacterias convierten el ácido úrico en amoníaco, que posteriormente se evapora. Además, la gallinaza es notable por su elevado contenido de calcio, que promedia un 6 % y en ocasiones puede alcanzar entre el 10 y el 12 %. Al aplicarla, la gallinaza mejora los suelos degradados al aportar una amplia variedad de nutrientes y, en suelos ácidos, ayuda a estabilizar las condiciones químicas, ofreciendo además una mayor cantidad de cal en comparación con otros abonos orgánicos (Hernández y Cruz, 1993).

2.8.2. La materia orgánica de la Gallinaza

La fertilidad de los suelos en la selva se debe principalmente a su elevado contenido de materia orgánica; un color oscuro en el suelo es indicativo de su alta fertilidad, ya que refleja la presencia de esta materia. Al referirnos a la materia orgánica, hablamos de su capacidad para aportar una gran cantidad de cargas negativas al complejo de intercambio de nutrientes, lo que mejora la estructura del suelo, su capacidad para retener agua y, en general, sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En las áreas selváticas, tanto en suelos clasificados como Alfisols como Inceptisols, los niveles de materia orgánica en las zonas de cultivo de café suelen estar por debajo del 5 % (Castañeda, 1997).

El abono en forma pura es muy concentrado y debe emplearse en dosis pequeñas para evitar dañar las plantas. Sin embargo, ciertos fertilizantes avícolas contienen un alto porcentaje de residuos orgánicos, como viruta o cascarilla de arroz, lo que permite aplicarlos en cantidades mayores sin riesgo. Estudios han demostrado que entre el 30 % y el 60 % del nitrógeno contenido se libera y se vuelve disponible para las plantas durante las primeras seis semanas después de su aplicación. Además, el potasio en la gallinaza se encuentra en forma de sales inorgánicas derivadas de las excreciones, lo que facilita su disponibilidad para la nutrición vegetal (Tisdale y Nelson, 1991).

2.9. Generalidades sobre la acidez de los suelos

La capacidad de reacción del suelo es fundamental debido a su gran influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Aunque el concepto de pH se desarrolló originalmente para soluciones, sus fundamentos teóricos permiten su aplicación también en el análisis de las suspensiones coloidales presentes en el suelo (Buckman y Brady, 1973; citado por Silva et al., 2000). La acidez en los suelos se vuelve frecuente en regiones con precipitaciones intensas, ya que las lluvias arrastran cantidades significativas de bases intercambiables de las capas superficiales. Este proceso conduce a que los iones acidificantes,

como H y Al, reemplacen a dichos iones, fenómeno conocido como “acidificación progresiva”, particularmente observable en suelos de áreas tropicales húmedas. En muchas de estas zonas, los suelos presentan pH menores a 5, lo cual limita el crecimiento de los cultivos debido a la toxicidad ocasionada por el aluminio y/o el manganeso (Sánchez, 1981; citado por Imhoff et al., 2000).

2.9.1. Alternativas para suelos ácidos

Una estrategia para manejar suelos ácidos consiste en elegir especies que se han adaptado a las restricciones impuestas por este tipo de suelos. La idea fundamental es utilizar plantas aptas para las condiciones propias del suelo y del clima, en lugar de alterar el suelo para ajustarlo a las necesidades de la planta (Fassbender, 1986; citado por Zapata, 2004).

Existen cultivos tropicales que prosperan en ambientes con pH bajo; la piña es el ejemplo más representativo, aunque también el café, el té, el caucho y la yuca toleran concentraciones elevadas de aluminio intercambiable. Muchas de estas especies han desarrollado, a lo largo de su evolución en suelos ácidos, genes que les otorgan resistencia a altos niveles de aluminio (Sánchez, 1981; citado por Imhoff et al., 2000). Otra opción para tratar los suelos ácidos es la aplicación de roca fosfórica de baja reactividad y bajo costo, ya que el fósforo es uno de los insumos más costosos en el establecimiento y mejora de sistemas de cultivo en suelos tropicales extremadamente ácidos con alta capacidad fijante de este nutriente (Tisdale y Nelson, 1991). Estas rocas reaccionan con los ácidos del suelo, aumentando su solubilidad, principio que también se utiliza en la industria para producir superfosfatos solubles a partir de rocas fosfóricas.

Cabe destacar que pocas especies cultivadas soportan altas concentraciones de aluminio intercambiable, pero al utilizar variedades resistentes, la eficacia de la roca fosfórica puede equipararse a la de los superfosfatos. Además, la disponibilidad del fósforo contenido en rocas fosfatadas molidas depende del ciclo vegetativo del cultivo, de modo que los cultivos de mayor duración aprovechan en mayor proporción este fósforo. Se ha comprobado asimismo el excelente rendimiento de la roca fosfórica en estudios realizados con un Ultisol en Yurimaguas y un Alfisol en la provincia de Chanchamayo, en cultivos de papa (Villagarcía, 1990).

2.10. Trabajos similares

Iglesias (2002) llevó a cabo un estudio en un suelo ácido tipo Inceptisol para examinar el efecto de tres dosis distintas de roca fosfórica y gallinaza durante los primeros ocho meses después del trasplante definitivo de café de la variedad Catimor. Se evidenció que el uso

de 6 y 9 t/ha de roca fosfórica provocó incrementos estadísticamente significativos en la altura de la planta, en el rendimiento de materia seca y en la absorción de N, P y K, en comparación con la dosis de 3 t/ha. Por otro lado, aunque la aplicación de gallinaza mejoró esos mismos parámetros frente al tratamiento sin aditivos, entre las dosis analizadas no se detectaron diferencias significativas. Además, ni los diferentes niveles de roca fosfórica ni de gallinaza produjeron cambios en los contenidos de Ca y Mg.

En Chanchamayo, Julca et al. (2002) investigaron cómo inciden diversos sustratos orgánicos en el crecimiento de almácigos de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Caturra Amarillo. Los tratamientos que mostraron mejores resultados en la mayoría de los parámetros evaluados (altura, diámetro, peso fresco y peso seco) fueron: T2 (40 % gallinaza y 60 % tierra de bosque primario), T8 (40 % de materia orgánica de bosque primario combinada con 60 % de tierra de bosque primario), T9 (60 % de materia orgánica de bosque primario con 40 % de tierra) y T10 (100 % tierra de bosque primario), destacándose que el índice de vigor fue notablemente superior en el tratamiento T10. Sin embargo, el T2 se vislumbró con ventajas adicionales, ya que ofrece la posibilidad de disminuir la contaminación ambiental y evita la extracción de materia orgánica y suelo del bosque tropical.

Ávila et al. (2007) evaluaron la producción de almácigos de café en el departamento de Santander utilizando diversas fuentes de materia orgánica y fósforo. Entre sus conclusiones se destacan: a) El compost elaborado a partir de gallinaza y pollinaza constituye una fuente efectiva de abono orgánico para potenciar el crecimiento y desarrollo durante la etapa de almácigo. b) Las mezclas que combinan 20 % de gallinaza con 80 % de suelo o 25 % de pollinaza o lombrinaza con 75 % de suelo generaron los mayores aumentos en el peso seco de las plantas en esta etapa. c) Los beneficios de los abonos orgánicos dependen de su completa descomposición; deben ser inodoros, químicamente estables y tener las características físicas, como una humedad adecuada, que aseguren una mezcla homogénea con el suelo, ya que utilizar materia en descomposición parcial puede perjudicar el crecimiento. d) Aplicar fosfato diamónico en dosis que superen los 4 gramos por planta en suelos ácidos puede ocasionar efectos negativos en el desarrollo radicular debido a su efecto residual ácido, por lo que en esos casos resulta preferible el uso de superfosfato triple de calcio.

Ávila et al. (2010) analizaron el efecto combinado de tres fuentes de abono orgánico (gallinaza, pollinaza y lombrinaza) y dos fuentes de fósforo (fosfato diamónico, DAP, y superfosfato triple, SFT) sobre el crecimiento de plantas de café en Santander. Se observó que, cuando las plantas se desarrollaron en suelo sin añadir fósforo, el peso seco no se vio

afectado, lo que se atribuyó al contenido natural de este nutriente en el suelo (14 mg/kg). Los incrementos más notables en el peso seco se lograron al mezclar el suelo con gallinaza o pollinaza en una proporción de 3:1 (25 %), sin que la aplicación adicional de fósforo diera efecto. Además, el uso de lombrinaza mostró efectos negativos en el desarrollo, atribuibles a una posible toxicidad derivada de su descomposición incompleta; este efecto se redujo al aplicar fosfato diamónico. Por último, la incorporación de abono orgánico aumentó la humedad y el pH del sustrato, mientras que la aplicación de DAP profundizó la acidez del suelo y dosis altas de SFT tendieron a elevar el pH.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación política y geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el vivero del Fundo Agrícola N° 1 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria (UNAS) de la Selva, ubicada geopolíticamente en la región de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de Rupa - Rupa, cuyas coordenadas UTM son:

Longitud este	:	0410645 m E.
Latitud norte	:	8983244 m N.
Altitud	:	647,00 msnm.
Temperatura media	:	24,40°C.
Humedad relativa media	:	86,00 %
Precipitación total anual	:	3 328 mm.

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetativo e insumos

- Semilla de café variedad “Catimor”, gallinaza, Roca Fosfórica, Superfosfato Triple de Calcio, Fosfato Diamónico, Tebucanozole 250 g/L - EW. (Folicur®), Cipermetrina 200 g/L (Arrivo® – EW), Balanza digital para el peso de la biomasa de las muestras extraídas.

3.3. Método estadístico

3.3.1. Componentes en estudio

a. Fuentes fosfatadas (A)

a1 = Roca Fosfórica (20 % P_2O_5).

a2 = Superfosfato Triple de Calcio (46 % P_2O_5).

a3 = Fosfato Diamónico (46 % P_2O_5).

b. Niveles de Gallinaza (B)

b1 = 5 %.

b2 = 20 %.

b3 = 35 %.

b4 = 50 %.

Testigos adicionales

T₁₃ = Tierra agrícola, sin Fósforo, sin Gallinaza.

T₁₄ = Roca Fosfórica.

T₁₅ = Superfosfato Triple de Calcio.

T₁₆ = Fosfato Diamónico.

T₁₇ = 5 % de Gallinaza.

T₁₈ = 20 % de Gallinaza.

T₁₉ = 35 % de Gallinaza.

T₂₀ = 50 % de Gallinaza.

Dosis de fósforo (g de P₂O₅/kg sustrato)

3.00 g P₂O₅.

Cultivar de café

Catimor

3.3.2. Tratamientos en estudio

Las combinaciones de los niveles dieron los siguientes tratamientos:

Tabla 2. Descripción de los tratamientos en estudio.

Clave	Tratamientos		Dosis (g P ₂ O ₅ /kg sustrato)
	Interacción (A x B)	Descripción	
T ₁	a ₁ x b ₁	Roca Fosfórica + 5 % de Gallinaza	3,00
T ₂	a ₁ x b ₂	Roca Fosfórica + 20 % de Gallinaza	3,00
T ₃	a ₁ x b ₃	Roca Fosfórica + 35 % de Gallinaza	3,00
T ₄	a ₁ x b ₄	Roca Fosfórica + 50 % de Gallinaza	3,00
T ₅	a ₂ x b ₁	Súper Triple de Calcio + 5 % de Gallinaza	3,00
T ₆	a ₂ x b ₂	Súper Triple de Calcio + 20 % de Gallinaza	3,00
T ₇	a ₂ x b ₃	Súper Triple de Calcio + 35 % de Gallinaza	3,00
T ₈	a ₂ x b ₄	Súper Triple de Calcio + 50 % de Gallinaza	3,00
T ₉	a ₃ x b ₁	Fosfato Diamónico + 5 % de Gallinaza	3,00
T ₁₀	a ₃ x b ₂	Fosfato Diamónico + 20 % de Gallinaza	3,00
T ₁₁	a ₃ x b ₃	Fosfato Diamónico + 35 % de Gallinaza	3,00
T ₁₂	a ₃ x b ₄	Fosfato Diamónico + 50 % de Gallinaza	3,00
T ₁₃	xxx	Tierra agrícola	0,00
T ₁₄	xxx	Roca Fosfórica	3,00
T ₁₅	xxx	Superfosfato Triple de Calcio	3,00
T ₁₆	xxx	Fosfato Diamónico	3,00
T ₁₇	xxx	5 % de Gallinaza	0,00
T ₁₈	xxx	20 % de Gallinaza	0,00
T ₁₉	xxx	35 % de Gallinaza	0,00
T ₂₀	xxx	50 % de Gallinaza	0,00

3.3.3. Diseño Experimental

Se uso un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial de 3A x 4B, lo que resultó en un total de doce tratamientos, además de ocho testigos adicionales y cinco repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo conformada

por cinco plantones. Para el análisis de los datos, se aplicó un análisis de varianza y la comparación de medias entre los tratamientos se realizó utilizando la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \dots(1)$$

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la unidad experimental obtenida en la k-ésima repetición de la j-ésimo niveles de Gallinaza con la i-ésimo fuentes fosfatadas.

μ = Media poblacional general.

α_i = Efecto de la i-ésima fuente fosfatada.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel de Gallinaza.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la i-ésima fuente fosfatada con el j-ésimo nivel de Gallinaza.

ϵ_{ijk} = Efecto del error aleatorio asociado a dicha observación Y_{ijk} .

Para:

i = 1, 2, 3, fuentes fosfatadas.

j = 1..., 4, niveles de Gallinaza.

k = 1..., 5, repeticiones.

Tabla 3. Esquema del análisis de variancia

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	19
Factorial	11
A (Fuentes fosfatadas)	2
B (Niveles de Gallinaza)	3
A x B	6
Testigos	7
Factorial vs Testigos	1
Error experimental	80
Total	99

3.3.4. Características del campo experimental

a. Dimensiones del vivero experimental

Largo	15.00 m
Ancho	01.20 m
Área total	36.00 m ²

b. Bolsas

Número de bolsas por repetición	5
Número total de bolsas por tratamiento	25
Número de total de bolsas del experimento	500
Número de bolsas a evaluarse por repetición	5
Número de bolsas a evaluarse en el experimento	500
Número de camas	1

3.4. Metodología

3.4.1. Obtención del suelo y materia orgánica

La tierra agrícola fue extraída de la capa superficial de 0 a 20 cm de profundidad, de un suelo residual con características ácidas, proveniente del Bosque Reservado de la UNAS. La gallinaza, obtenida de granjas avícolas, pasó por un proceso de descomposición previo a su aplicación.

3.4.2. Germinador y preparación del sustrato

Para el germinador de 25 cm de espesor, se empleó arena fina de río como sustrato para sembrar las semillas de café. Las plántulas permanecieron en este ambiente hasta alcanzar el estado de mariposa, momento en el cual fueron trasplantadas a bolsas de polietileno de 4 x 7 pulgadas, las cuales fueron llenadas con los sustratos preparados según los tratamientos evaluados (Tabla 2).

3.4.3. Análisis físico-químico del suelo

La tierra agrícola utilizada en la preparación del sustrato fue analizada en el Laboratorio de Suelos de la UNAS, Tingo María, antes de la incorporación de gallinaza y fuentes fosfatadas. Los resultados de este análisis se detallan en la Tabla 4. El suelo presentó una textura fina y un pH de 4,53, clasificado como muy fuertemente ácido (4,50 a 5,00) según Mansilla (2013). No obstante, mostró bajos niveles de saturación de acidez cambiante (12,23 %) y aluminio cambiante (7,54 %), valores que son tolerables para el cultivo de café. Además, se obtuvo un contenido medio de M.O y P disponible, mientras que el nivel de K disponible fue bajo.

Tabla 4. Análisis físico - químico del suelo utilizado para el sustrato.

Elementos	Contenido	Método empleado
Análisis físico		
Arena (%)	31.68	Hidrómetro
Arcilla (%)	41.04	Hidrómetro
Limo (%)	27.28	Hidrómetro
Clase textural	Arcilloso	Triángulo textural
Análisis químico		
pH (1:1) en agua	4,53	Potenciómetro
MO (%)	2,04	Walkey - Black
N total (%)	0,10	% MO x 0.05
Fósforo disponible (ppm)	12,10	Olsen modificado
K ₂ O disponible (kg/ha)	229,24	Ácido sulfúrico 6 N
Ca cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	4,87	Acetato de Amonio 1N
Mg cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,79	Acetato de Amonio 1N
Al cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,49	Yuan
H cambiables (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,30	Yuan
CICe	6,44	Suma de cationes
Bases cambiables (%)	87,77	PSB = BCx100/CIC
Acidez cambiable (%)	12,23	PSAC=ACx100/CIC
Saturación del aluminio (%)	7,54	PSAI=Alx100/CIC

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María.

3.4.4. Análisis químico de la Gallinaza

Según el análisis químico del abono orgánico gallinaza (Tabla 5), los valores en base seca de nitrógeno, P₂O₅, calcio, magnesio, K₂O y sodio fueron de 2,63 %, 10,40 %, 6,61 %, 0,76 %, 1,82 % y 0,37 %, respectivamente, destacando el fósforo como el elemento de mayor concentración. Además, los niveles de cobre, hierro, zinc y manganeso fueron de 28.00, 3600.00, 125.00 y 317.00 ppm, respectivamente.

Tabla 5. Análisis químico de la Gallinaza.

Elementos	Contenido
Ceniza en base seca (%)	33,20
Materia orgánica en base seca (%)	66,80
Humedad (%)	10,57
Materia seca (%)	89,43
N (base seca) (%)	2,63
P ₂ O ₅ (%)	10,40
Ca (%)	6,61
Mg (%)	0,76
K ₂ O (%)	1,82
Na (%)	0,37
Cu (ppm)	28,00
Fe (ppm)	3 600,00
Zn (ppm)	125,00
Mn (ppm)	317,00

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María.

