

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



**“EFECTO DE UN BIOESTIMULANTE Y UNA ENMIENDA MICROBIANA EN EL  
CRECIMIENTO DE PLANTONES DE *Coffea arábica* (CAFÉ) CULTIVAR COSTA  
RICA 95 EN CUATRO TIPOS DE SUSTRATOS”**

**TESIS**

**Para optar el título de  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:  
LUIS ANGEL MEDRANO CASTILLO**

**ASESORES:  
GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP  
LLERME NAVARRO VASQUEZ**

**Tingo María – Perú**

**2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



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

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 010-2025-FA-UNAS

BACHILLER : LUIS ANGEL MEDRANO CASTILLO

TÍTULO : EFECTO DE UN BIOESTIMULANTE Y UNA ENMIENDA MICROBIANA EN EL CRECIMIENTO DE PLANTONES DE *Coffea arabica* (CAFÉ) CULTIVAR COSTA RICA 95 EN CUATRO TIPOS DE SUSTRATOS.

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
VOCAL : M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS  
VOCAL : M.Sc. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES

ASESOR : M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP  
M.Sc. LLERME NAVARRO VASQUEZ

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 23/05/2025

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:00 A.M.

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

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
PRESIDENTE

M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS  
VOCAL

M.Sc. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES  
VOCAL

M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP  
ASESOR

TINGO MARÍA, 23 DE MAYO DEL 2025



UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 349 - 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
EFFECTO DE UN BIOESTIMULANTE Y UNA ENMIENDA MICROBIANA EN EL CRECIMIENTO DE PLANTONES DE Coffea arábica (CAFÉ) CULTIVAR COSTA RICA 95 EN CUATRO TIPOS DE SUSTRATOS	LUIS ANGEL MEDRANO CASTILLO	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 31 de octubre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

C.C. Archivo

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



**EFFECTO DE UN BIOESTIMULANTE Y UNA ENMIENDA MICROBIANA EN EL  
CRECIMIENTO DE PLANTONES DE *Coffea arábica* (CAFÉ) CULTIVAR COSTA  
RICA 95 EN CUATRO TIPOS DE SUSTRATOS**

**Autor** : Medrano Castillo, Luis Angel

**Asesor (es)** : M.Sc. Giannfranco Egoavil Jump  
M.Sc. Llerme Navarro Vásquez

**Área de investigación** : Ciencias Agrícolas

**Línea (s) de investigación** : Propagación de plantas y Sistema de producción Agrícola

**Eje temático** : Propagación sexual de plantas

**Lugar de ejecución** : Vivero facultad de agronomía - Tingo María - UNAS

**Duración del trabajo** : 12 meses

**Financiamiento** : S/ 6 343,00

**Tingo María - Perú, 2025**



**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** : Ciencias agrarias

**Título de la Tesis** : Efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en el crecimiento de plántones de *Coffea arábica* (café) cultivar costa rica 95 en cuatro tipos de sustratos

**Objetivo General** : Determinar el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en cuatro tipos de sustratos para la producción de plántones de *Coffea arábica* del cultivar Costa Rica 95

**Autor de la Tesis** : Medrano Castillo, Luis Angel

**DNI** : 72655765

**Correo electrónico** : luis.medrano@unas.edu.pe

**Asesores** : 1. Ing. M. Sc Giannfranco Egoavil Jump  
2. Dr. Llerme Navarro Vasquez

**Área de Investigación** : Ciencias agrícolas

**Grupo de Investigación** : Plantas agrícolas, medicinales, ornamentales y florísticos

**Línea de investigación** : Propagación de plantas y sistemas de producción agrícola

**Lugar de Ejecución** : Fundo Agrícola-Facultad de Agronomía

**Fecha de inicio** : Abril - 21

**Fecha de finalización** : Abril - 22

**Presupuesto** : S/6 343.00

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

## DEDICATORIA

A Dios

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

A mi familia

En especial a mi hermana Damaris Lucero Medrano Castillo que son lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