3.4.5. Preparación del sustrato y llenado de bolsas

Para la preparación del sustrato, la tierra agrícola fue tamizada con una malla de 0.5 cm y posteriormente mezclada con gallinaza en proporciones determinadas según los tratamientos evaluados (Tabla 2). La aplicación de fuentes de fósforo se realizó a una dosis de 3 g de P₂O₅ por kilogramo de sustrato, lo que equivale a 15 g de roca fosfórica, 7 g de fosfato diamónico y 7 g de superfosfato triple por kilogramo de mezcla. La cantidad de gallinaza utilizada varió en función de su proporción con la tierra agrícola y la fuente fosfatada, con valores de 50, 200, 350 y 500 g para concentraciones del 5 %, 20 %, 35 % y 50 %, respectivamente. Una vez preparado, el sustrato fue distribuido en bolsas de polietileno y dispuesto de manera aleatoria en las camas del vivero.

3.4.6. Repique a bolsas

El trasplante se efectuó cuando las plántulas alcanzaron el estado de “mariposa”, entre los 45 y 50 días de edad. Se realizó un orificio de 8 a 10 cm de profundidad en la

parte central de cada bolsa utilizando una estaca. Las raíces excesivamente largas fueron recortadas para evitar deformaciones. Finalmente, el sustrato se compactó para eliminar bolsas de aire y se aplicó riego hasta alcanzar la capacidad de campo.

3.4.7. Manejo del vivero

Durante la ejecución de la tesis se hicieron las siguientes acciones:

- Control de malezas: se realizó manualmente de forma periódica.
- Control de insectos: como medida preventiva se llegó a aplicar el insecticida Arrivo® (Cipermetrina) a la dosis de 0,75 mL/L de agua.
- Control de enfermedades: como medida preventiva se aplicó el fungicida Folicur® (Tebucanazole) a dosis de 1,5 mL/L de agua.
- Riego: se hizo en función a las necesidades de las plantas en el experimento, tratando de mantener el suelo en su capacidad de campo.

3.5. Características evaluadas

3.5.1. Altura de planta

La evaluación de la altura de las plantas se realizó al finalizar el experimento, seleccionando cinco plantas por repetición. La medición se efectuó desde la base del tallo hasta la yema terminal visible, asegurando la precisión en la recopilación de los datos.

3.5.2. Materia seca de la parte aérea y radicular

Al finalizar el experimento, las plantas fueron extraídas y sus raíces separadas del suelo mediante un lavado con agua. Luego, se cortaron a la altura de la base del tallo, se secaron en una estufa a 70 °C por 48 horas y se pesaron en una balanza analítica hasta obtener un peso constante.

3.5.3. Área foliar

El área foliar se determinó al final del experimento en cinco plantas por tratamiento mediante el método de pesadas. Se dibujaron las siluetas de las hojas en papel, se recortaron y pesaron en conjunto. Luego, se pesó un fragmento de 100 cm² del mismo papel y, mediante una regla de tres simple, se calculó el área foliar de cada tratamiento

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de planta

El análisis de variancia (ANVA) para la altura de planta a los 120 días después de la siembra (Tabla 6) reveló diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. Se encontraron diferencias significativas entre los niveles de los factores fuentes fosfatadas (A) y niveles de Gallinaza (B), así como en la interacción entre ambos factores (A x B) y los tratamientos testigos. No se hallaron diferencias estadísticas entre el promedio de todas las combinaciones y el promedio de los testigos. El coeficiente de variabilidad (CV) de 11,58 % indicó una buena homogeneidad entre las unidades experimentales.

Tabla 6. Análisis de variancia para la altura de planta.

Fuente de variación	GL	SC	CM	SIG
Tratamientos	19	919,35	48,39	AS
Factorial	11	457,90	41,63	AS
A (Fuentes fosfatadas)	2	16,44	8,22	AS
B (Niveles de Gallinaza)	3	411,88	137,29	AS
AxB	6	29,58	4,93	AS
Testigos	7	459,74	65,68	AS
Factorial vs Testigos	1	1,71	1,71	NS
Error Experimental	80	107,27	1,34	
Total	99	1026,62		
C.V (%)	11,58			

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

4.1.1. Efectos principales

Según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta a los 120 días (Tabla 7), el Superfosfato Triple de Calcio mostró una altura significativamente mayor en comparación con la Roca Fosfórica y el Fosfato Diamónico. Esto podría atribuirse a su alto contenido de fósforo hidrosoluble, ya que más del 90 % de su fósforo es soluble en agua (IPNI, 2017), lo que lo hace rápidamente disponible para las plantas. Además, el fósforo desempeña un papel clave en el metabolismo vegetal al facilitar el intercambio de energía y acelerar

reacciones bioquímicas. Por otro lado, la altura obtenida con la Roca Fosfórica no mostró diferencias significativas respecto al Fosfato Diamónico.

Tabla 7. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta del factor fuentes fosfatadas (A).

Fuentes fosfatadas (A)	Altura (cm)	Significancia
Superfosfato Triple de Calcio	13,51	a
Roca Fosfórica	12,66	b
Fosfato Diamónico	12,26	b

Tratamientos con la misma letra existe significación estadística.

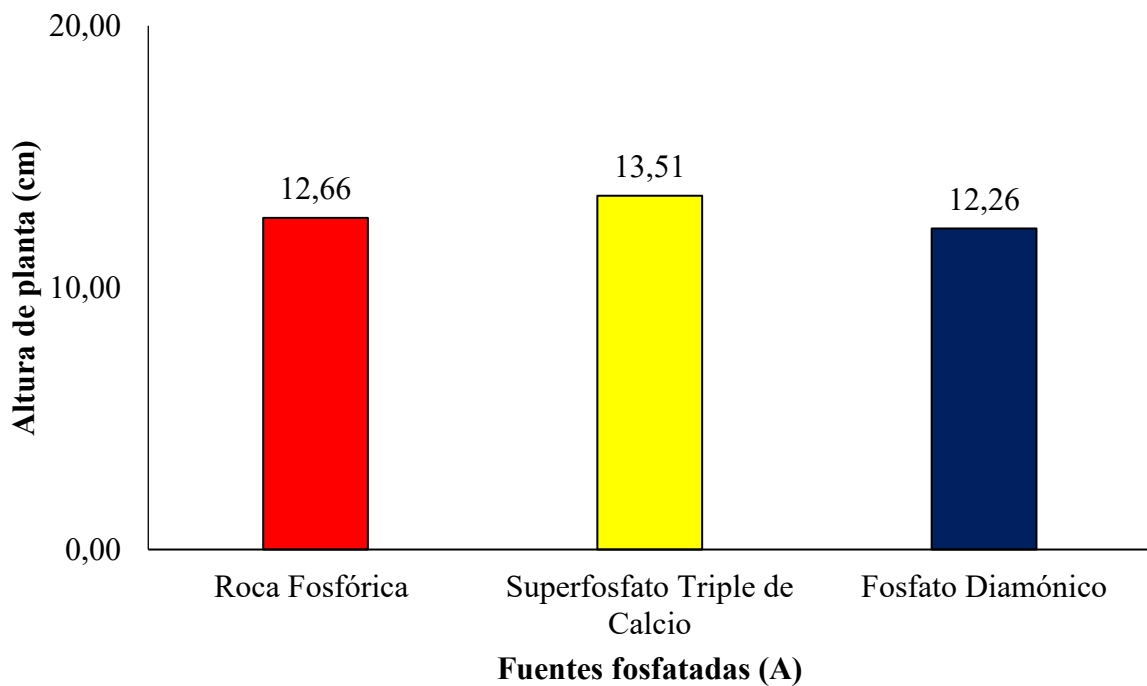


Figura 1. Efecto de las fuentes fosfatadas en la altura de planta de café.

Según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta a los 120 días (Tabla 8), la Gallinaza al 5 % generó una altura significativamente mayor en comparación con los demás niveles. Además, se observó que a medida que la concentración de Gallinaza

aumentó de 5 % a 50 %, el tamaño de los plántones disminuyó, con diferencias significativas entre los niveles de 20 %, 35 % y 50 %.

El efecto negativo en el desarrollo del café al incrementar la concentración de Gallinaza podría deberse, según Julca et al. (2002), al alto contenido de sales en este material. De acuerdo con Sela (2018), una elevada concentración de sales incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo, lo que obliga a la planta a utilizar más energía para absorber agua; en condiciones extremas, incluso impide la absorción y provoca marchitez. Además, un exceso de materia orgánica podría interferir en el crecimiento debido a la presencia de ácidos húmicos. Jaramillo (2011) señala que estos compuestos, en bajas dosis, benefician a las plantas, pero en concentraciones altas tienen un efecto negativo, lo que concuerda con Julca et al. (2002), quienes encontraron que una elevada concentración de sustancias húmicas afectó el desarrollo de plantas de café en almácigo. De manera similar, Hernández (1996) observó que una concentración de 10 mg de carbono/L estimulaba el crecimiento de cebada, mientras que dosis mayores lo inhibían.

Tabla 8. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta del factor niveles de Gallinaza (B).

Niveles de Gallinaza	Altura (cm)	Significancia
5 %	16,15	a
20 %	14,13	b
35 %	11,82	c
50 %	9,13	d

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

La altura de la planta de café aumentó de 11.32 cm a 16.15 cm con la aplicación del 5 % de Gallinaza en el sustrato (Figura 2). Este incremento se debe al efecto de los ácidos orgánicos, como el ácido húmico, generados por la descomposición de la Gallinaza, los cuales mejoran la disponibilidad de fósforo y nitrógeno, favoreciendo el crecimiento vegetal en concentraciones adecuadas. Sin embargo, al aplicar 15, 30 y 50 % de Gallinaza, el desarrollo de las plantas se vio significativamente afectado (Figura 2), debido al aumento de sustancias húmicas que redujeron el pH del sustrato y limitaron la disponibilidad de nutrientes esenciales. Según Gros y Domínguez (1992), una mayor cantidad de materia orgánica en el sustrato

conlleva una mayor inmovilización del nitrógeno, lo que podría explicar la disminución en el crecimiento de las plantas en tratamientos con altas concentraciones de Gallinaza.

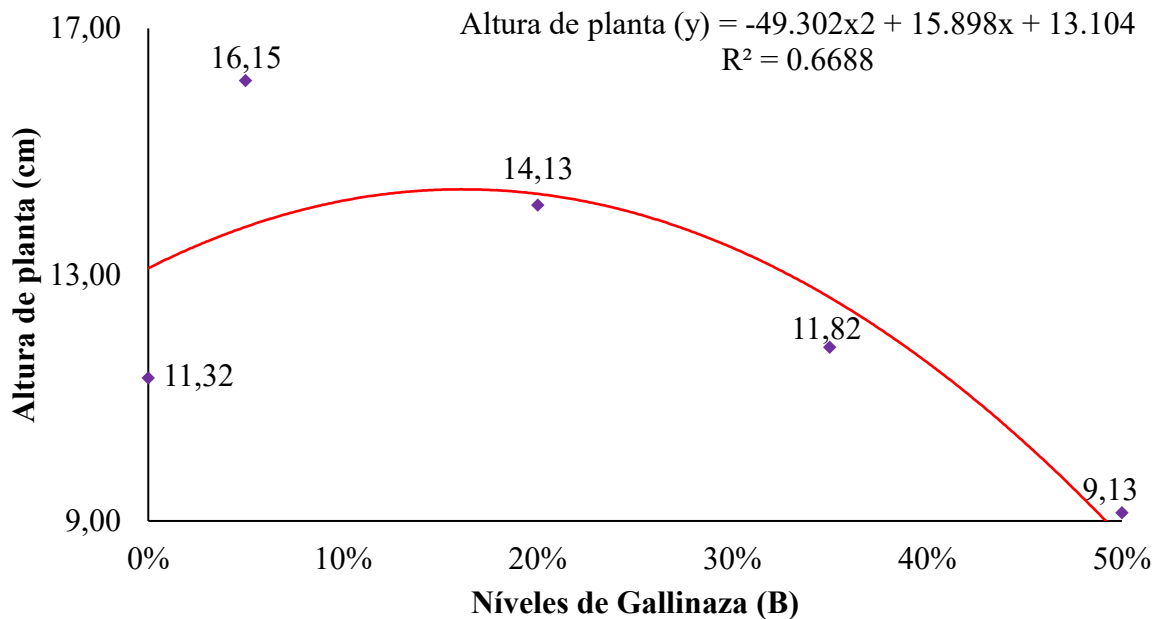


Figura 2. Variación de la altura de planta de café en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.

4.1.2. Efectos simples

De acuerdo al ANVA de los efectos simples para la altura de planta (Tabla 9), se observa que existió interacción significativa entre el factor fuentes fosfatadas y los niveles de Gallinaza al 5 y 50 %. Asimismo, se encontró interacción entre el factor niveles de Gallinaza y las tres fuentes fosfatadas, Roca Fosfórica, SPTCa y Fosfato Diamónico, lo que indica que la respuesta en el crecimiento de las plantas estuvo influenciada por la combinación de estos factores.

Tabla 9. Análisis de variancia de los efectos simples para la altura de planta.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
A * b ₁	19	13,23	6,61	AS
A * b ₂	11	0,74	0,37	NS
A * b ₃	2	1,52	0,76	NS
A * b ₄	3	30,55	15,27	AS
B * a ₁	6	214,09	7,36	AS
B * a ₂	7	83,29	27,76	AS
B * a ₃	1	144,09	48,03	AS
EE	80	107,27	1,34	

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo con la Tabla 10, se observa que al aplicar Gallinaza al 5 % en el sustrato, la altura de planta de café fue estadísticamente mayor cuando se utilizaron Roca Fosfórica y Superfosfato Triple de Calcio en comparación con el Fosfato Diamónico. Esto podría deberse a una mayor disolución de estas fuentes fosfatadas por la acción de los ácidos orgánicos generados durante la descomposición de la materia orgánica, en concordancia con Chien (2003), quien reportó que la materia orgánica aumenta la efectividad de la Roca Fosfórica. No obstante, al incrementar la Gallinaza al 50 %, se observó un efecto negativo sobre estas fuentes fosfatadas, lo que afectó el desarrollo normal de los plantones, resultando en una menor altura en comparación con los plantones cultivados en sustrato con Gallinaza al 5 % (Figura 3).

Tabla 10. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de 5% y 50 % de Gallinaza (B).

5 % de Gallinaza			50 % de Gallinaza		
Interacción	(cm)	Sig.	Interacción	(cm)	Sig.
Roca Fosfórica	17,16	a	ST de Calcio	11,14	a
ST de Calcio	16,40	a	Roca Fosfórica	8,24	b
Fosfato Diamónico	14,90	b	Fosfato Diamónico	8,00	b

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

El Fosfato Diamónico no mostró un efecto significativo en comparación con las otras dos fuentes fosfatadas. Según Ávila et al. (2010), este fertilizante puede mitigar los efectos negativos de un abono orgánico parcialmente descompuesto. No obstante, la combinación del Fosfato Diamónico con la Gallinaza pudo haber reducido el pH del sustrato, afectando su eficacia. Según Legaz et al. (1996), un pH bajo en el suelo disminuye la oxidación microbiana del amonio y reduce la nitrificación. Balta et al. (2015) señalan que esta menor nitrificación se debe a la baja actividad microbiana en condiciones de acidez elevada.

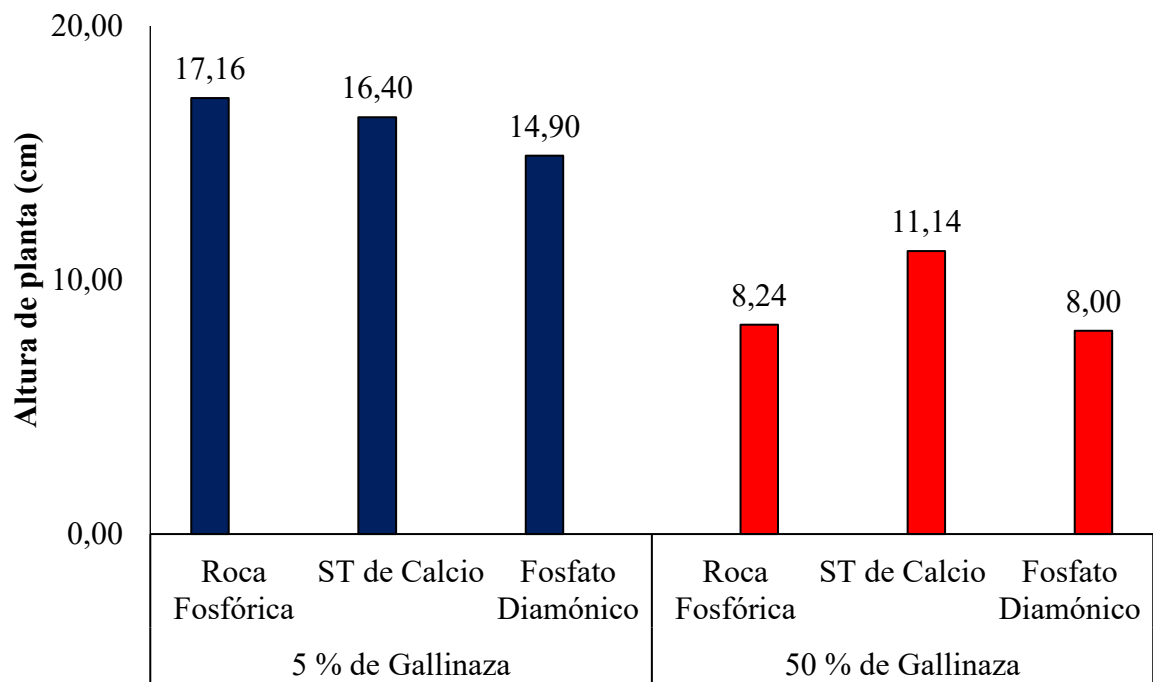


Figura 3. Altura de planta de café por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 % y 50 % de Gallinaza.

En la Tabla 11 se observa que, al aplicar Roca Fosfórica, el efecto de la Gallinaza disminuyó a medida que su nivel aumentó del 5 % al 50 %, con diferencias estadísticamente significativas. Es decir, una menor aplicación de Gallinaza resultó en una mayor altura de las plantas de café. Con el Superfosfato Triple de Calcio, la tendencia fue similar; sin embargo, los niveles de 5 % y 20 % no mostraron diferencias significativas entre sí, aunque sí fueron superiores a los niveles de 30 % y 50 %. En el caso del Fosfato Diamónico, la tendencia fue similar, pero no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de 5 % y 20 % de Gallinaza.

Tabla 11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).

Roca Fosfórica			Superfosfato Triple de Calcio			Fosfato Diamónico		
Interacción	(cm)	Sig.	Interacción	(cm)	Sig.	Interacción	(cm)	Sig.
5 % Gallinaza	17,16	a	5 % Gallinaza	16,40	a	5 % Gallinaza	14,90	a
20 % Gallinaza	13,84	b	20 % Gallinaza	14,38	a	20 % Gallinaza	14,16	a
35 % Gallinaza	11,38	c	35 % Gallinaza	12,12	b	35 % Gallinaza	11,96	b
50 % Gallinaza	8,24	d	50 % Gallinaza	11,14	c	50 % Gallinaza	8,00	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

En la Figura 4 se presentan las ecuaciones polinómicas obtenidas entre los niveles de Gallinaza y cada fuente fosfatada, con coeficientes de determinación (R^2) cercanos a 1, lo que indica una correlación muy directa entre ambas variables según Martínez (2005). Además, se observa que la altura de la planta de café disminuye a medida que aumenta el nivel de Gallinaza. Estos resultados evidencian un efecto negativo de la Gallinaza en proporciones mayores al 5 %, lo que, según Ávila et al. (2010), podría estar relacionado con dos factores principales: el incremento de la acidez del sustrato y la mayor retención de humedad de los materiales orgánicos, afectando la disponibilidad de fósforo en la etapa de almácigo del café.

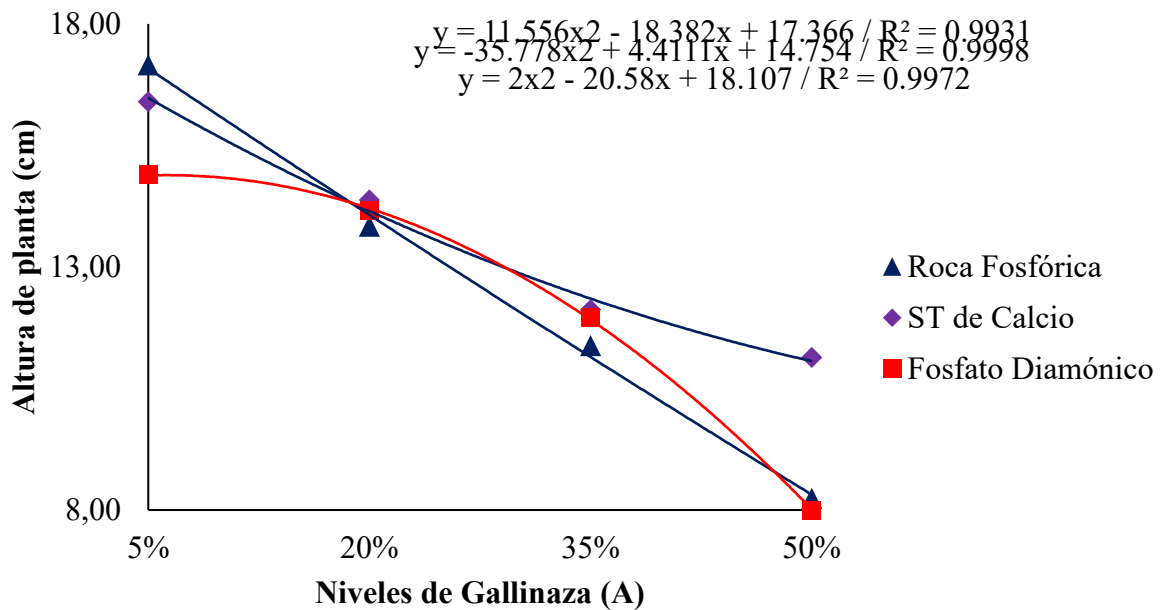


Figura 4. Variación de la altura de planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.

4.1.3. Tratamientos en estudio

En el Tabla 12, muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de café a los 120 días después de la siembra de los tratamientos en estudio, el tratamiento con 5 % de gallinaza (T_{17}) que corresponde a un tratamiento testigo, se obtuvo plantas con mayor altura que los demás tratamientos. Los tratamientos que ocuparon la segunda posición fueron, RF + 5 % de gallinaza (T_1), STC + 5 % de gallinaza (T_5) y FDA + 5 % de gallinaza (T_9), todos con el nivel más bajo de Gallinaza. Estos resultados indicarían que el nivel de fósforo disponible del suelo utilizado para el sustrato (12.10 ppm P) más lo que se aporta por la materia orgánica de la Gallinaza aplicada al 5 %, serían suficientes para satisfacer la demanda de fósforo por el café en esta etapa.

En comparación con los demás niveles, la aplicación de Gallinaza al 5 % mejoró significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato. Es probable que a este nivel se redujera la acidez del sustrato (Tabla 4), disminuyendo la saturación de aluminio y favoreciendo la disponibilidad de fósforo para la planta de café. En contraste, concentraciones más altas de Gallinaza podrían generar efectos negativos, ya que, según Lorente (1997), el pH influye en la solubilidad del fósforo, aumentando el riesgo de lixiviación o toxicidad por concentraciones excesivas. Además, en este nivel de Gallinaza se liberan nutrientes esenciales como CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} y SO_4^{2-} , fundamentales para el crecimiento del café.

Tabla 12. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de café de los tratamientos

Tratamientos		Altura de planta	
Clave	Descripción	(cm)	Sig.
T ₁₇	5 % de Gallinaza	19,24	a
T ₁₀	RF + 5 % de Gallinaza	17,16	b
T ₅₀	STC + 5 % de Gallinaza	16,40	b
T ₉₀	FDA + 5 % de Gallinaza	14,90	c
T ₆₀	STC + 20 % de Gallinaza	14,38	c
T ₁₀	FDA + 20 % de Gallinaza	14,16	c
T ₁₈	20 % de Gallinaza	13,90	c
T ₂₀	RF + 20 % de Gallinaza	13,84	c
T ₁₄	Roca Fosfórica	13,36	c
T ₁₆	Fosfato Diamónico	13,28	c
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	13,24	c
T ₇₀	STC + 35 % de Gallinaza	12,12	d
T ₁₁	FDA + 35 % de Gallinaza	11,96	d
T ₃₀	RF + 35 % de Gallinaza	11,38	d
T ₁₃	Tierra agrícola	11,32	d
T ₈₀	STC + 50 % de Gallinaza	11,14	d
T ₁₉	35 % de Gallinaza	08,54	e
T ₄₀	RF + 50 % de Gallinaza	08,24	e
T ₁₂	FDA + 50 % de Gallinaza	08,00	e
T ₂₀	50 % de Gallinaza	07,44	f

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.
RF = Roca Fosfórica.; STC = Superfosfato Triple de Calcio.; FDA = Fosfato Diamónico.

En la Tabla 13 se observa que, estadísticamente, la altura de planta del testigo con 5 % de Gallinaza (T₁₇) fue superior a la obtenida en los demás testigos en estudio. Los tratamientos con alta proporción de Gallinaza ocuparon las últimas posiciones, confirmando su efecto negativo en exceso. Estos resultados coinciden con Salazar y Mestre (1990), Figueroa et al. (1996) y Castañeda (1997), quienes encontraron que una proporción de 25 % de Gallinaza y 75 % de suelo franco favoreció el crecimiento del café. De manera similar, Romero et al. (2000) reportaron que el índice de vigor del café no varió con 25 % de Gallinaza, pero disminuyó con una proporción de 75 %. Investigaciones de Castellón et al. (2000) y Romero et al. (2000) indican que los productos orgánicos pueden mejorar el crecimiento de las plantas de café en vivero, ya que, según Young (1997), contienen no solo compuestos nitrogenados, sino también poliaminas y etileno, que regulan el crecimiento y favorecen el desarrollo vegetal.

Tabla 13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de la altura de planta de los testigos.

Testigos		Altura de planta	
Clave	Descripción	(cm)	Sig.
T ₁₇	5 % de Gallinaza	19.24	a
T ₁₈	20 % de Gallinaza	13.90	b
T ₁₄	Roca Fosfórica	13.36	b
T ₁₆	Fosfato Diamónico	13.28	b
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	13.24	b
T ₁₃	Tierra agrícola	11.32	c
T ₁₉	35 % de Gallinaza	08.54	d
T ₂₀	50 % de Gallinaza	07.44	e

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

4.2. Peso de la materia seca de la raíz

En la Tabla 14, se muestra el ANVA del peso de materia seca de la raíz a los 120 días dds; observándose que existen diferencias estadísticas altamente significativas para el factor fuentes fosfatadas (A), niveles de Gallinaza (B) e interacción entre el factor Fuentes Fosfatadas (A) y niveles de Gallinaza (B), por lo que fue necesario realizar el estudio de los efectos simples. Igualmente, se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos testigos y entre el promedio de todas las combinaciones respecto al promedio de los testigos. Asimismo, el valor del coeficiente de variabilidad fue 4.07 %, indicando que

existió excelente homogeneidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en estudio.

Tabla 14. Análisis de variancia para el peso de materia seca de la raíz.

Fuente de variación	GL	SC	CM	SIG
Tratamientos	19	32,31	1,70	AS
Factorial	11	15,44	1,40	AS
A (Fuentes fosfatadas)	02	02,75	1,38	AS
B (Niveles de Gallinaza)	03	11,00	3,67	AS
A x B	06	01,69	0,28	AS
Testigos	07	14,74	2,11	AS
Factorial vs Testigos	01	02,13	2,13	AS
Error Experimental	80	13,27	0,17	
Total	99	45,57		
C.V (%)	4,07			

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

4.2.1. Efectos principales

En el Tabla 15, se muestra que el peso de materia seca de la raíz de la planta de café en vivero por efecto de la fuente fosfatada Roca Fosfórica que fue estadísticamente mayor a los pesos por efecto del Fosfato Diamónico y Superfosfato Triple de Calcio en un suelo fuertemente ácido (Tabla 4).

Tabla 15. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas para el peso de materia seca de la raíz.

Fuentes fosforadas	(g/planta)	Significancia
Roca Fosfórica	1,45	a
Fosfato Diamónico	1,07	b
Superfosfato Triple de Calcio	0,94	b

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística

Según Chien (2003), los suelos ácidos de los trópicos tienen poco contenido de P disponible para las plantas y a menudo una alta capacidad de fijación de fósforo, lo que resulta en una baja eficiencia de uso de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua como el SPT de Calcio y el Fosfato Diamónico. Asimismo, la Roca Fosfórica destaca según Molina

y Henriquez (2003), porque además de fósforo, contiene calcio, que es un elemento crucial para el crecimiento de las raíces, tal como sostiene León (2016), que el Ca mejora las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana, la disponibilidad de molibdeno y absorción de otros nutrientes.

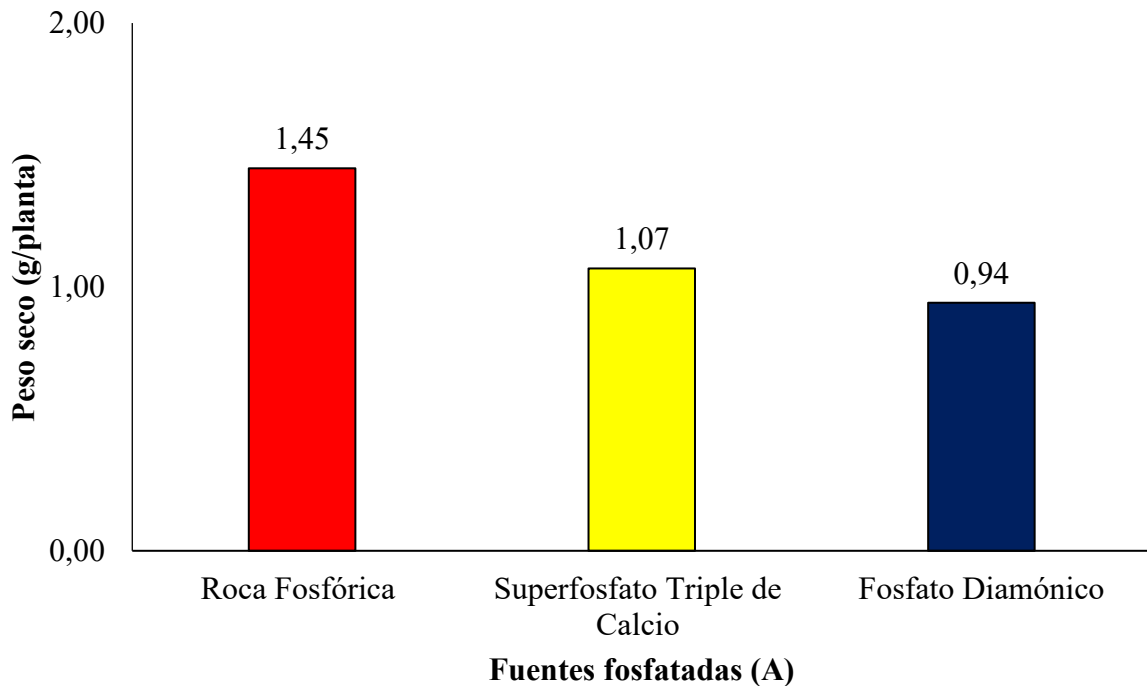


Figura 5. Peso de la materia seca de la raíz por efecto de las fuentes fosfatadas.

En la Tabla 16 se presenta la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el factor niveles de Gallinaza (B), donde se observa que el peso seco de la raíz con Gallinaza al 50 % fue estadísticamente menor en comparación con los demás niveles, siguiendo la misma tendencia que la altura de la planta de café. No hubo diferencias estadísticas entre los niveles de 5, 20 y 35 %. Esto podría atribuirse al alto contenido de Gallinaza, que inhibió el crecimiento radicular, en concordancia con Julca et al. (2001), quienes encontraron que un 60 % de materia orgánica no mejoró la calidad del sustrato y pudo afectar negativamente el desarrollo de las raíces debido a su alto contenido de sales. Según Martínez et al. (2011), la acumulación de sales interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y, según Carpenter et al. (1998), las sales de nitrato son solubles y pueden lixiviarse fácilmente. Además, Sela (2018) señala que la absorción de iones perjudiciales puede causar síntomas visuales como quemaduras en los bordes y puntas de las hojas, afectando la absorción de nutrientes esenciales.

Tabla 16. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza para el peso de materia seca de la raíz.

Niveles de Gallinaza	(g/planta)	Significancia
05 %	1,44	a
20 %	1,42	a
35 %	1,34	b
50 %	0,41	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

En la Figura 6 se presenta la ecuación polinómica obtenida entre el peso de la materia seca de la raíz (variable dependiente) y los niveles de Gallinaza (variable independiente), con un coeficiente de determinación R^2 de 0.7803, lo que indica que el 78.03 % de la variación en el peso de la raíz se debe al aumento de los niveles de Gallinaza. Se observa que el peso seco de la raíz por planta aumentó con la aplicación de Gallinaza al 5 %, obteniéndose valores aritméticamente mayores en comparación con los demás niveles. Esto se debe a su rápida mineralización, lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes esenciales para la absorción, favoreciendo la fotosíntesis y, en consecuencia, un mayor peso de materia seca.

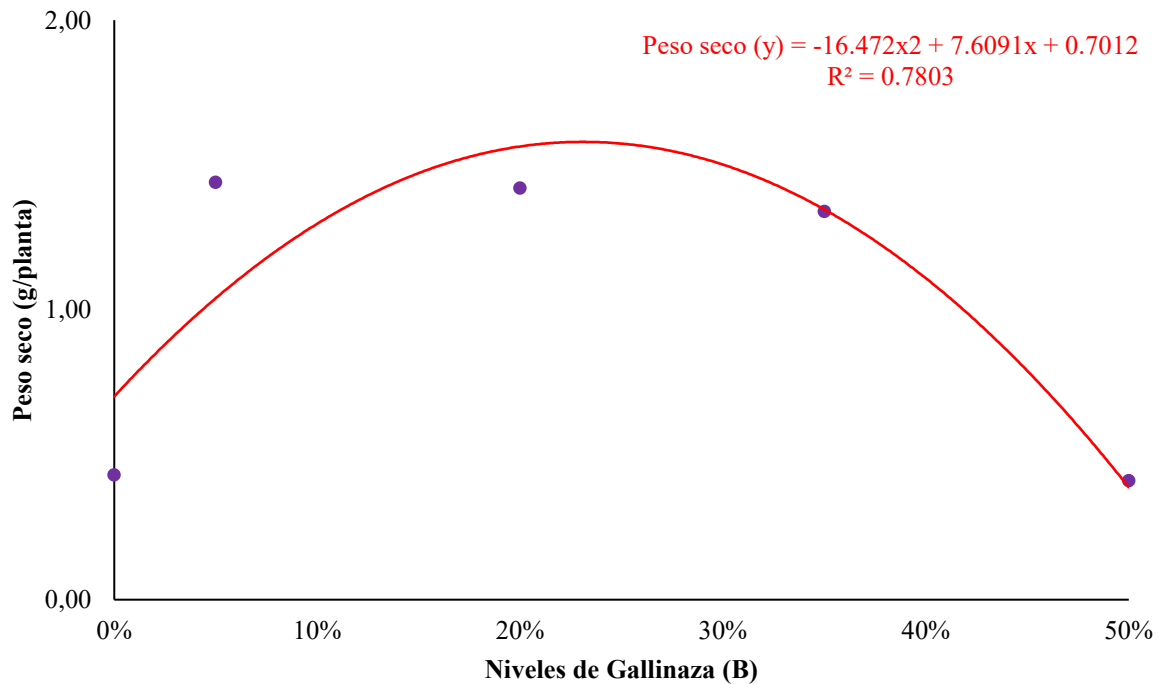


Figura 6. Variación del peso seco de la raíz por planta de café en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.

4.2.2. Efectos simples

En el Tabla 17, se muestra el ANVA de los efectos simples para la materia seca de la raíz de la planta de café; observándose que existe efecto de interacción entre el factor fuentes fosfatadas y los niveles de Gallinaza, al 5 % y 35%. También se muestra que existe efecto de interacción entre el factor niveles de Gallinaza y las tres fuentes fosfatadas, Roca Fosfórica, Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico.