A mis padres

Angel Medrano Ponce y Abigail Castillo Machaga, pilares importantes en mi formación, a ellos atribuyo todo lo que he podido lograr en mi vida, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Ciencias Agrarias por ser parte de mi formación académica.
- A mis asesores M. Sc. Giannfranco Egoavil Jump y M. Sc. Llerme Navarro Vazquez por su apoyo incondicional en la ejecución y redacción del informe final de mí tesis.
- A los miembros del jurado Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, M.Sc. Jaime J. Chávez, Ing. Jimmy A. Ocaña Reyes, quienes con sus observaciones y correcciones han contribuido a perfeccionar y finalizar este trabajo.
- A la Ing. Mónica Robles Rodríguez por cederme un espacio en el vivero de la Facultad de Agronomía para el desarrollo de mi trabajo de investigación.
- Al Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado por su apoyo incondicional y facilitación de herramientas para llevar a cabo este trabajo de investigación.
- A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.
- A la Ing. Wilma Gonzáles Toscano, Ing. Manuel Paredes Arce, Ing. Gilmer Milton Neira Trujillo, Ing. M. Sc. Ceila Paquita Lao Olivares, Ing. Richar Sias Rodriguez por su apoyo y orientación incondicional en el transcurso de la ejecución de mí tesis.
- A mi colega Aldo Pajuelo Rojas por su apoyo incondicional en la ejecución de mi tesis.
- A los alumnos de séptimo ciclo del curso de Fitopatología general por haberme apoyado en la ejecución de este presente trabajo de investigación.

## INDICE

### Página

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
	2.1. Importancia del cultivo <i>Coffea arábica</i> (café).....	3
	2.1.1. Cultivar Costa Rica 95.....	3
	2.1.2. Económica .....	3
	2.1.3. Gastronómica .....	4
	2.1.4. Nutricional .....	4
	2.2. Enmiendas.....	4
	2.2.1. Microorganismos presentes en las enmiendas microbianas .....	4
	2.3. Bioestimulante microbiano.....	6
	2.3.1. <i>Trichoderma harzianum</i> .....	6
	2.4. Características de los productos utilizados en la investigación (Bioestimulante y enmienda microbiana) .....	7
	2.4.1. Bioestimulante (Tricho-D).....	7
	2.4.2. Enmienda microbiana (Bacthon®) .....	7
	2.5. Características generales de los suelos utilizados en la investigación.....	8
	2.5.1. Suelos aluviales.....	8
	2.5.2. Suelos residuales.....	9
	2.6. Antecedentes.....	11
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
	3.1. Lugar de ejecución.....	13
	3.1.1. Zona de vida.....	13
	3.1.2. Condiciones meteorológicas del experimento .....	13
	3.1.3. Análisis de suelo .....	14
	3.2. Diseño estadístico .....	16
	3.2.1. Diseño estadístico (Componentes en estudio) .....	16
	3.2.2. Tratamientos en estudio .....	16
	3.2.3. Diseño experimental .....	16

3.2.4.	Características del campo experimental .....	17
3.2.5.	Croquis del experimento .....	18
3.2.6.	Prueba de normalidad .....	19
3.2.7.	Prueba de homogeneidad de varianza.....	19
3.2.8.	Prueba de correlación.....	20
3.2.9.	Análisis estadístico .....	21
3.2.10.	Regresión lineal .....	22
3.2.11.	Variables en estudio.....	22
3.3.	Metodología.....	23
3.3.1.	Efecto de la aplicación en las características biométricas de los plantones de <i>Coffea arábica</i> (café).....	23
3.6.2.	Características físico químicas de los plantones de <i>Coffea arábica</i> (café).....	26
3.6.3.	Respiración de suelo .....	34
3.6.4.	Características microbiológicas y químicas del suelo .....	36
3.6.5.	Análisis beneficio costo (B/C) de los tratamientos.....	44
3.4.	Desarrollo del experimento.....	45
3.7.1.	Obtención de semillas .....	45
3.7.2.	Preparación de germinadores.....	45
3.7.3.	Obtención de los tipos de suelo .....	46
3.7.4.	Preparación de los sustratos.....	47
3.7.5.	Embolsado y trasplante.....	47
3.7.6.	Aplicación de los tratamientos.....	48
3.7.7.	Riego.....	49
3.7.8.	Registro meteorológico.....	49
3.7.9.	Control fitosanitario.....	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	50
4.1.	Características químicas y microbiológicas de los sustratos .....	50
4.1.1.	Contenido Nutricional del suelo (pH, % M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, y CICE) .....	50
4.1.2.	Análisis microbiológico de los suelos .....	65

4.2. Características biométricas de los plantones .....	73
5.2.1. Número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), longitud de raíz (cm), volumen de raíz (cm <sup>3</sup> ), área foliar (cm <sup>2</sup> ), peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de las hojas (PFH) y peso seco de las hojas (PSH) .....	73
4.3. Características fisicoquímicas de los plantones.....	91
4.3.1. Determinación de análisis foliar .....	91
4.3.2. Determinación de clorofila .....	102
4.4. Análisis de correlación entre las variables de estudio .....	107
4.5. Análisis beneficio costo (B/C) de los tratamientos en estudio .....	150
V. CONCLUSIONES.....	151
VI. RECOMENDACIONES.....	152
VII. REFERENCIAS .....	153
ANEXOS .....	179

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.	Imagen satelital de la zona donde se realizó la investigación .....	13
2.	Croquis del área experimental .....	18
3.	Unidad experimental.....	19
4.	Determinación parámetros biométricos: a. Delimitación de ocho plantas por unidad experimental, b. Medición de altura, c. Medición de diámetro y d. Conteo de hojas .....	24
5.	Determinación del área foliar: a. Dibujo de siluetas de las hojas, b. Corte de siluetas, c. Pesado de siluetas, d. Corte de papel 25 cm <sup>2</sup> y e. Pesado del papel de 25 cm <sup>2</sup> ....	25
6.	Longitud y volumen de las raíces: a. Medición de longitud de las raíces, b. Medición del volumen radicular de plantas de café .....	26
7.	Determinación del peso fresco y seco de los plántones: a. Plántones frescos, b. Separación de raíces, c. Peso de la parte foliar, d. Peso de raíces, e. Encendido y programación de estufa, f. Secado de muestras en estufa a 70° por un tiempo de 48 h .....	28
8.	Determinación de clorofila: a. Calibración de equipo, b. Medición de clorofila .....	29
9.	Determinación de N foliar: a. Molido de muestras, b. Pesado, c. Catalizador en la muestra, d. Muestra dentro de un balón de vidrio .....	30
10.	Determinación de N foliar: e. Añadido de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , f. Digestión, g. Trasvasado de muestra, h. Indicador fenolftaleína, i. Titulación, j. Cambio de color y toma del gasto .....	31
11.	Determinación de microelementos: a. Muestra en mufla, b. Cocinado de muestras, c. Filtrado de muestras, d. Rotulado para lectura en espectrofotómetro.....	32
12.	Determinación de P foliar: a. Muestra en tubos de ensayo, b. Preparado del reductor de P, c. Añadido del reductor, d. Registro de lectura .....	33
13.	Respiración de suelo: c. Medición de NaOH, d. Incorporación de NaOH en envase, e. Etiquetado de envase y f. Sellado herméticamente de envase, g. Frascos rotulados y sellados, h. Titulación con HCl.....	35
14.	Análisis microbiológico: a. Triturado y tamizado, b. Pesado de suelo, c. Matraz con caldo peptona, d. Filtrado, e. Inoculación en placa petri y f. Placa colonizada .....	37