Tabla 17. Análisis de variancia de los efectos simples para el peso de materia seca de la raíz.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
A en b ₁	19	02,11	1,06	AS
A en b ₂	11	00,87	0,44	NS
A en b ₃	2	01,45	0,72	AS
A en b ₄	3	00,01	0,00	NS
B en a ₁	6	06,89	2,30	AS
B en a ₂	7	02,73	0,91	AS
B en a ₃	1	03,07	1,02	AS
Error experimental	80	13,27	0,17	

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.
 NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

En el Tabla 18, se muestran las pruebas de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de las fuentes fosfatadas en los niveles de 5 % y 35 % de Gallinaza en el peso de materia seca de la raíz; observándose que cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 5 %, el efecto de la Roca Fosfórica fue estadísticamente mayor al Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico en el peso de materia seca de la raíz de la planta de café. Entre el Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico las diferencias no tuvieron significación. Asimismo, cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 35 %, el efecto la Roca Fosfórica fue estadísticamente mayor al Superfosfato Triple de Calcio en peso de materia seca de la raíz de la planta de café. Entre el Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico las diferencias no tuvieron significación.

Tabla 18. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de Gallinaza (B).

5 % de Gallinaza			35 % de Gallinaza		
Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.
Roca Fosfórica	1,93	a	Roca Fosfórica	1,69	a
Fosfato Diamónico	1,36	b	Fosfato Diamónico	1,39	b
ST de Calcio	1,02	c	ST de Calcio	0,94	c

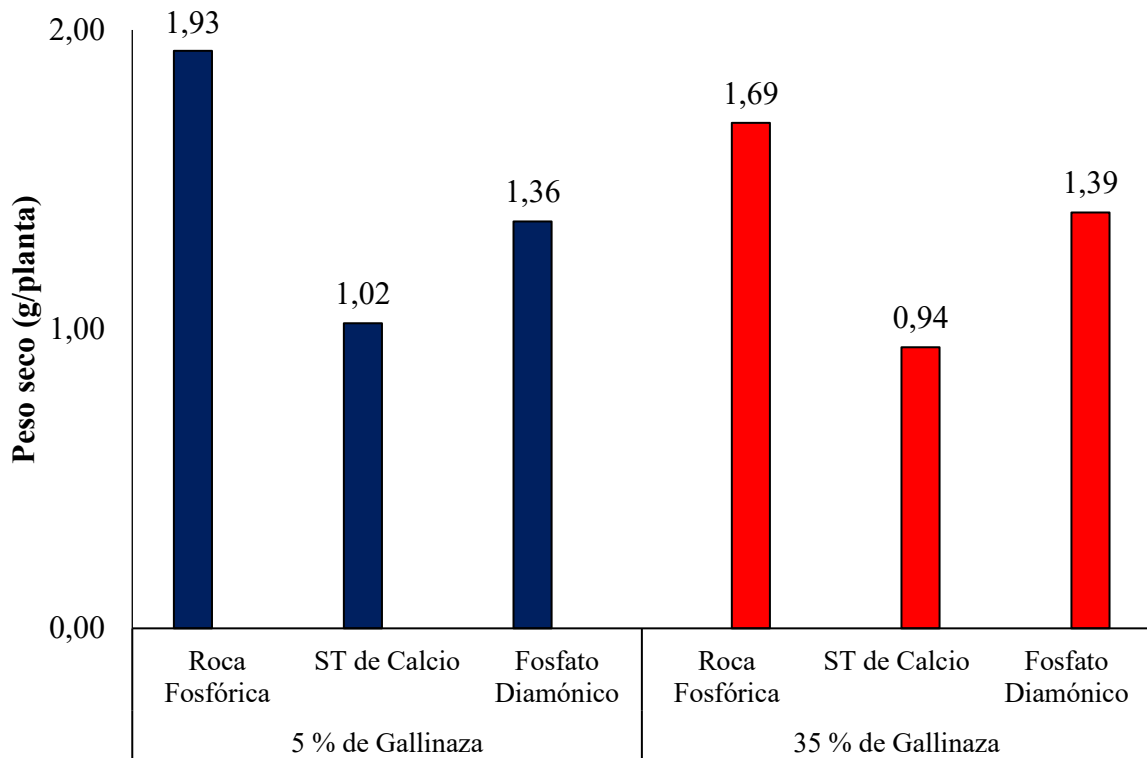


Figura 7. Peso de materia seca de la raíz por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 % y 35 % de Gallinaza.

En la Tabla 19 se presenta la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para el peso de materia seca de la raíz en relación con los efectos simples de los niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas. Se observa que, al aplicar cualquiera de las tres fuentes fosfatadas, el menor peso de materia seca de las raíces se obtuvo con la aplicación del 50 % de Gallinaza en el sustrato, con diferencias estadísticamente significativas.

Se confirma que la aplicación de Gallinaza al 50 % en el sustrato ejerce un efecto negativo en las plantas fertilizadas con las tres fuentes fosfatadas, obteniéndose pesos estadísticamente inferiores en comparación con los demás niveles de Gallinaza. Esta reducción en el peso de la materia seca de las raíces puede explicarse porque, según Tisdale y Nelson (1970), citado por Iglesias (2002), la Gallinaza es un fertilizante altamente concentrado y debe aplicarse en pocas cantidades para no causar quemaduras en las plantas, especialmente en las raíces. Además, según Mullo (2012), un exceso de materia orgánica puede reducir la disponibilidad de oxígeno en el medio, dificultando la mineralización del N y afectando el crecimiento radicular.

El alto contenido de nitrógeno en la Gallinaza al 50 % puede estar relacionado con un desarrollo deficiente del sistema radicular en la planta de café. Según la FAO (1984), citada por Cantarero y Martínez (2002), aunque la Gallinaza es aplicable a la

mayoría de los cultivos, es fundamental ajustar su uso para evitar excesos de nitrógeno. Smart (2018) señala que un exceso de este elemento puede provocar un sistema radicular poco desarrollado, tejidos blandos, plantas débiles, retraso en el crecimiento y mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas.

Tabla 19. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).

Roca Fosfórica			Superfosfato Triple de Calcio			Fosfato Diamónico		
Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.
05 % Gallinaza	1,93	a	20 % Gallinaza	1,42	a	35 % Gallinaza	1,39	a
20 % Gallinaza	1,72	b	05 % Gallinaza	1,02	b	05 % Gallinaza	1,36	a
35 % Gallinaza	1,69	c	35 % Gallinaza	0,94	c	20 % Gallinaza	1,13	b
50 % Gallinaza	0,44	d	50 % Gallinaza	0,38	d	50 % Gallinaza	0,42	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

4.2.3. Tratamientos en estudio

En la Tabla 20, se presenta la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el peso de la materia seca de la raíz en plantas de café según los tratamientos en estudio. Se observa que los tratamientos RF + 5 % de Gallinaza (T₁) y 5 % de Gallinaza (T₁₇) obtuvieron los mayores pesos de materia seca de la raíz tanto estadística como aritméticamente en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, estos valores fueron estadísticamente iguales a los obtenidos en los tratamientos 5 % de Gallinaza (T₁₇), RF + 20 % de Gallinaza (T₂), RF + 35 % de Gallinaza (T₃), STC + 20 % de Gallinaza (T₆), FDA + 35 % de Gallinaza (T₁₁), 20 % de Gallinaza (T₁₈), Superfosfato Triple de Calcio (T₁₅) y FDA + 5 % de Gallinaza (T₉).

Se observó que la incorporación de gallinaza en concentraciones del 5 %, 20 % y 35 % en el sustrato tuvo un efecto beneficioso en las plantas tratadas con Roca Fosfórica. Según Casado (2003), el uso de fertilizantes orgánicos no solo incrementa la disponibilidad de fósforo para las plantas de manera directa, sino también de forma indirecta. Esto se explica porque el humus se combina con los iones fosfato, formando humofosfato, sustancia que protege a los iones PO_4^{2-} de la fijación irreversible en el suelo y los mantiene disponibles para la planta. Además, Galantini et al. (2007) destacan que incluso leves variaciones en el contenido de materia orgánica pueden influir significativamente en la mineralización del fósforo, mientras que Xiuchong et al. (2002) señalan que, a medida que la materia orgánica se mineraliza, se favorece un mayor equilibrio que propicia la disponibilidad de fosfatos para la planta. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Chien (2003), quien evidenció que la presencia de materia orgánica potencia la efectividad de la Roca Fosfórica.

El Fosfato Diamónico por sí solo no favoreció el crecimiento de las raíces, lo que coincide con Ávila et al. (2010), quienes reportaron que la aplicación de Fosfato Diamónico redujo el peso seco de las raíces de la planta de café en almácigo. Este efecto se atribuye a la acción acidificante del Fosfato Diamónico, que en su máxima dosis provocó un descenso de casi una unidad en el pH del sustrato, alcanzando un valor de 4.1.

Tabla 20. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los tratamientos en estudio.

Clave	Tratamientos		Peso seco de la raíz	
	Descripción		g/planta	Sig.
T ₁₀	RF + 5 % de Gallinaza		1,93	a
T ₁₇	5 % de Gallinaza		1,90	b
T ₂₀	RF + 20 % de Gallinaza		1,72	b
T ₃₀	RF + 35 % de Gallinaza		1,69	c
T ₆₀	STC + 20 % de Gallinaza		1,42	c
T ₁₁	FDA + 35 % de Gallinaza		1,39	c
T ₁₈	20 % de Gallinaza		1,39	c
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio		1,38	c
T ₉₀	FDA + 5 % de Gallinaza		1,36	c
T ₁₀	FDA + 20 % de Gallinaza		1,13	c
T ₅₀	STC + 5 % de Gallinaza		1,02	c
T ₁₄	Roca Fosfórica		0,97	d
T ₇₀	STC + 35 % de Gallinaza		0,94	d
T ₄₀	RF + 50 % de Gallinaza		0,44	d
T ₁₃	Tierra agrícola		0,43	d
T ₁₂	FDA + 50 % de Gallinaza		0,42	d
T ₈₀	STC + 50 % de Gallinaza		0,38	e
T ₁₉	35 % de Gallinaza		0,36	e
T ₁₆	Fosfato Diamónico		0,32	e
T ₂₀	50 % de Gallinaza		0,09	f

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.
RF = Roca Fosfórica.; STC = Superfosfato Triple de Calcio.; FDA = Fosfato Diamónico.

En el Tabla 21, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del peso de la materia seca de la raíz de los testigos, observándose que los tratamientos 5 % de Gallinaza (T₁₇), 20 % de Gallinaza (T₁₈) y Superfosfato Triple de Calcio (T₁₅) estadísticamente obtuvieron resultados iguales; sin embargo, el testigo 5 % de Gallinaza (T₁₇) alcanzó una media de peso de materia seca de la raíz mayor en comparación a lo obtenido por los demás testigos en estudio. Los pesos de la materia seca de la raíz de la planta obtenido por los testigos Tierra agrícola (T₁₃), 35 % de Gallinaza (T₁₉), Fosfato Diamónico (T₁₆) y 50 % de Gallinaza (T₂₀), fueron estadísticamente similares. Lo que es recurrente, es que es la Gallinaza al 35 % y 50 % en el sustrato ejercieron un efecto negativo en las plantas de café, ya que obtuvieron pesos estadísticamente menores a los obtenidos con los demás testigos en estudio.

Tabla 21. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca de la raíz de los testigos.

Testigos		Peso seco de la raíz	
Clave	Descripción	g/planta	Sig.
T ₁₇	5 % de Gallinaza	1,90	a
T ₁₈	20 % de Gallinaza	1,39	b
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	1,38	b
T ₁₄	Roca Fosfórica	0,97	b
T ₁₃	Tierra agrícola	0,43	b
T ₁₉	35 % de Gallinaza	0,36	c
T ₁₆	Fosfato Diamónico	0,32	d
T ₂₀	50 % de Gallinaza	0,09	e

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

4.3. Peso de materia seca del tallo y hojas

En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza del peso de la materia seca de tallos y hojas a los 120 días de la siembra, revelando diferencias estadísticamente muy significativas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, se identificaron diferencias altamente significativas al considerar por separado el factor de las fuentes fosfatadas (A) y los distintos niveles de gallinaza (B), así como en la interacción entre ambos factores.

Tabla 22. Análisis de variancia para el peso de materia seca del tallo y hojas.

Fuente de variación	GL	SC	CM	SIG
Tratamientos	19	454,01	23,90	AS
Factorial	11	251,65	22,88	AS
A (Fuentes fosfatadas)	02	016,93	08,46	AS
B (Niveles de Gallinaza)	03	222,24	74,08	AS
A x B	06	012,48	02,08	AS
Testigos	07	168,64	24,09	AS
Factorial vs Testigos	01	033,72	33,72	AS
Error Experimental	80	031,82	00,40	
Total	99	485,84		
C.V (%)	6,31			

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

Del mismo modo, se evidencian diferencias muy significativas entre los tratamientos testigo,

puesto que la media de todas las combinaciones difiere notablemente del promedio de los controles. Por último, el coeficiente de variabilidad, con un valor del 6,31 %, confirma que hubo una excelente homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos estudiados.

4.3.1. Efectos principales

En la Tabla 23, se muestra que el peso de materia seca del tallo y hojas por efecto de la Roca Fosfórica fue estadísticamente mayor al obtenido con el Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico en un sustrato con pH fuertemente ácido (Tabla 4). Según Chien et al. (2010), en muchos suelos tropicales, el bajo contenido de calcio favorece la disolución de la Roca Fosfórica, aumentando la absorción de fósforo y calcio por las plantas de café. Además, los mismos autores indican que en suelos ácidos tropicales, la alta capacidad de fijación de fósforo reduce la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua como el Superfosfato Triple de Calcio y el Fosfato Diamónico. En este sentido, el peso obtenido con el Superfosfato Triple de Calcio fue estadísticamente mayor que con el Fosfato Diamónico, en promedio de los niveles de Gallinaza.

Tabla 23. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas (A) para el peso de materia seca del tallo y hojas.

Fuentes fosforadas	(g/planta)	Significancia
Roca Fosfórica	5,14	a
Superfosfato Triple de Calcio	4,65	b
Fosfato Diamónico	3,85	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

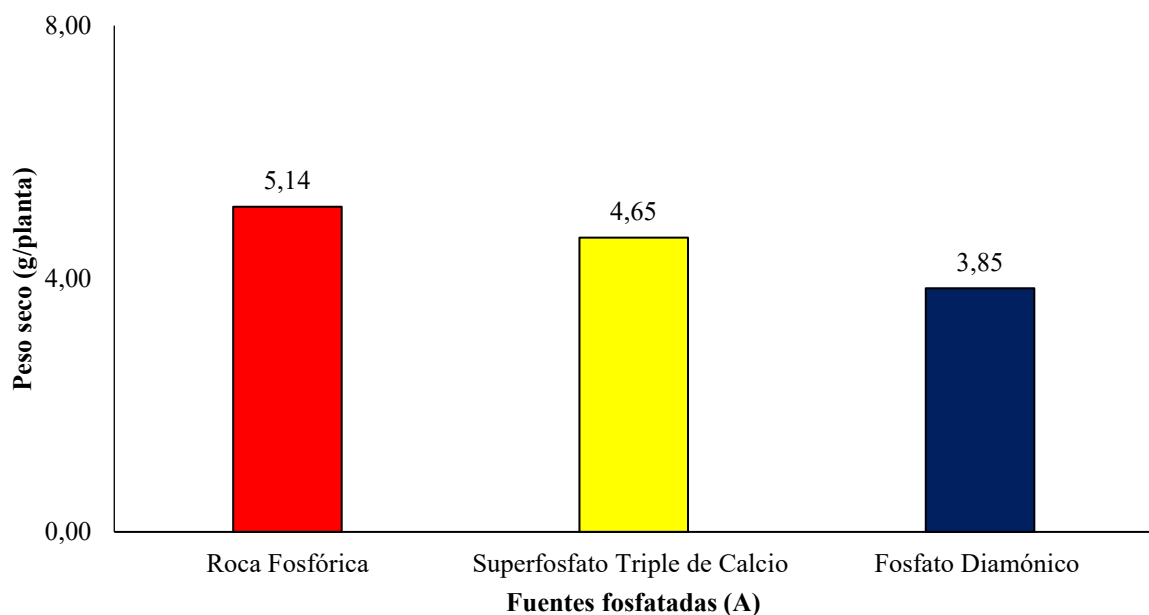


Figura 8. Peso de la materia seca del tallo y hojas por efecto de tres fuentes fosfatadas.

En la Tabla 24, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza para el peso de materia seca del tallo y hojas, observándose que el efecto de la Gallinaza al 5 % fue estadísticamente superior al peso obtenido con los niveles de 20, 35 y 50 %. Estos tres últimos niveles también fueron estadísticamente diferentes entre sí, mostrando un efecto negativo que puede explicarse por varias razones. Si bien la aplicación moderada de materia orgánica ayuda a reducir la evaporación y conservar la humedad, su exceso incrementa la humedad del sustrato. Según Agro Estrategias (2017), un suelo con alto contenido de materia orgánica y humedad favorece la respiración microbiana, lo que genera acumulación de nitritos tóxicos para las raíces. Asimismo, INTAGRI (2018) indica que el exceso de humedad afecta el crecimiento de las plantas al reducir la absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en una menor tasa de crecimiento y rendimiento.

Tabla 24. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza (B) para el peso de materia seca del tallo y hojas.

Niveles de Gallinaza	(g/planta)	Significancia
05 %	6,30	a
20 %	5,62	b
35 %	4,94	c
50 %	1,32	d

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

En la Figura 9, se muestra que la predicción del peso de la materia seca del tallo y hojas, en función de los niveles de Gallinaza en el sustrato, se ajusta a una ecuación polinómica, explicando el 70.55 % de la variación en dicha variable. Se observa que la adición del 5 % de Gallinaza en el sustrato resultó en un incremento significativo del peso de la materia seca del tallo y hojas, probablemente debido a la mejora en las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del sustrato en comparación con niveles más altos de Gallinaza. Conforme se incrementó la cantidad de Gallinaza de 5 % a 50 %, el peso de la materia seca disminuyó significativamente (Tabla 24). Según Lorente (1997), la descomposición de la materia orgánica es más eficiente cuando se mantienen condiciones adecuadas de aireación, temperatura, humedad y pH en el suelo. Sin embargo, a altas proporciones de Gallinaza, estas condiciones pueden verse alteradas, afectando negativamente la actividad microbiana y, en consecuencia, el crecimiento de las plantas.