15. Determinación de la clase textural: a. Pesado de muestras, b. Transferencia de muestras, c. Añadido de Hexametofosfato de sodio al 10 %, d. Agitado de muestras .....	38
16. Determinación de la clase textural: e. Transferencia de muestras, f. Agitación de muestras, g. Lectura con el hidrómetro, h. Registro de lectura del hidrómetro.....	39
17. Determinación del pH y la C.E: a. Agitado de muestras, b. Lectura del pH, c. Lectura de la C.E. ....	40
18. Determinación de la M.O: a. Pesado de muestra, b. Añadido de Dicromato de potasio, c. Añadido de ácido sulfúrico, d. Enrazado con agua destilada.....	41
19. Determinación de la M.O: a. Añadido de indicador difenilamina sulfúrica, f. Titulación con sulfato ferroso.....	42
20. Determinación de P disponible: a. Pesado y agregado de carbón activado, b. Filtrado del suelo, c. Patrón de prueba, d. Lectura en el espectrofotómetro a 660 nm .....	43
21. Determinación de K disponible: a. Agregado de acetato de amonio y b. Filtrado de muestras .....	44
22. Determinación de bases cambiables: a. Filtrado de muestras y b. Muestras listas para lectura en el espectrofotómetro.....	44
23. Preparación de germinadores: a. Desinfección de arena y b. Germinación de semillas. ....	45
24. Recolección de suelos: a. Suelo agrícola, b. Suelo de playa, c. Suelo de montaña y d. Suelo cocal.....	46
25. Preparación de los sustratos: a y b. Tamizado de los diferentes sustratos.....	47
26. a. Embolsado y b. Trasplante de las plantas de café.....	47
27. Control fitosanitario: a. Efecto de estrés y b. Mancha de hierro en plántulas jóvenes de café.....	48
28. Aplicación de tratamientos: a. Dosificación de Bacthon, b. Dosificación de Tricho-D, c. Aplicación para capacidad de campo y d. Aplicación de Tricho-D y Bacthon en mezcla .....	49
29. Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de las muestras de suelo final: a. pH, b. M.O., c. N, d. P, e. K y f. Ca.....	51

30.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de las muestras de suelo final: a. Mg, b. Na, c. Al y d. CIC .....	52
31.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. pH, b. Materia orgánica (M.O.) y c. Nitrógeno .....	62
32.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. Fósforo, b. Potasio y c. Calcio.....	63
33.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. Magnesio, b. Sodio, c. Aluminio y Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	64
34.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot de los microorganismos del suelo: a. NNVA, b. Lactobacillus, c. Bacterias Fijadoras de N, d. Mohos – Levaduras y e. Actinomycetos .....	66
35.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis microbiológico de los suelos: a. NMVA, b. Lactobacillus, c. Bacterias fijadoras de N, d. Mohos y levaduras y e. Actinomycetos .....	72
36.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot de datos biométricos: a. N° hojas, b. Altura de la planta, c. Diámetro de la planta, d. Longitud de raíz, e. Volumen radicular y f. Área foliar.....	74
37.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot de datos biométricos: a. Peso fresco de la planta (PFP), b. Peso seco de la planta (PSP), c. Peso fresco de la raíz (PFR), d. Peso fresco del follaje (PFF), e. Peso fresco de las hojas (PFH) y f. Peso seco de las hojas (PSH) de las plantas de café .....	75
38.	Dinámica de altura (cm/día) cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	84
39.	Dinámica de diámetro (cm/día) cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	85
40.	Dinámica del número de hojas/día cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	86

41.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas de los plántones: a. Número de hojas, b. Altura, c. Diámetro y d. Longitud de la raíz .....	88
42.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas: a. Volumen radicular, b. Área foliar, c. Peso fresco total y d. Peso seco total .....	89
43.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas: a. Peso fresco de la raíz, b. Peso fresco del follaje, c. Peso fresco de la hoja y d. Peso seco de la hoja .....	90
44.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis foliar: a. Nitrógeno, b. Fósforo, c. Potasio, d. Calcio, e. Magnesio y f. Sodio .....	92
45.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot de análisis foliar: a. Zinc, b. Hierro, c. Cobre y d. Manganeso .....	93
46.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar: a. Nitrógeno, b. Fósforo, c. Potasio y d. Calcio.....	99
47.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar de los plántones de café: a. Magnesio (Mg), b. Sodio (Na) y c. Zinc (Zn).....	100
48.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar de los plántones de café: a. Hierro (Fe), b. Fósforo (P), c. Potasio (K) y d. Calcio (Ca).....	101
49.	Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de clorofilas: a. Clorofila A, b. Clorofila B y c. Clorofila A+B .....	103
50.	Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis de clorofilas: a. Clorofila A, b. Clorofila B y c. Clorofila A+B .....	107
51.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento uno.....	109
52.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento uno .....	112
53.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento dos .....	114
54.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento dos .....	116
55.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento tres .....	118
56.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento tres.....	122
57.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento cuatro... ..	124
58.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento cuatro .....	126
59.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento cinco ....	128

60.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento cinco.....	132
61.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento seis.....	134
62.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento seis .....	137
63.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento siete .....	139
64.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento siete .....	143
65.	Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento ocho.....	145
66.	Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento ocho.....	149
67.	Análisis de los datos meteorológicos.....	199
68.	Constancia del proveedor para la venta de semillas de café.....	200
69.	Análisis especial de las hojas de Coffea arábica (café) .....	201
70.	Análisis especial de las hojas de Coffea arábica (café) .....	202
71.	Análisis de suelo al iniciar el experimento .....	203
72.	Análisis de suelo al finalizar el experimento R1 y R2.....	204
73.	Análisis de suelo al finalizar el experimento R2 y R3.....	205
74.	Análisis de suelo al finalizar el experimento R4 .....	206

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Componentes Bacthon .....	8
2. Momento y forma de aplicación de la enmienda microbiana (Bacthon).....	8
3. Datos meteorológicos durante la ejecución del trabajo 2022 .....	14
4. Interpretación de los análisis iniciales de los suelos en estudio .....	15
5. Componentes en estudio .....	16
6. Descripción de los tratamientos en estudio .....	16
7. Modelo del Análisis de Varianza.....	21
8. Momento de aplicación de Tricho-D y Bacthon.....	48
9. Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido nutricional (pH, M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE) de análisis de suelo, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	53
10. Cuadrado Medio del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del contenido nutricional (pH, M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE) de análisis de suelo final, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022....	54
11. Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de suelos final, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	61
12. Prueba de homogeneidad de varianzas de análisis microbiológico de suelo realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022....	67
13. Cuadrado Medio del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del número de colonias de Número de microorganismos aeróbicos, Lactobacillus, Bacterias Fijadoras de N, Mohos, Levaduras y Actinomycetos (ufc/g suelo) de los distintos tipos de suelos usados en las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	68
14. Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del número de colonias de Número de Microorganismos aeróbicos viables (NMVA), Lactobacillus, Bacterias Fijadoras de Nitrógeno, Mohos, Levaduras y Actinomycetos (ufc/g suelo) de los distintos tipos de suelos usados en las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	71

15. Prueba de homogeneidad de varianzas de análisis biométricos de los plantones de café realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	76
16. Cuadrados Medios del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) de la última evaluación en el número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) y área foliar (cm <sup>2</sup> ) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022.....	78
17. Cuadrados Medios del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de las hojas (PFH) y peso seco de las hojas (PSH) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022.....	78
18. Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) de la última evaluación en el número de hojas, altura de planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de la raíz (cm), Incremento de volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) y área foliar de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	81
19. Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) al finaliza el experimento del peso fresco de la planta (PFP) (g), peso seco de la planta (PSP) (g), peso fresco de la raíz (PFR) (g), peso fresco del follaje (PFF) (g), peso fresco de las hojas (PFH) (g) y peso seco de las hojas (PSH) (g) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022....	82
20. Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido nutricional (N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn) del análisis foliar, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022 .....	94
21. Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) del análisis de tejido foliar de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	95

22.	Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de tejido foliar de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	98
23.	Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido de clorofila A, B y A+B realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022....	104
24.	Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de clorofila a, b y a+b de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	105
25.	Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) la clorofila a, b y a+b de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	105
26.	Análisis de índice de rentabilidad y beneficio costo de los tratamientos en estudio, realizados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	150
27.	Datos de la evaluación de número de hojas y altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	180
28.	Datos de evaluación de diámetro de la planta y respiración de suelos, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	181
29.	Datos de evaluación del peso fresco, seco de la planta y raíz, volumen y longitud de raíz, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	182
30.	Datos de la evaluación del área foliar, clorofila (a, b y a+b) y pH, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	183
31.	Total, de microorganismos según los tratamientos en estudio, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	184
32.	Datos de evaluación de análisis foliar y análisis de suelo, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	185
33.	Registro de condiciones de riego y plantas por tratamiento .....	187
34.	Registro de dosis y aplicación por tratamiento.....	187
35.	Dosificación e inoculación de los productos por tratamiento.....	188