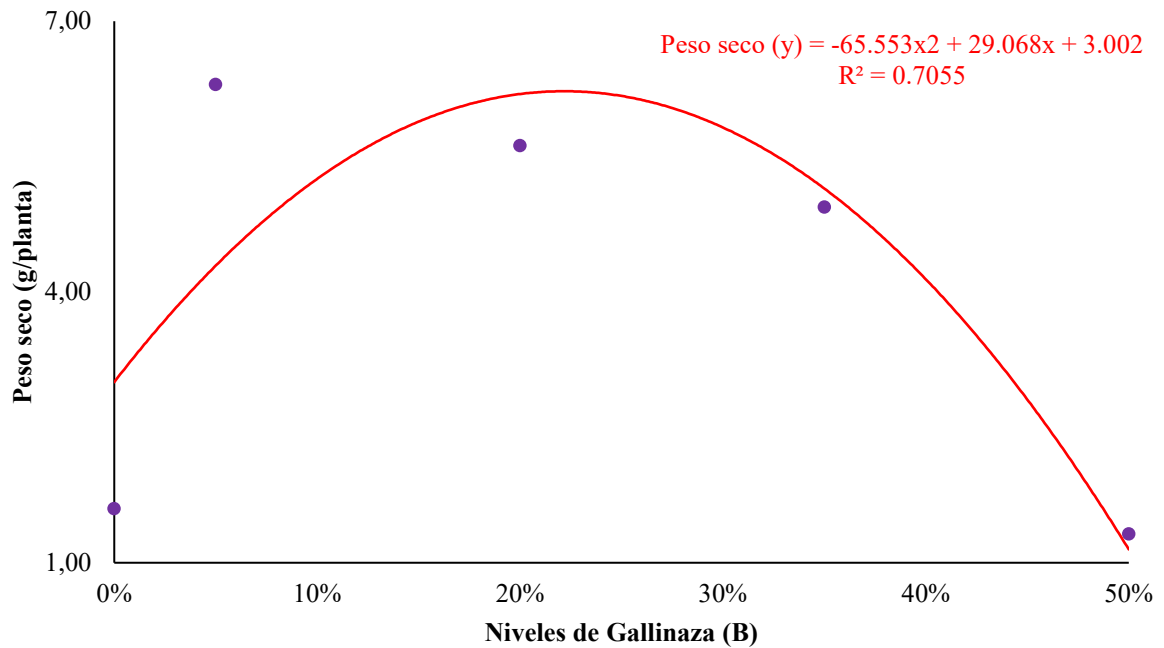


Figura 9. Variación del peso seco aéreo por planta en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.

4.3.2. Efectos simples

En el Tabla 25, se muestra el ANVA de los efectos simples para materia seca del tallo y hojas, observándose que existe efecto de interacción entre el factor fuentes fosfatadas y los niveles de Gallinaza, al 5 %, 20 % y 35 %. También se muestra que existe efecto de la interacción entre los factores niveles de Gallinaza y las tres fuentes fosfatadas.

Tabla 25. Análisis de variancia de los efectos simples para el peso de materia seca de la raíz.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
A en b ₁	19	017,98	08,99	AS
A en b ₂	11	004,83	02,41	AS
A en b ₃	02	006,04	03,02	AS
A en b ₄	03	000,56	00,28	NS
B en a ₁	06	119,91	39,97	AS
B en a ₂	07	071,08	23,69	AS
B en a ₃	01	043,73	14,58	AS
Error experimental	80	031,82	00,40	

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

En el Tabla 26, se muestran las pruebas de Duncan ($\alpha=0,05$) del efecto de las fuentes fosfatadas en los niveles de 5 %, 20 % y 35 % de Gallinaza en el peso de materia

seca del tallo y hojas, observándose que cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 5 %, el efecto de la Roca Fosfórica fue estadísticamente superior al del Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico en peso de materia seca de hojas y tallo. Entre Superfosfato Triple y Fosfato Diamónico las diferencias tuvieron significancia. Cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 20 %, el efecto de la Roca Fosfórica y Superfosfato Triple de Calcio fue estadísticamente superior al del Fosfato Diamónico. Entre estas dos fuentes fosfatadas no hubo diferencias significativas. Cuando se llegó a aplicar Gallinaza al nivel de 35 %, el efecto de la Roca Fosfórica fue estadísticamente mayor al del Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico. Entre estas dos fuentes fosfatadas no hubo diferencias significativas.

Tabla 26. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas (A) en los niveles de Gallinaza (B).

5 % de Gallinaza			20 % de Gallinaza			35 % de Gallinaza		
Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.
Roca Fosfórica	7,65	a	ST de Calcio	6,03	a	Roca Fosfórica	5,80	a
ST de Calcio	6,30	b	Roca Fosfórica	6,02	a	ST de Calcio	4,74	b
Fosfato Diamónico	4,97	c	Fosfato Diamónico	4,82	b	Fosfato Diamónico	4,28	b

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

En primer lugar, las fuentes fosfatadas tuvieron un mejor efecto en sustratos con Gallinaza al 5 %, en comparación a su efecto en sustratos con Gallinaza al 20 % y 35 %; como se mencionó anteriormente, ello podría deberse a un efecto adverso de la Gallinaza al emplearse en cantidades altas, que no sólo se presentó en este carácter, también en todos los caracteres evaluados. En segundo lugar, la mayor eficiencia de la Roca Fosfatada podría atribuirse a su disolución por los ácidos producidos por la materia orgánica sumado a las características ácidas del suelo, porque según Xiuchong et al. (2002), la mineralización de la materia orgánica acelera la liberación de los fosfatos poco solubles. En el caso del Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico, tal efecto podría ser adverso. La misma información se presenta en la Figura 10.

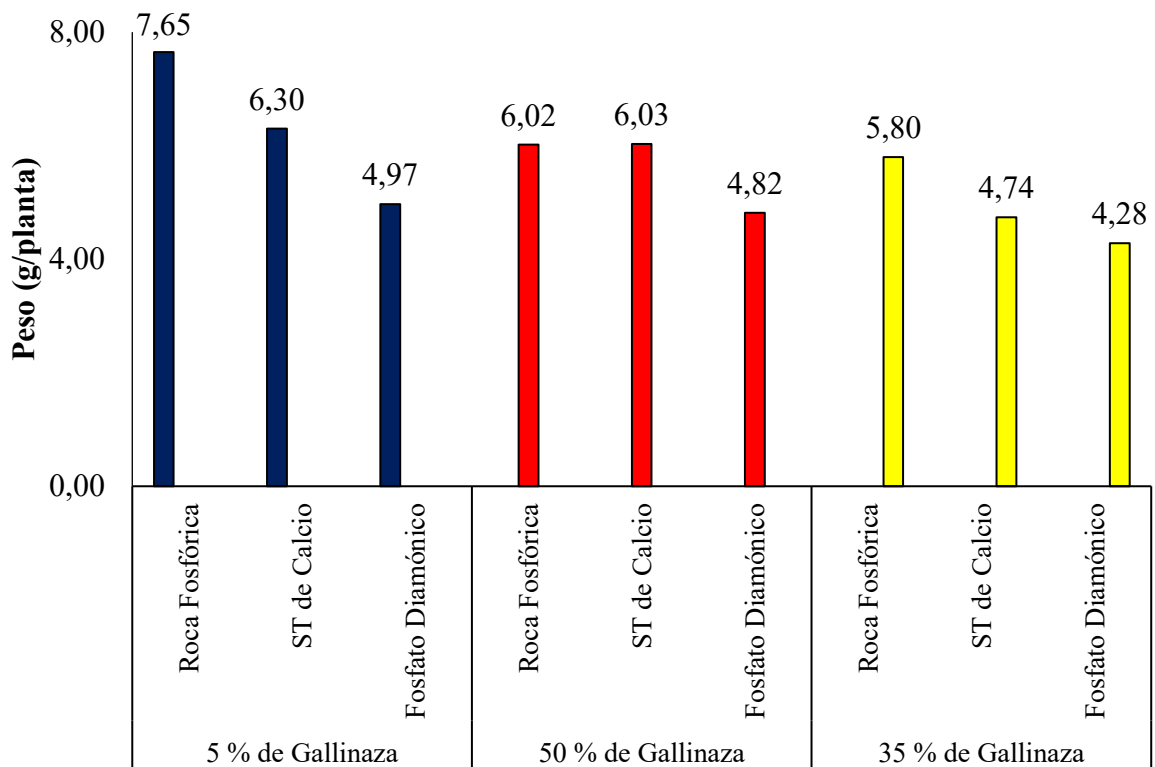


Figura 10. Peso de materia seca del tallo y hojas de la planta de café por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 %, 20 % y 35 % de Gallinaza.

En el Tabla 27, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas, observándose que:

En primer lugar, analizando en su conjunto el efecto de los niveles de Gallinaza, en las tres fuentes fosfatadas se llegó a mantener la misma tendencia de que conforme se incrementaron los niveles de Gallinaza, la materia seca de la parte aérea disminuyó,

confirmando una vez más el efecto adverso de la Gallinaza en proporciones mayores al 5 %. En segundo lugar, el efecto de la Gallinaza en cada fuente fosfatada independientemente, el nivel de Gallinaza al 5 % fue mayor a los niveles de 20, 35 y 50 % cuando se aplicó Roca Fosfórica.

Al aplicar Superfosfato Triple de Calcio, la aplicación de 5 y 20 % de Gallinaza produjeron plantas con mayor peso seco de la parte aérea que con la aplicación de 35 y 50 %. En el caso del Fosfato Diamónico, los tres primeros niveles de Gallinaza fueron mayores al nivel de Gallinaza al 50 %.

En la Figura 11, se muestran que las predicciones de los pesos de la materia seca del tallo y hojas a partir de la variable independiente de los niveles de Gallinaza en interacción con las fuentes fosfatadas en el sustrato, se ajustan a ecuaciones polinómicas, ya que las variaciones de los pesos de la materia seca del tallo y hojas son explicadas por el incremento de los niveles de Gallinaza en interacción con las fuentes fosfatadas en el sustrato en un 92.72, 99.73 y 97.66 % respectivamente, indicando que la correlación entre ambas variables es muy alta. Es decir, que a mayor nivel de Gallinaza en el sustrato, menores son las tasas de crecimiento o producción de materia seca de las plantas de café cuando se aplicó cada una de las fuentes fosfatadas.

Tabla 27. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza (B) en las fuentes fosfatadas (A).

Roca Fosfórica			Superfosfato Triple de Calcio			Fosfato Diamónico		
Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.	Interacción	(g)	Sig.
05 % Gallinaza	7,65	a	05 % Gallinaza	6,30	a	05 % Gallinaza	4,97	a
20 % Gallinaza	6,02	b	20 % Gallinaza	6,03	b	20 % Gallinaza	4,82	a
35 % Gallinaza	5,80	c	35 % Gallinaza	4,74	c	35 % Gallinaza	4,28	b
50 % Gallinaza	1,08	d	50 % Gallinaza	1,55	d	50 % Gallinaza	1,33	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

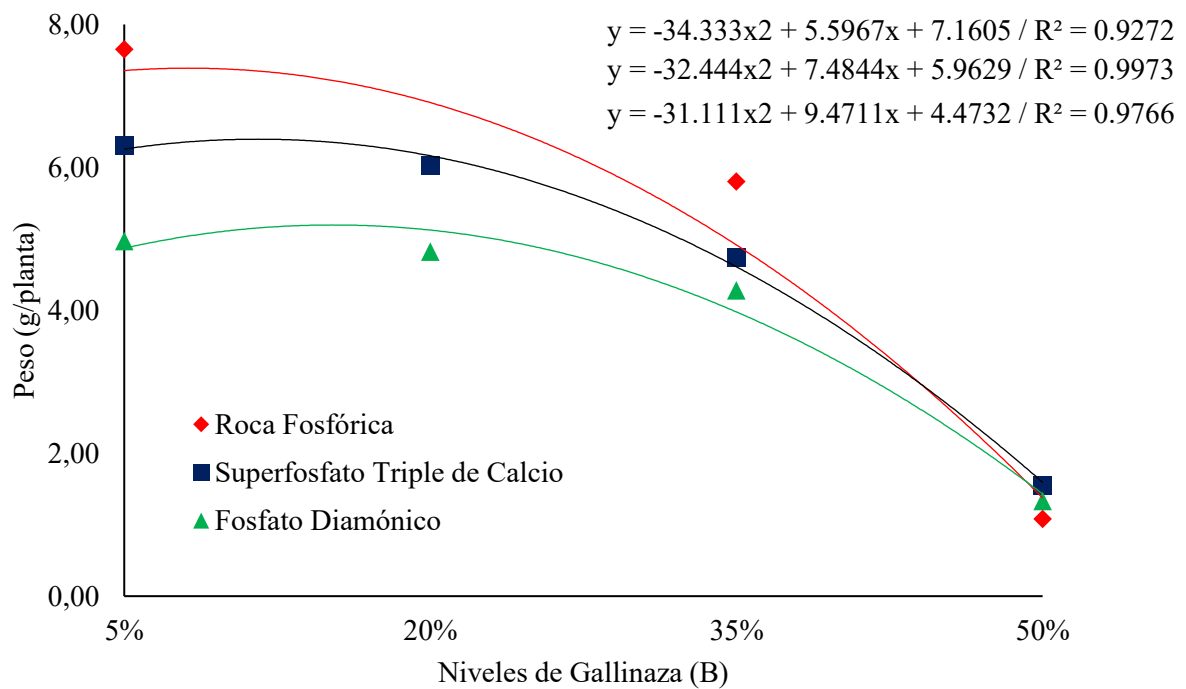


Figura 11. Variación del peso seco aéreo de la planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.

4.3.3. Tratamientos en estudio

Con el fin de comparar el efecto de los tratamientos del factorial en relación a los tratamientos testigo, se presenta el Tabla 28, donde se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de las plantas de café de los tratamientos en estudio. Se observa que el tratamiento con Roca Fosfórica + 5 % de Gallinaza (T_1) así como el tratamiento con 5 % de Gallinaza (T_{17}) estadísticamente obtuvieron el mayor peso de materia seca del tallo y hojas que los demás tratamientos en estudio. Los fertilizantes fosfatados aplicados solos, no tuvieron efecto significativo en el crecimiento de las plantas.

De acuerdo a los resultados, indica que con la sola aplicación de 5 % de Gallinaza mejor las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato, además tuvo un efecto positivo sobre la estructura y permeabilidad del suelo, aportando elementos nutritivos que se liberan a través del humus, y facilitando la absorción de nutrientes a las plantas, nutrientes como el nitrógeno porque según Soto y Meléndez (2004), la tasa de liberación de nitrógeno es mucho más rápida en la Gallinaza que otros abonos compostados. Sin embargo, altas dosis de Gallinaza se hacen perjudicial para las plantas de café en fase de vivero. La Roca Fosfórica y Superfosfato Triple de Calcio en combinación con la Gallinaza estadísticamente obtuvieron plantas con mayor biomasa de la parte aérea, aunque el Fosfato Diamónico en

combinación con la Gallinaza obtuvo plantas con mayor biomasa que aquellas plantas del testigo absoluto, no coincidiendo con el estudio de Ávila et al. (2010), quienes reportaron que la aplicación de Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico no afectó en el peso seco de las plantas de café en almácigo cuando éstas se desarrollaron en suelo solo y que los mayores incrementos en el peso seco de las plantas se registraron al mezclar el suelo con Gallinaza en proporción 3:1 (25 %), sin que hubiera un efecto de la aplicación de fósforo.

Tabla 28. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los tratamientos en estudio.

Tratamientos		Peso seco del tallo y hojas	
Clave	Descripción	(g/planta)	Sig.
T ₁₀	RF + 5 % de Gallinaza	7,65	a
T ₁₇	5 % de Gallinaza	6,96	b
T ₅₀	STC + 5 % de Gallinaza	6,30	b
T ₆₀	STC + 20 % de Gallinaza	6,03	c
T ₂₀	RF + 20 % de Gallinaza	6,02	c
T ₃₀	RF + 35 % de Gallinaza	5,80	c
T ₁₈	20 % de Gallinaza	5,52	c
T ₉₀	FDA + 5 % de Gallinaza	4,97	c
T ₁₀	FDA + 20 % de Gallinaza	4,82	c
T ₇₀	STC + 35 % de Gallinaza	4,74	c
T ₁₆	Fosfato Diamónico	4,72	c
T ₁₁	FDA + 35 % de Gallinaza	4,28	d
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	3,31	d
T ₁₄	Roca Fosfórica	2,45	d
T ₁₉	35 % de Gallinaza	1,77	d
T ₁₃	Tierra agrícola	1,60	d
T ₈₀	STC + 50 % de Gallinaza	1,55	e
T ₁₂	FDA + 50 % de Gallinaza	1,33	e
T ₄₀	RF + 50 % de Gallinaza	1,08	e
T ₂₀	50 % de Gallinaza	0,57	f

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.
RF = Roca Fosfórica.; STC = Superfosfato Triple de Calcio.; FDA = Fosfato Diamónico.

Para este carácter, se muestra que las fuentes fosfatadas obtuvieron mejores resultados en combinación con la Gallinaza a niveles menores del 50 % en el sustrato, porque según Zibilske y Bradford (2003), citados por Galantini et al. (2007), ligeras modificaciones en el contenido de materia orgánica llegan a producir un impacto significativo en la mineralización del fósforo, y porque Casado (2003), menciona que la utilización de un fertilizante orgánico potencia la disponibilidad de fósforo para las plantas tanto de forma directa como indirecta. Esto se debe a que favorece una mayor producción de gas carbónico en el suelo, lo que facilita la solubilización de los fosfatos minerales; adicionalmente, promueve la formación de complejos fosfohúmicos y la eliminación de bases de aquellos fosfatos insolubles mediante la acción quelante de la materia orgánica. Asimismo, la fuente fosfatada con mejores resultados fue la Roca Fosfórica en un sustrato ácido y esto por su gran acción encalante, porque según Alegre et al. (1994), citados por Arévalo et al. (2003), hasta en un suelo con alta acidez y 85 % de saturación de aluminio, existió una rápida solubilidad de la Roca Fosfórica.