36.	Datos de evaluación del porcentaje de semillas germinadas días después de ser pregerminadas (DDPG), evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	189
37.	Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) de número de hojas de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	190
38.	Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) de la altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	191
39.	Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) del diámetro de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022.....	192
40.	Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del número de hojas de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	193
41.	Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) de la altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	193
42.	Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del diámetro de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 .....	194
43.	Análisis de beneficio costo (B/C) en plantones de café para el T1 y T2, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	195
44.	Análisis de beneficio costo (B/C) en plantones de café para el T3 y T4, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	196
45.	Análisis de beneficio costo (B/C) en plantones de café para el T5 y T6, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	197
46.	Análisis de beneficio costo (B/C) en plantones de café para el T7 y T8, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022 ....	198

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Facultad de Agronomía - FUNAS I – UNAS, con el objetivo de evaluar el efecto de Tricho D y Bacthon en la producción de plántones de *Coffea arabica* empleando cuatro tipos de suelo. Se realizaron actividades como preparación del campo experimental, muestreo de suelos, instalación de cama almaciguera, trasplante, aplicación de tratamientos, control de malezas y sanidad vegetal. Se evaluaron parámetros químicos y microbiológicos de los sustratos, así como características biométricas, fisicoquímicas y análisis costo-beneficio de los tratamientos. Para la comparación de medias se utilizó la prueba DGC ( $\alpha = 0,05$ ). Los tratamientos T<sub>1</sub> (Suelo agrícola + Bacthon + Tricho D) y T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) mostraron diferencias significativas en pH, P, K, Ca y Mg, mientras que T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho D) presentaron mayor cantidad de microorganismos aeróbicos viables, bacterias fijadoras de nitrógeno, lactobacillus, actinomicetos, mohos y levaduras. En cuanto a variables biométricas, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> destacaron estadísticamente, mientras que para las características fisicoquímicas el tratamiento T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho D) fue superior. El contenido de clorofila fue mayor en T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>. Se observó la correlación de las variables mediante el análisis de Pearson, para lo cual 40 variables fueron evaluadas, teniendo que T<sub>7</sub>, se registró un efecto de correlaciones positivas en mohos y levaduras sobre peso fresco de la planta (0.98\*), peso seco de planta (0.97\*) y área foliar (0.97\*), así mismo, se observó que las bacterias fijadoras demostraron una asociación positiva con el contenido de clorofila A+B (0.96\*). Por otro lado, en el tratamiento T<sub>8</sub> se observó que la presencia de bacterias fijadoras correlacionó significativamente con mayores concentraciones foliares de calcio (0.97\*) y nitrógeno (0.95\*). En el análisis económico, T<sub>2</sub> presentó una relación beneficio/costo de 2,61 con una rentabilidad de 1,61, atribuida a una baja mortalidad (<1 %). En conjunto, los tratamientos evaluados mostraron efectos positivos diferenciados según los atributos medidos, evidenciando la influencia de los bioinsumos y del tipo de suelo en el desarrollo de plántones de café.

**Palabras claves:** Biometría, Café, suelo, Tricho D, Humus.

## **The Effect of a Biostimulation and a Microbial Amendments on the Growth of the Costa Rica 95 Variety of *Coffea arabica* (Coffee) Seedlings in Four Types of Substrata**

### **Abstract**

The present research was carried out in the school of agronomy - FUNAS I - UNAS (acronyms in Spanish) with the objective of evaluating the effect of Tricho-D and Bacthon on the production of *Coffea arabica* seedlings, using four types of soil. Activities such as the preparation of the experimental field, soil sampling, the installation of seedbeds, transplants, the application of treatments, weed control, and vegetative sanitation were done. The chemical and microbiological parameters of the substrata were evaluated, as well as the biometric characteristics, physicochemicals and the cost-benefit analysis of the treatments. For the means comparison, the DGC test ( $\alpha = 0.05$ ) was used. Treatments T<sub>1</sub> (agricultural soil + Bacthon + Tricho-D) and T<sub>2</sub> (agricultural soil) showed significant differences in pH, P, K, Ca, and Mg, meanwhile, T<sub>1</sub> and T<sub>3</sub> (beach soil + Bacthon + Tricho-D) presented greater quantities of viable aerobic microorganisms, nitrogen fixing bacteria, lactobacillus, actinomycetes, molds, and yeasts. With respect to the biometric variables, T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> stood out statistically, while for the physicochemical characteristics, treatment T<sub>5</sub> (mountain soil + Bacthon + Tricho-D) was superior. The chlorophyll content was greater for T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>. The correlation of the variables was observed using the Pearson analysis, for which forty variables were evaluated, where for T<sub>7</sub>, an effect of positive correlations from the molds and yeasts on the fresh plant weight (0.98\*), dry plant weight (0.97\*) and foliar area (0.97\*) were recorded; likewise, it was observed that the bacteria fixatives were significantly correlated to greater foliar concentrations of calcium (0.97\*) and nitrogen (0.95\*). For the economic analysis, T<sub>2</sub> presented a benefit/cost relationship of 2.61, with a profitability of 1.61, attributed to a low mortality rate (<1 %). Together, the treatments that were evaluated showed differentiated positive effects, according to the attributes that were measured, evidencing the influence of the bio-inputs and the soil type on the development of the coffee seedlings.