Tabla 29. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del peso de materia seca del tallo y hojas de los testigos.

Clave	Testigos	Peso seco del tallo y hojas	
	Descripción	(g/planta)	Sig.
T ₁₇	5 % de Gallinaza	6,96	a
T ₁₈	20 % de Gallinaza	5,52	b
T ₁₆	Fosfato Diamónico	4,72	b
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	3,31	b
T ₁₄	Roca Fosfórica	2,45	b
T ₁₉	35 % de Gallinaza	1,77	c
T ₁₃	Tierra agrícola	1,60	d
T ₂₀	50 % de Gallinaza	0,57	e

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

En el Tabla 29, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el peso de la materia seca de la parte aérea del café, confirmándose que la sola aplicación de 5 % de Gallinaza es suficiente para obtener plantas de mayor biomasa. Además, el tratamiento con 50 % de Gallinaza (T₂₀) fue el que presentó plantas de menor tamaño (Tabla 12) y biomasa, incluso inferior al tratamiento T₁₃ (Tierra agrícola), coincidiendo con Julca et al. (2002), quienes concluyeron que un sustrato compuesto por 50 % de gallinaza + 50 % de un suelo franco arenoso (relación 1:1) y rico en materia orgánica, causó efectos negativos en plantas de café

bajo. A respecto, este negativo puede deberse al alto contenido de sales del abono, de la alta humedad que se da en el sustrato y alto contenido de ácidos húmicos, que, en exceso, son perjudiciales para las plantas de café.

4.4. Área foliar

En el Tabla 30, se muestra el ANVA del área foliar a los 120 días dds, observándose que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos en estudio. Además, se observa que existen diferencias estadísticas altamente significativas para los factores fuentes fosfatadas (A) y niveles de Gallinaza (B), y en la interacción entre el factor Fuentes Fosfatadas (A) y niveles de Gallinaza (B), por lo que fue necesario realizar el estudio de los efectos simples de los factores en estudio. Se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos testigos. Existe diferencias estadísticas altamente significativas, entre la media de todas las combinaciones respecto al promedio de los testigos. El coeficiente de variabilidad fue 13,92 %, valor que indica que existió muy buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Tabla 30. Análisis de variancia para el área foliar.

Fuente de variación	GL	SC	CM	SIG
Tratamientos	19	381529,17	20080,48	AS
Factorial	11	210072,92	19097,54	AS
A (Fuentes fosfatadas)	02	011395,00	05697,50	AS
B (Niveles de Gallinaza)	03	194673,80	64891,27	AS
A x B	06	04004,13	00667,35	AS
Testigos	07	144883,57	20697,65	AS
Factorial vs Testigos	01	026572,68	26572,68	AS
Error Experimental	80	020463,19	00255,79	
Total	99	403026,22		
C.V (%)	13,92			

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

4.4.1. Efectos principales

En el Tabla 31, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas para el área foliar, confirmándose el mejor efecto de la Roca Fosfórica en un sustrato fuertemente ácido (Tabla 4), porque estadísticamente obtuvo mayor área foliar por

planta en comparación a lo obtenido por efecto del Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico, porque la Roca Fosfórica tiene un efecto alcalinizante y actúa como enmienda química, aun cuando la saturación de acidez cambiante del suelo utilizado como sustrato (12.33 %) (Tabla 4) sea tolerable por el cultivo de café; además, porque según Chien et al. (2010), al añadir cal a los suelos ácidos se eleva el pH y se reduce la toxicidad del aluminio. Además, la disolución de la Roca Fosfórica pudo ser beneficiada por la presencia de la Gallinaza, porque este aumenta directa e indirectamente la disponibilidad de fósforo para la planta de café. El área foliar por efecto del Superfosfato Triple de Calcio fue estadísticamente mayor al área foliar obtenida con el Fosfato Diamónico.

Tabla 31. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor fuentes fosfatadas (A) para el área foliar.

Fuentes fosforadas	(cm ² /planta)	Significancia
Roca Fosfórica	140,30	a
Superfosfato Triple de Calcio	132,14	b
Fosfato Diamónico	113,07	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

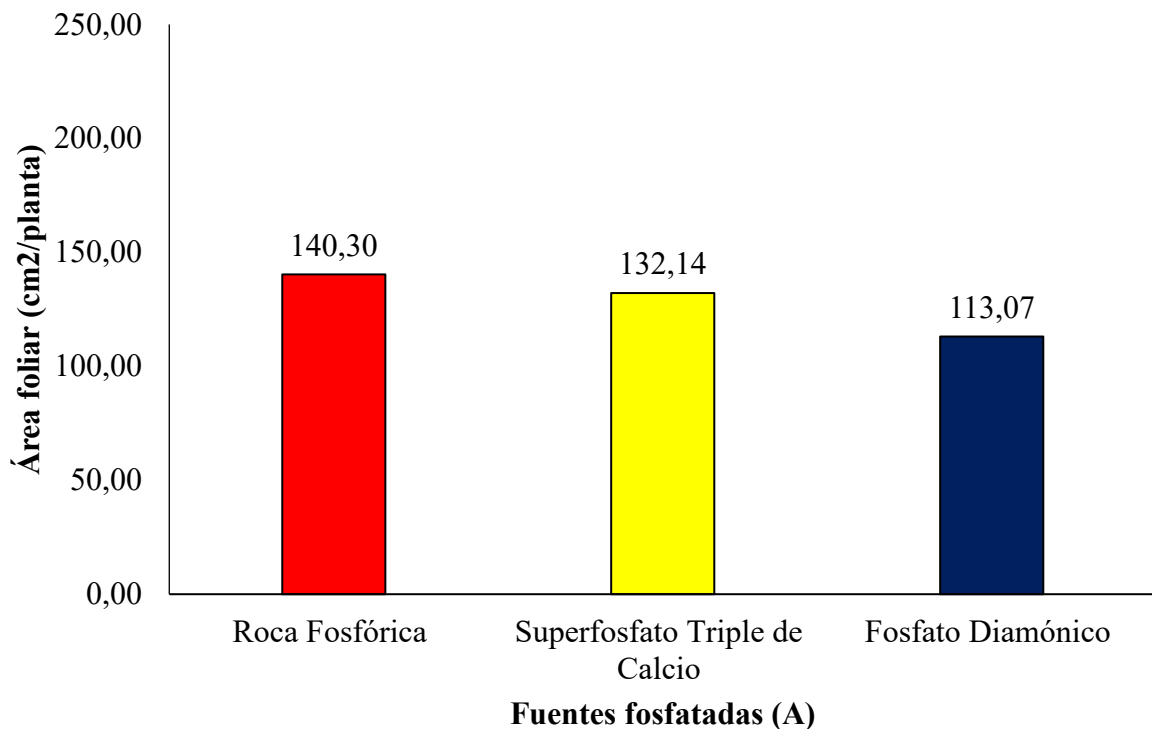


Figura 12. Área foliar por efecto de las fuentes fosfatadas.

Teóricamente, al aumentar la proporción de Gallinaza en el sustrato, debería aumentar el contenido de nitrógeno y, en consecuencia, aumenta el área foliar, porque

Monsalve et al. (2009), encontró un aumento significativo del área foliar a medida que aumentó la concentración de nitrógeno en el medio de crecimiento; sin embargo, en el Tabla 32 y Figura 13, se observan que el área foliar aumenta significativamente al aplicar 5 % Gallinaza en el sustrato, porque a esa concentración hay mejores características microclimáticas (aireación, pH, humedad y temperatura) en el sustrato que facilitan una mayor descomposición de la materia orgánica; porque a medida que se incrementa la concentración de Gallinaza, estas características son alteradas y en consecuencia, la nutrición de las plantas también es alterada, porque se observa como el área foliar se reduce de forma significativa al aumentar la concentración de Gallinaza (Figura 13) y esto se da según Campos (1998), a una alta concentración en el abono, existe una alta concentración de sales, aumentando la conductividad eléctrica que llega a dificultar el desarrollo de las raíces hasta el punto de quemarlas.

Tabla 32. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor niveles de Gallinaza (B) para el área foliar.

Niveles de Gallinaza	(cm ² /planta)	Significancia
05 %	181,83	a
20 %	173,46	b
35 %	127,61	c
50 %	031,10	d

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

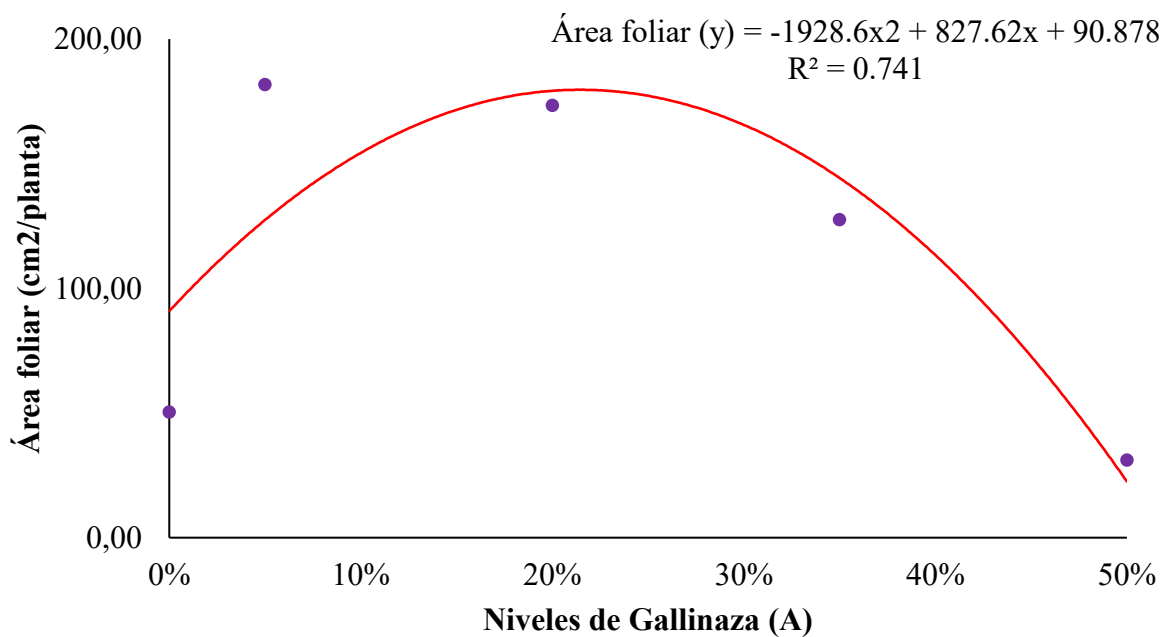


Figura 13. Variación del área foliar por planta en función a la concentración del abono Gallinaza en el sustrato.

4.4.2. Efectos simples

En el Tabla 33, se muestra que existe efecto de interacción entre el factor fuentes fosfatadas y los niveles de Gallinaza, al 5 %, 20 %, 35 % y 50 % respectivamente. También se muestra que existe efecto de interacción entre el factor niveles de Gallinaza y entre las tres fuentes fosfatadas, Roca Fosfórica, Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico.

Tabla 33. Análisis de variancia de los efectos simples para el área foliar.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
A en b ₁	19	6123,37	03061,68	AS
A en b ₂	11	03630,26	01815,13	AS
A en b ₃	2	01271,47	0635,73	AS
A en b ₄	3	00318,20	00159,10	AS
B en a ₁	6	96932,17	32310,72	AS
B en a ₂	7	68084,77	22694,79	AS
B en a ₃	1	53802,14	17934,05	AS
Error experimental	80	1380,31	0017,25	

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

En el Tabla 34, se muestran que cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 5 %, 20 % y 35 %, el efecto de la Roca Fosfórica fue estadísticamente mayor al del Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato Diamónico en área foliar; entre Superfosfato Triple de Calcio y Fosfato las diferencias fueron significativas. Asimismo, que cuando se aplicó Gallinaza al nivel de 50 %, el efecto del Superfosfato Triple de Calcio fue estadísticamente mayor al de la Roca Fosfórica y Fosfato Diamónico. Entre estos dos no hubo diferencias significativas.

Tabla 34. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los efectos simples del factor fuentes fosfatadas cada nivel de Gallinaza.

5 % de Gallinaza			20 % de Gallinaza			35 % de Gallinaza			50 % de Gallinaza		
Inter.	(cm ²)	Sig.	Inter.	(cm ²)	Sig.	Inter.	(cm ²)	Sig.	Inter.	(cm ²)	Sig.
RF	203,69	a	RF	192,63	a	RF	136,90	a	STC	37,62	a
STC	186,84	b	STC	173,23	b	STC	130,87	b	RF	27,97	b
FDA	154,96	c	FDA	154,52	c	FDA	115,07	c	FDA	27,73	b

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.
 Leyenda: RF = Roca Fosfórica. STC = Superfosfato Triple de Calcio. FDA = Fosfato Diamónico.

En la Figura 14, se observa que el área foliar de la planta disminuye a medida que aumenta la concentración de Gallinaza en el medio de crecimiento. Asimismo, se evidencia que la eficiencia del Fosfato Diamónico en un sustrato fuertemente ácido (Tabla 4) fue inferior en comparación con las demás fuentes fosfatadas en todos los niveles de Gallinaza evaluados. Este efecto negativo concuerda con lo reportado por Ávila et al. (2007), quienes indicaron que la aplicación de Fosfato Diamónico en dosis superiores a 4 g por planta en suelos de pH ácido puede afectar el desarrollo de las raíces de las plantas de café en fase de vivero, debido al efecto acidificante residual de este fertilizante. Como consecuencia, se dificulta la absorción de nutrientes y agua, lo que se traduce en plantas con menor área foliar. Además, los mismos autores sugieren el uso del Superfosfato Triple de Calcio como una fuente de fósforo más adecuada en este tipo de suelos.

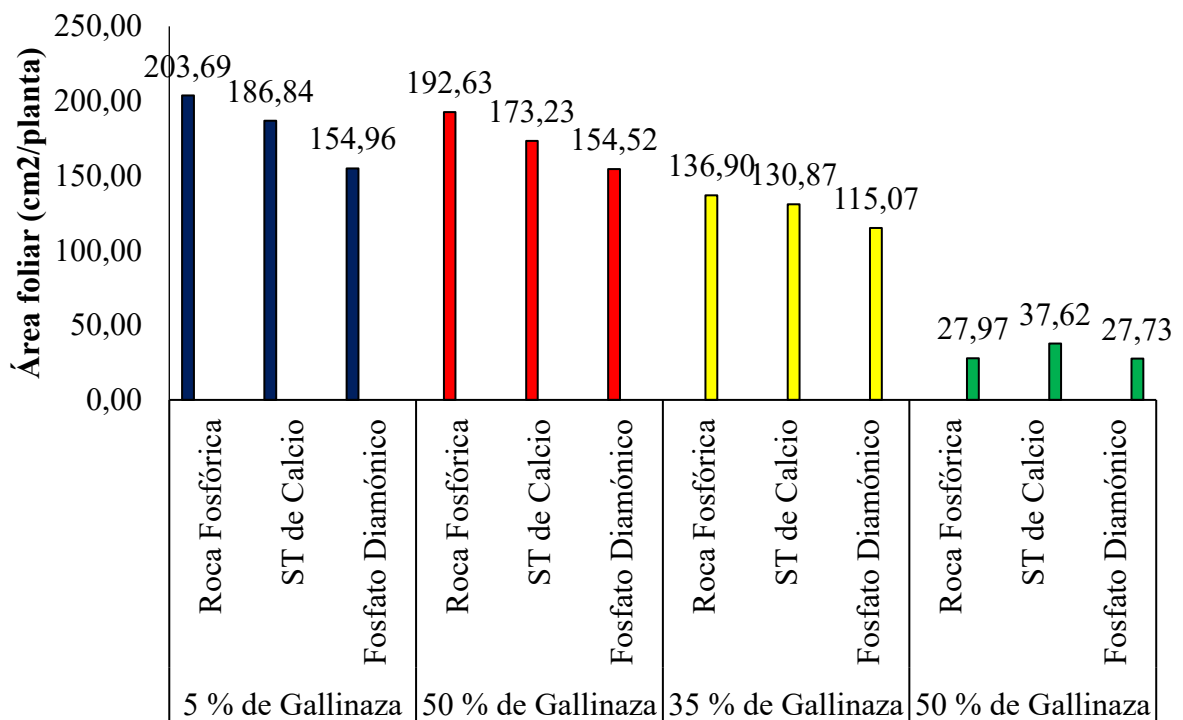


Figura 14. Área foliar por efecto de tres fuentes fosfatadas al 5 %, 20 %, 35 % y 50 % de Gallinaza.

En el Tabla 35, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar por planta de café de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza en las fuentes fosfatadas, observándose que en las tres fuentes fosfatadas se mantuvo la misma tendencia de que conforme se incrementaron los niveles de Gallinaza, el área foliar disminuyó (Figura 15), confirmando una vez más el efecto negativo de la Gallinaza en proporciones mayores al 5 %, porque en vez de mejorar las propiedades químicas físicas y biológicas del sustrato, son alteradas y en consecuencia, existe menor disponibilidad de elementos minerales y por ende desfavorecen la

interceptación total de la energía luminosa por parte de la planta, lo que a su vez afecta a la fotosíntesis, a la transpiración, a la acumulación de materia seca y al crecimiento y desarrollo de la misma, porque según Gomes et al. (2000), una no adecuada formación en la superficie foliar de las plantas (área foliar), conlleva a una reducción importante de los procesos asimilativos, como la fotosíntesis.

Una vez más, se evidencia que la aplicación de gallinaza en sus niveles más altos tuvo un impacto considerable al modificar el efecto de las fuentes fosfatadas. Según Pineda (2004) citado por Medina et al. (2010), al aumentar el número de hojas de la planta se amplía el área foliar, lo que conduce a una mayor producción de fotoasimilados, responsables del crecimiento en altura y de la longitud de cualquier otro órgano. Por ello, la incidencia de la gallinaza sobre el área foliar repercutió en los demás parámetros evaluados, observándose los mejores resultados con un 5 % de gallinaza en el sustrato del café en fase de vivero; en contraste, aumentar aún más su proporción no produjo efectos tan favorables.

Tabla 35. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los efectos simples del factor niveles de Gallinaza en las fuentes fosfatadas.

Roca Fosfatada			Superfosfato Triple			Fosfato Di Amónico		
Interacción	(cm²)	Sig.	Interacción	(cm²)	Sig.	Interacción	(cm²)	Sig.
05 % Gallinaza	203,69	a	05 % Gallinaza	186,84	a	05 % Gallinaza	154,96	a
20 % Gallinaza	192,63	b	20 % Gallinaza	173,23	b	20 % Gallinaza	154,52	a
35 % Gallinaza	136,90	c	35 % Gallinaza	130,87	c	35 % Gallinaza	115,07	b
50 % Gallinaza	027,97	d	50 % Gallinaza	037,62	d	50 % Gallinaza	027,73	c

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística

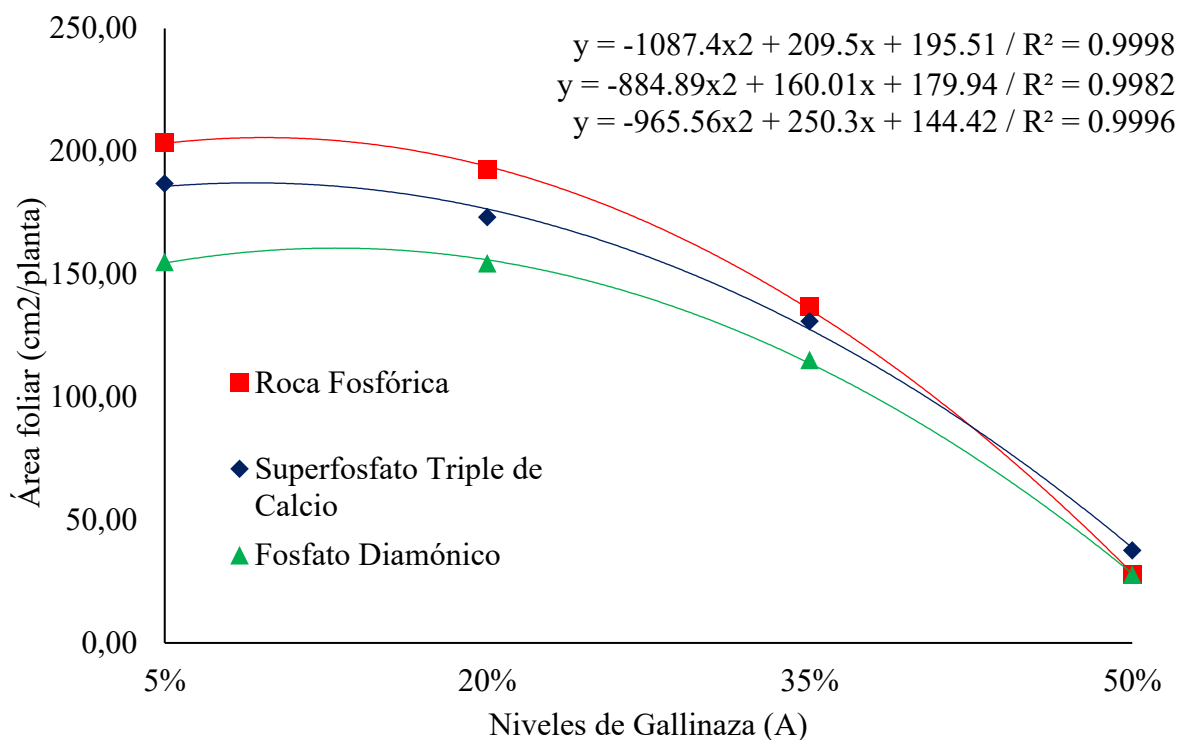


Figura 15. Variación del área foliar por planta de café por efecto de los niveles de Gallinaza y su efecto en las fuentes fosfatadas.

4.4.3. Tratamientos en estudio

En el Tabla 36, se muestra estadísticamente que el área foliar de las plantas de café fue mayor con sustratos con Gallinaza al 5 %, 20 % y 35 % en combinación con las fuentes fosfatadas. Ávila et al. (2010), no encontraron efecto de la aplicación de fósforo, al emplear Fosfato Diamónico y Superfosfato Triple de Calcio, cuando se utilizó Gallinaza en un suelo para almácigo de café; en cambio, la aplicación de abonos orgánicos sí afectó el crecimiento de las plantas; pero en nuestro experimento, encontramos que la combinación de los fertilizantes fosfatados con la Gallinaza a niveles bajos, dieron plantas de café con mayor área foliar, discrepando de dicho material bibliográfico.

Además, Ávila et al. (2010) reportaron que el aumento de la acidez generada por la nitrificación del amonio proveniente del Fosfato Diamónico puede afectar negativamente el crecimiento de las raíces de la planta de café. Estos resultados coincidieron con los obtenidos en nuestro estudio, donde las plantas tratadas con Fosfato Diamónico presentaron menor peso de materia seca de la raíz en comparación con los demás tratamientos (Tabla 21). Sin embargo, se observó que el Fosfato Diamónico promovió un mayor desarrollo del área foliar, a pesar de su efecto adverso en la parte radicular. Esto podría explicarse porque, según Guerrero (2001), la acidez residual del Fosfato Diamónico está relacionada con su

contenido de amonio, ya que durante el proceso de nitrificación (conversión de NH_4^+ a NO_3^-), se libera H^+ , lo que provoca una disminución del pH del sustrato.

La combinación de Roca Fosfórica con Gallinaza en proporciones del 5 % y 20 % favoreció un mayor desarrollo del área foliar en las plantas de café. Asimismo, el sustrato con solo 5 % de Gallinaza mostró, de manera estadística, un incremento en el área foliar en comparación con los demás tratamientos evaluados. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Matheus et al. (2007), quienes destacaron la Gallinaza sobre otros fertilizantes orgánicos debido a su mayor contenido de nitrógeno y fósforo asimilable. Por otro lado, el Superfosfato Triple de Calcio y el Fosfato Diamónico, al mezclarse con Gallinaza, no generaron el mismo efecto positivo que la Roca Fosfórica. Según Ávila et al. (2010), el Fosfato Diamónico puede acidificar el suelo, mientras que la aplicación en altas dosis de Superfosfato Triple de Calcio tiende a incrementar el pH. En general, se concluye que las fuentes fosfatadas presentan una mayor solubilidad cuando se combinan con Gallinaza en concentraciones inferiores al 50 %, destacando la Roca Fosfórica como la opción más efectiva en la fase de vivero.

Tabla 36. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar de los tratamientos en estudio.

Clave	Tratamientos Descripción	Área foliar	
		cm ² /planta	Sig.
T ₁₀	RF + 5 % de Gallinaza	203,69	a
T ₂₀	RF + 20 % de Gallinaza	192,63	b
T ₁₇	5 % de Gallinaza	189,23	b
T ₅₀	STC + 5 % de Gallinaza	186,84	c
T ₆₀	STC + 20 % de Gallinaza	173,23	c
T ₁₆	Fosfato Diamónico	160,86	c
T ₉₀	FDA + 5 % de Gallinaza	154,96	c
T ₁₀	FDA + 20 % de Gallinaza	154,52	c
T ₁₈	20 % de Gallinaza	141,57	c
T ₃₀	RF + 35 % de Gallinaza	136,90	c
T ₇₀	STC + 35 % de Gallinaza	130,87	c
T ₁₁	FDA + 35 % de Gallinaza	115,07	d
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	095,01	d
T ₁₄	Roca Fosfórica	058,20	d
T ₁₃	Tierra agrícola	050,41	d
T ₁₉	35 % de Gallinaza	046,33	d
T ₈₀	STC + 50 % de Gallinaza	037,62	e
T ₄₀	RF + 50 % de Gallinaza	027,97	e
T ₁₂	FDA + 50 % de Gallinaza	027,73	e
T ₂₀	50 % de Gallinaza	005,50	f

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.
RF = Roca Fosfórica.; STC = Superfosfato Triple de Calcio.; FDA = Fosfato Diamónico.

En el Tabla 37, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del área foliar por planta de los tratamientos Testigo, observándose que el testigo con 5 % de Gallinaza (T₁₇), estadísticamente obtuvo un área foliar superior que los demás testigos en estudio. La Gallinaza

a niveles menores de 35 % en el sustrato obtuvo plantas con mejor área foliar, debido a la incorporación de Gallinaza que posiblemente incrementó el pH del medio de crecimiento, porque según Ávila et al. (2007), la Gallinaza podría el incrementar del pH debido al uso de cal en la preparación de las camas.

Tabla 37. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el área foliar de los testigos.

Clave	Testigos	Área foliar	
	Descripción	cm ² /planta	Sig.
T ₁₇	5 % de Gallinaza	189,23	a
T ₁₆	Fosfato Diamónico	160,86	b
T ₁₈	20 % de Gallinaza	141,57	b
T ₁₅	Superfosfato Triple de Calcio	095,01	b
T ₁₄	Roca Fosfórica	058,20	b
T ₁₃	Tierra agrícola	050,41	c
T ₁₉	35 % de Gallinaza	046,33	d
T ₂₀	50 % de Gallinaza	005,50	e

Tratamientos unidos por la misma letra en una columna, no existe significación estadística.

Julca et al. (2002), sostienen que los abonos orgánicos no sólo contienen nitrógeno, sino también otras sustancias como las poliaminas y etileno que actúan como reguladores del crecimiento de las plantas; sin embargo, según nuestro experimento que a mayor cantidades de Gallinaza en el sustrato se inhibió el mejor desarrollo de las plantas de café, posiblemente se deba a que las sustancias orgánicas en mayores cantidades se podrían volver perjudiciales, como el caso de las sustancias húmicas que en grandes cantidades inhiben la fijación de magnesio y azufre por las plantas.

Aguilar y Altamirano (2001) afirman que utilizar gallinaza en almácigos es ventajoso por su alto aporte nutricional, especialmente porque el nitrógeno que contiene se encuentra en una forma muy accesible para las plantas. De igual forma, Escobar et al. (2012) destacan que la gallinaza no solo suministra minerales y proteínas que facilitan la absorción de nutrientes, sino que también promueve la mineralización de otras fuentes orgánicas mediante la acción de los microorganismos del suelo. Sin embargo, nuestro experimento demostró que estos beneficios en plantas de café en vivero se alcanzan únicamente cuando la concentración de gallinaza en el sustrato es menor al 35 %.

Aunque la combinación de Roca Fosfórica y Superfosfato Triple de Calcio con gallinaza mejoró las propiedades físico-químicas del suelo extremadamente ácido, se puede deducir que la gallinaza tuvo una influencia predominante en el medio de crecimiento. Según Oré (1995), esta fuente fue la que más incrementó el nitrógeno nítrico, al producir mayores cantidades de amonio que favorecieron a los organismos nitrificadores. Además, Julca et al. (2002) señalan que la gallinaza mejora las propiedades físicas del suelo y potencia la capacidad de intercambio catiónico, lo que resultó en plantas con un área foliar más amplia.

La mejor fuente fosfatada en mezcla con la Gallinaza fue la Roca Fosfórica, mejorando los caracteres de las plantas de forma significativa, debido a que la Gallinaza mejora la solubilidad de la Roca Fosfórica; asimismo, según Paredes y Espinoza (2009), los microorganismos presentes en los procesos de degradación de fertilizantes, también están involucrados en los procesos de transformación del fósforo, además de la mineralización del fosfato orgánico y en la solubilización del fosfato inorgánico. Por su parte, Chien (2003), sostiene que la eficiencia agronómica de la Roca Fosfórica se reduce apreciablemente a pH superiores a 5,5; por esta razón, la Roca Fosfórica tuvo mejor eficiencia que las demás fuentes fosfatadas, ya que al principio el suelo era extremadamente ácido; sin embargo, en combinación con la Gallinaza tuvo mejor efecto sobre las plantas de café en fase de vivero.

V. CONCLUSIONES

1. Existió un efecto positivo de las tres fuentes fosfatadas al combinarse con Gallinaza al 5 % y 20 % en el sustrato, ya que se obtuvo plantas de café con mejores características biométricas que las plantas de café que crecieron en un medio de crecimiento sin adición de fósforo, ni Gallinaza (Tierra agrícola).
2. La aplicación de Gallinaza al 5 % en el sustrato en combinación con las fuentes fosfatadas produjeron plantas de café con mejores características biométricas en vivero en comparación a los demás niveles de Gallinaza.
3. Aplicaciones superiores a 20 % de Gallinaza afectan significativamente las características biométricas de las plantas de café.
4. La Roca Fosfórica significativamente fue la mejor fuente fosfatada, que al combinarse con la Gallinaza a niveles de 5 y 20 % obtuvo plantas de café con mayor biomasa y área foliar que las demás fuentes fosfatadas.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Existió un efecto positivo de las tres fuentes fosfatadas al combinarse con Gallinaza al 5 % y 20 % en el sustrato, ya que se obtuvo plantas de café con mejores características biométricas que las plantas de café que crecieron en un medio de crecimiento sin adición de fósforo, ni Gallinaza (Tierra agrícola).
2. La aplicación de Gallinaza al 5 % en el sustrato en combinación con las fuentes fosfatadas produjeron plantas de café con mejores características biométricas en vivero en comparación a los demás niveles de Gallinaza.
3. Aplicaciones superiores a 20 % de Gallinaza afectan significativamente las características biométricas de las plantas de café.
4. La Roca Fosfórica significativamente fue la mejor fuente fosfatada, que al combinarse con la Gallinaza a niveles de 5 y 20 % obtuvo plantas de café con mayor biomasa y área foliar que las demás fuentes fosfatadas.

VII. REFERENCIAS

- Andina. (2020). Día del Cacao y del Chocolate: Perú destaca por su producción de cacao fino (pp. 1–3).
- Aguilar, V., y Altamirano, A. (2001). *Efectos de fuentes de fertilizantes (químico y orgánico) y control de maleza sobre frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones de Laderas, Ticuantepe, Postrera, 1999* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Managua, Nicaragua.
- Agroestrategias. (2017). *Efecto del exceso de humedad en suelos sobre la disponibilidad de nutrientes para los cultivos*. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, de <https://goo.gl/8R99Eh>
- Arévalo, L., Alegre, J., y Fasabi, R. (2003). Efecto del fósforo sobre el establecimiento del *Centrosema macrocarpum benth* dentro de una plantación de pijuayo (*Bactris gasipaes h.b.k.*) en un ultisol del trópico húmedo. *Ecología Aplicada*, 2(1), 93–97.
- Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P., y Castro, H. (2007). Producción de almácigos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y de fósforo. *Cenicafé, avances técnicos*, (356), 1–12.
- Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P., y Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Cenicafé*, 61(4), 358–369.
- Balta, R., Rodríguez, A., Guerrero, R., Cachique, D., Alva, E., Arévalo, L., y Loli, O. (2011). Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)* en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 123–130.
- Brenes, E., y Bornemisza, E. (1992). Solubilidad inicial de la roca fosfórica en Ultisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 1–11.
- Buitron, B. (1976). *Evaluación biológica de la roca bruta Bayovar aplicada sola y en mezcla (50:50) con superfosfato simple, usando en cultivos de papa bajo condiciones de invernadero* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima, Perú.
- Cantarero, R., y Martínez, O. (2002). *Evaluación de tres tipos de fertilizantes (Gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (Zea mays L.), variedad NB-6* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Managua, Nicaragua.
- Camas, R., Turrent, A., Cortes, J., Livera, M., González, A., Villar, B., López, J., Espinoza, N., y Cadena, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 231–243.

- Campos, T. (1998). *Uso del bioabono líquido y del guano de isla para el tratamiento de semillas de quinua y cebada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 24–25.
- Carpenter, R., Caraco, E., Correll, L., Howarth, W., Sharpley, N., y Smith, H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(1), 558–568.
- Casado, J. (2003). *Fertilización orgánica e inorgánica del cultivo de maní en un suelo aluvial en Tingo María* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Castañeda, E. (1997). *Manual técnico cafetalero*. Proyecto ADEX-USAID. Lima, Perú.
- Castellón, J., Muschler, R., y Jiménez, F. (2000). Abonos orgánicos: efecto de sombra en almácigos de café. *Agroforestería de las Américas*, 26(1), 30–33.
- Castro, E. (1998). *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas*. Manual técnico. Produmedios. Bogotá, Colombia.
- Castro, P., Contreras, Y., Laca, D., y Nakamatsu, K. (2004). Café de especialidad: Alternativa para el sector cafetalero peruano. *Programa Magister en Administración; ESAN*, 9(17), 61–84.
- CISA Agro. (2017). *Fosfato diamónico*. Recuperado el 9 de febrero de 2017, de <http://cisaagro.com/images/stories/VADEMECUM2/fertilizantes/DAP-01.pdf>.
- Chien, H. (2003). Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. En *Direct application of phosphate rock and related technology: Latest development and practical experiences* (pp. 50–62).
- Chien, H., Prochnow, L., y Mikkelsen, R. (2010). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. *Informaciones Agronómicas*, (1), 13–16.
- Corrales, L., Arévalo, Z., y Moreno, V. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 12(21), 1794–2470.
- Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 43–48.
- Escobar, F., Sánchez, J., y Azero, M. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, 5(3), 390–410.
- Fertinova. (2017). *Superfosfato de calcio triple 00-46-00*. Recuperado el 9 de febrero de 2017, de <https://goo.gl/Z7UioH>.

- Figuroa, R., Fisherworrying, B., y Rosskamp, R. (1996). *Guía para la caficultura ecológica*. Café Orgánico - GTZ. Lima, Perú.
- Finarvis. (2017). *Fertilizantes fosforados: Fosfato diamónico*. Recuperado el 9 de febrero de 2017, de <https://goo.gl/jbXQzV>.
- Galantini, A., Suñer, G., y Iglesias, O. (2007). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *RIA*, 36(1), 63–81.
- Gomes, J., Couto, L., Leite, H., Xavier, A., y García, L. (2002). Parâmetros morfológicas na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 26(6), 655–664.
- Gros, A., y Domínguez, A. (1992). *Abonos: guía práctica de la fertilización* (8.^a ed.). Mundi Prensa. Madrid, España.
- Guerrero, A. (1996). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
- Guerrero, A. (2000). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Editorial Mundi Prensa. Bilbao, España.
- Guerrero, R. (2001). Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. En Silva, M. F. (Ed.), *Fertilidad de suelos; diagnóstico y control* (2.^a ed., pp. 247–281). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia.
- Hernández, T. (1996). Stimulation of barley growth and nutrients absorption by humic substances originating from various organic materials. *Bioresource Technology*, 57(3), 251–257.
- Hernández, J., y Cruz, A. (1993). *Boletín informativo sobre el uso de subproductos: Gallinaza*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
- Iglesias, D. (2002). *Efecto de la roca fosfórica y gallinaza en el crecimiento del cultivo de café (Coffea arabica L.) variedad Catimor en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Intagri. (2018). *Efectos del exceso de humedad del suelo en el sistema radical y absorción de nitrógeno en el maíz*. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de <https://goo.gl/WrCB35>.
- Imhoff, S., Pires, A., y Antonio, C. (2000). Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(7), 1493–1500.
- IPNI. (2016). *Fuentes nutrientes específicos: Fosfato diamónico como fertilizante del cultivo*. Recuperado el 16 de diciembre de 2016, de <https://goo.gl/cMKpgE>.

- IPNI. (2017). *Fuentes nutrientes específicos: Superfosfato triple de calcio como fertilizante*. Recuperado el 9 de febrero de 2017, de <https://goo.gl/xcuSKL>.
- Jaramillo, D. (2011). Caracterización de la materia orgánica del horizonte superficial de un andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(134), 23–33.
- Julca, A., Solano, W., y Crespo, R. (2002). Crecimiento de *Coffea arabica* variedad Caturra amarillo en almácigos con sustratos orgánicos en Chanchamayo, selva central del Perú. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, 17(3), 353–365.
- Julca, A., López, S., y Crespo, R. (2010). Crecimiento de *Bactris gasipaes* Kunth en almácigos con sustratos orgánicos de la selva peruana. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, 16(3), 367–370.
- Lee, C. (2013). *Identification of phosphorus efficient potato cultivars* (Master's thesis). University of Florida, United States of America.
- Legaz, F., Martín, B., Serna, M., y Muñoz, N. (1996). Dinámica de nutrientes y mejora de las técnicas de fertilización en cítricos. *Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA)*, España, 233–239.
- Lemos, E., Cavo, J., y Ferraris, G. (2004). Utilización de roca fosfórica en una rotación de cultivos agrícolas bajo siembra directa continua. *Desarrollo Rural INTA Pergamino*, 11 p.
- León, W. (2016). *Manejo de la fertilización de maíz (Zea mays L.) en el Valle Santa Catalina* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Trujillo, Perú.
- Lora, R. (2001). Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. En Silva, M. F. (Ed.), *Fertilidad de suelos; diagnóstico y control* (2.ª ed., pp. 29–55). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Lorente, H. (1997). *Biblioteca de la agricultura, suelos, abonos y materias orgánicas, los frutales, defensa de las plantas cultivadas, técnicas agrícolas en cultivos extensivos, hortalizas y cultivos en invernadero*. Editorial Lexus. Barcelona, España.
- Lozano, Z., Hernández, R., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M., y Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Revista Interciencia*, 37(11), 820–827.
- Mansilla, L. (2013). *Niveles críticos para la interpretación del análisis de suelos*. Curso de interpretación de análisis físico-químico en los cultivos de café y cacao, Folleto N.º 1, 1–5. Tingo María, Perú.

- Marín, G. (2012). *Producción de cafés especiales: Manual técnico*. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (DESCO). Impresiones Roble Rojo Grupo de Negocios S.A.C. La Molina, Lima, Perú, 13–21.
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 38(1), 315–332.
- Martínez, F., Ojeda, D., Hernández, A., Martínez, J., y De la O Quezada, G. (2011). *El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura*. Universidad Autónoma de Chihuahua, México, 5–6.
- Matheus, J., Graterol, G., Simancas, D., y Fernández, O. (2007). Efecto de diferentes abonos orgánicos y su correlación con bioensayos para estimar nutrientes disponibles. *Agricultura Andina*, 13(1), 19–26.
- Medina, G., García, E., Moatinos, P., Cova, J., y Clavero, T. (2010). Evaluación en vivero de especies con potencial para sistemas agroforestales en el estado de Trujillo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(1), 2323–250.
- Mendoza, B., Vera, E., Chassaingne, A., Gómez, C., Torres, D., y Bastidas, Y. (2015). Efecto de posición fisiográfica y profundidad en dos sistemas de labranza sobre atributos de un suelo de Turén. *Revista UNELL de Ciencia y Tecnología*, 33(1), 1–12.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). *Síntesis agroeconómica del café* (1.^a ed.). Lima, Perú, 5–6.
- Molina, E. (1998). *Encalado para la corrección de la acidez del suelo*. ACCS, San José, Costa Rica, 45 p.
- Molina, A., y Henríquez, C. (2003). Características y manejo de fertilizantes que contienen calcio, magnesio y azufre. Costa Rica, 58–68.
- Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M., Sánchez, M., y Coopman, R. (2009). Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Revista Bosque*, 30(2), 88–94.
- Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. Memoria técnica para optar al título de Ingeniero Zootecnista. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 79 p.
- Munera, G., y Meza, D. (2014). *El fósforo: elemento indispensable para la vida vegetal*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. Folleto N°1, Pereira, Colombia, 4–15.

- Novelo, L., León, N., y Pérezgrovas, V. (1998). Harina de hueso adicionada a suelos de la zona cafetalera de los Altos de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 16(1), 71–77.
- Ojekami, A., Ige, D., Hao, X., and Akinremi, O. (2011). Phosphorus mobility in a soil with long-term manure application. *Journal of Agricultural Science*, 3(3), 25–38.
- Oré, R. (1995). *Efecto de la reacción del suelo en la mineralización del nitrógeno de tres abonos orgánicos y absorción de nitrógeno en plantas de sorgo (Sorghum vulgare L.)*. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 78 p.
- Osorno, L. (2013). *Bio-acidulación de roca fosfórica bajo condiciones in vitro*. Tesis para optar al título de Magíster en Ciencias, Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 19–20.
- Paredes, M., y Espinosa, D. (2009). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61–70.
- Patiño, O. (2010). *Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del Cauca: Estudio de biodiversidad y eficiencia*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia, 133 p.
- Patiño, C., y Sanclemente, E. (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado*, 10(2), 288–297.
- Pérez, A., De la Ossa, J., y Montes, D. (2012). Hongos solubilizadores de fosfatos en fincas ganaderas del departamento de Sucre. *Revista Colombiana de la Ciencia Animal*, 4(1), 35–45.
- Quevedo, A. (1994). Crecimiento inicial de *Guazuma crinita* trasplantada a campo abierto con aplicación de tres dosis de humus de lombriz y a tres distanciamientos. *Folia Amazónica*, 6(1-2), 151–163.
- Quijano, J. (2008). *Caficultor, sea usted el doctor de su cafetal*. PROCAFE. Santa Tecla, Honduras. Recuperado el 28 de febrero de 2016 de <https://goo.gl/jkUphn>.
- Restrepo, M., Marulanda, S., De la Fe, Y., Díaz, A., Baldani, V., y Hernández, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 46(1), 63–76.
- Romero, A., Jiménez, F., y Muschler, R. (2000). Crecimiento de almácigo de café con abono tipo bocashi y follaje verde de *Erythrina poeppigiana*. *Agroforestería de las Américas*, 26(1), 37–39.

- Salazar, N., y Mestre, A. (1990). Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. En *Avances Técnicos de Cenicafe* (No. 114-184, Tomo II, pp. 113–114). Federación de Cafeteros de Colombia, Colombia.
- Sánchez, D., Gómez, R., Garrido, M., y Bonilla, R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401–1415.
- Sela, G. (2018). *La salinidad del suelo*. CEO de SMART, Software de gestión de fertilizantes y experto internacional en nutrición de plantas e irrigación. Recuperado el 20 de agosto de 2018 de <https://goo.gl/VWjYJ2>.
- Silva, L., Gutierrez, N., y Venialgo, C. (2000). Efectos de cultivos forrajeros y de escarda en la porosidad de un durustol típico. *Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos - Universidad Nacional del Nordeste*, Corrientes, Argentina, 4 p.
- SMART. (2018). *Gestión de nitrógeno*. SMART Software - Programa para Fertilización de Cultivos. Recuperado el 20 de agosto de 2018 de <https://goo.gl/rTWpWV>.
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: definiciones y procesos. En *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura* (pp. 20–49). Editorial Meléndez, San José, Costa Rica.
- Soto, G., y Meléndez, G. (2004). *Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos*. Hoja técnica N° 48. Manejo integrado de plagas y agroecología N° 72. Costa Rica, 91–97.
- Tisdale, L., y Nelson, L. (1991). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España.
- Vergara, S. (2012). *Reporte de inteligencia de mercados: Café peruano “Aroma y sabor para nosotros y el Mundo”*. Lima, Perú. Recuperado el 1 de julio de 2016 de <https://goo.gl/mzp9ZX>.
- Villagarcía, S. (1990). *Resultados de ensayo de invernadero y de campo sobre fertilización y nutrición mineral en el cultivo de la papa*. Centro Internacional de la Papa - Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Perú.
- Xiuchong, Z., Guojian, L., Jianwu, Y., Shaoying, A., y Lixian, Y. (2002). Lugar del fósforo orgánico en su programa de fertilización. *Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Informaciones Agronómicas*, N° 47, 12–14. Quito, Ecuador.
- Yacumal, V. (2015). *Aislamiento y caracterización de poblaciones bacterianas solubilizadoras de fosfatos en tres agroecosistemas del Valle del Cauca*. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.
- Young, C. (1997). Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. *Plant and Soil*, 195(1), 143–149.

- Zacarias, V. A. (2001). *Evaluación de la compatibilidad de injertación entre Coffea canephora P. y Coffea arábica L. y su crecimiento uno y dos plantas por bolsa en vivero*. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Zamora, L. (1998). *Informe Anual de Labores 1997/Pr*. Instituto del Café de Costa Rica. MBA. ICAFE – CICAFFE. Unidad Producción Agrícola, Heredia, Costa Rica.
- Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. Editorial de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Zavala. (2007). *Diplomado en cultivos industriales tropicales: Café, cacao y palma aceitera*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Agronomía, Tingo María, Perú, 47–48.

ANEXOS

Tabla 38. Resultados de la altura de planta de café a los 120 días después de la siembra.

Clave	Repeticiones					Suma	Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅		
T ₁	16.20	16.96	19.48	16.16	16.92	85.72	17.14
T ₂	13.88	13.40	15.54	12.50	13.86	69.18	13.84
T ₃	9.36	12.82	11.90	12.14	10.70	56.92	11.38
T ₄	9.90	7.48	8.42	8.64	6.83	41.26	8.25
T ₅	17.28	16.60	16.20	16.64	15.30	82.02	16.40
T ₆	14.40	14.10	13.80	14.60	14.96	71.86	14.37
T ₇	13.50	10.50	12.84	12.00	11.82	60.66	12.13
T ₈	13.43	8.38	11.10	14.00	8.75	55.66	11.13
T ₉	15.55	15.30	14.72	14.42	14.50	74.49	14.90
T ₁₀	14.10	14.22	13.86	14.00	14.60	70.78	14.16
T ₁₁	11.78	12.34	9.67	13.00	12.98	59.77	11.95
T ₁₂	9.50	7.46	7.25	7.78	7.86	39.85	7.97
T ₁₃	12.46	10.76	12.48	10.50	10.30	56.50	11.30
T ₁₄	11.42	12.46	13.90	14.06	14.88	66.72	13.34
T ₁₅	13.60	13.48	13.06	13.28	12.66	66.08	13.22
T ₁₆	12.80	11.26	13.50	14.75	14.00	66.31	13.26
T ₁₇	17.96	18.42	20.36	20.48	18.90	96.12	19.22
T ₁₈	13.23	14.08	1		14.12	69.44	13.89
T ₁₉	10.20	9.98	7		8.20	42.71	8.54
T ₂₀	6.50	7.55	7.80	7.73	7.60	37.18	7.44

Tabla 39. Resultados del peso de materia seca de tallos y hojas de la planta de café a los 120 días después de la siembra.

Clave	Repeticiones					Suma	Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅		
T ₁	7.66	7.37	6.45	9.03	7.73	38.24	7.65
T ₂	5.70	5.91	6.79	5.28	6.42	30.10	6.02
T ₃	5.09	5.42	7.15	4.91	6.42	28.98	5.80
T ₄	0.99	1.47	2.04	0.85	0.86	6.20	1.24
T ₅	7.60	5.95	6.03	6.24	5.67	31.49	6.30
T ₆	6.81	4.32	8.67	6.78	5.77	32.33	6.47
T ₇	3.76	5.73	5.39	4.20	4.60	23.68	4.74
T ₈	1.65	1.60	1.30	1.76	1.00	7.30	1.46
T ₉	5.35	4.40	5.23	5.57	4.27	24.83	4.97
T ₁₀	6.16	3.49	5.95	4.91	4.71	25.22	5.04
T ₁₁	3.38	4.46	4.91	4.08	4.58	21.41	4.28
T ₁₂	1.95	1.14	1.02	0.69	1.29	6.10	1.22
T ₁₃	1.82	2.08	1.64	1.59	1.28	8.41	1.68
T ₁₄	2.86	2.37	2.49	0.97	2.31	11.00	2.20
T ₁₅	2.85	2.61	3.61	3.66	3.23	15.96	3.19
T ₁₆	4.35	5.45	3.91	4.86	5.02	23.60	4.72
T ₁₇	6.57	8.01	7.05	6.84	6.32	34.78	6.96
T ₁₈	6.40	4.73	5.86	4.74	5.87	27.60	5.52
T ₁₉	1.48	2.13	1.40	1.64	2.18	8.83	1.77
T ₂₀	1.12	0.68	0.31	0.37	0.35	2.83	0.57

Tabla 40. Resultados del peso de materia seca de la raíz de la planta de café a los 120 días después de la siembra.

Clave	Repeticiones					Suma	Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅		
T ₁	1.79	1.61	1.66	1.84	1.66	8.55	1.71
T ₂	1.69	1.76	1.93	1.42	1.39	8.18	1.64
T ₃	1.65	1.57	1.68	1.62	1.68	8.21	1.64
T ₄	1.15	1.21	1.36	1.12	1.15	5.99	1.20
T ₅	1.28	1.45	1.45	1.51	1.40	7.10	1.42
T ₆	1.20	1.55	1.90	1.55	1.49	7.69	1.54
T ₇	1.40	1.52	1.47	1.25	1.30	6.94	1.39
T ₈	1.19	1.13	1.23	1.21	1.11	5.87	1.17
T ₉	1.42	1.45	1.63	1.58	1.59	7.67	1.53
T ₁₀	1.47	1.48	1.49	1.38	1.48	7.29	1.46
T ₁₁	1.57	1.53	1.52	1.56	1.55	7.73	1.55
T ₁₂	1.40	1.13	1.09	1.14	1.17	5.93	1.19
T ₁₃	1.24	1.23	1.22	1.20	1.10	5.98	1.20
T ₁₄	1.47	1.49	1.31	1.33	1.40	7.01	1.40
T ₁₅	1.53	1.48	1.56	1.56	1.59	7.71	1.54
T ₁₆	1.14	1.16	1.10	1.15	1.19	5.75	1.15
T ₁₇	1.57	2.21	1.60	1.46	1.56	8.41	1.68
T ₁₈	1.60	1.34	1.61	1.44	1.70	7.70	1.54
T ₁₉	1.05	1.15	1.18	1.22	1.22	5.81	1.16
T ₂₀	1.06	1.06	1.03	1.04	1.04	5.23	1.05

Tabla 41. Resultados del área foliar de la planta de café a los 120 días después de la siembra.

Clave	Repeticiones					Suma	Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅		
T ₁	206.71	201.84	162.01	217.33	197.97	985.86	197.17
T ₂	200.31	192.32	178.11	144.15	190.10	904.98	181.00
T ₃	137.65	125.24	151.76	128.71	156.68	700.05	140.01
T ₄	22.21	50.65	58.43	18.37	22.38	172.05	34.41
T ₅	217.33	181.93	173.37	201.87	187.88	962.39	192.48
T ₆	178.46	167.17	210.41	194.21	167.06	917.32	183.46
T ₇	109.83	150.88	146.02	124.65	129.50	660.89	132.18
T ₈	49.40	30.61	55.61	48.02	30.29	213.94	42.79
T ₉	163.50	118.95	150.49	146.85	117.21	696.99	139.40
T ₁₀	160.11	143.55	168.45	136.42	165.29	773.82	154.76
T ₁₁	86.36	114.93	136.69	111.18	111.88	561.04	112.21
T ₁₂	46.71	31.91	25.13	12.35	26.15	142.25	28.45
T ₁₃	52.85	51.67	46.35	50.77	38.51	240.15	48.03
T ₁₄	72.82	56.71	64.76	50.53	60.17	305.00	61.00
T ₁₅	93.49	75.82	106.24	110.18	86.45	472.18	94.44
T ₁₆	148.10	198.94	130.45	162.13	165.97	805.60	161.12
T ₁₇	194.09	192.10	180.32	184.46	170.95	921.93	184.39
T ₁₈	176.03	138.38	154.60	138.24	166.22	773.46	154.69
T ₁₉	42.33	52.14	34.14	44.52	57.54	230.67	46.13
T ₂₀	25.49	13.70	2.30	3.37	2.90	47.76	9.55



Figura 16. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Roca Fosfórica.



Figura 17. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Superfosfato.



Figura 18. Altura de planta por efecto de la Gallinaza más Fosfato Diamónico.



Figura 19. Altura de planta por efecto de Gallinaza sin fuente fosfatada.



Figura 20. Altura de planta por efecto de las fuentes fosfatadas sin Gallinaza.



Figura 21. Altura de planta de los tratamientos en estudio.