**Keywords:** biometry, coffee, soil, Ticho-D, humus

## I. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Leoncio Prado se enfrenta un desafío considerable, las áreas de cultivo están siendo implantadas en suelos de baja fertilidad y escaso contenido nutricional, como los suelos cicales (Ottos, 2015). Por otro lado, los suelos agrícolas son explotados de forma recurrente, lo que resulta en una fertilidad deficiente (Mondino, 2016). Ante esta situación, se ha recurrido a la aplicación de un bioestimulante compuesto por *Trichoderma harzianum* y una enmienda microbiana que incluye bacterias como *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophulus* y *Saccharomyces cerevisiae* (Mamani et al., 2012). El propósito es evaluar su impacto en la mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo, estimulando así el crecimiento de las plantas y sirviendo como promotores del desarrollo radicular. Además, se ha comparado con los suelos de playa y montaña, que son de mejor calidad para la agricultura (Escobar et al., 2021).

La producción de plántulas en vivero afecta no solo el comportamiento de la planta después del trasplante, sino también la productividad potencial y la calidad final del café, siendo el uso de agentes microbiológicos o bioestimulantes una alternativa para lograr la obtención de plantones viables y aptos para campo definitivo (Giordano et al., 2021). El *T. harzianum* es un agente microbiológico que actúa como estimulador de diferentes procesos fisiológicos por medio de fitohormonas de tipo Ácido indolacético (AIA) (Ortuño et al., 2013). De acuerdo a lo antes mencionado, se busca conocer un bioestimulante que podría ser aplicado como una alternativa sustentable (Vega et al., 2020), promoviendo el crecimiento de raíces, brotes y tallos (Ferreira et al., 2018).

La aplicación de rizobacterias como alternativa para abordar el problema del crecimiento lento y asincrónico de las semillas de café es un practica agrícola que ha mostrado resultados positivos en algunos estudios (Nápoles et al., 2022), además, cuando los sustratos utilizados en plantones son de tendencia ácida, con un pH por debajo de 5, se toma en cuenta el uso de enmiendas microbianas (Acuña y Sadeghian, 2020), con la finalidad de propagar plántulas con mejores condiciones agronómicas para su desarrollo (Berilli et al., 2020).

La investigación actual sobre sustratos para el cultivo de plantas se centra en la búsqueda de nuevos materiales o combinaciones que no solo mejoren las condiciones de crecimiento, sino también reduzcan el impacto ambiental al disminuir el uso de fertilizantes y pesticidas, así como los costos asociados (Rivière y Caron, 2001). Se ha observado que materiales orgánicos y su

derivados se están convirtiendo en opciones populares para sustratos debido a sus beneficios para el crecimiento y su capacidad para aprovechar desechos agropecuarios, lo que contribuye a la preservación del medio ambiente (Sánchez et al., 2006). Sin embargo, es poco probable que un solo material satisfaga todas las condiciones físicas y químicas necesarias para el desarrollo óptimo de las plantas, por lo que es necesario combinar diferentes materiales con diversas propiedades para crear sustratos que ofrezcan condiciones de crecimiento superiores (Morgan, 2021; Strojny & Nowak, 2004).

Ante lo manifestado, surge la incógnita de la pregunta de investigación ¿Cuál es el efecto que puede observarse en el suelo y plantones de *coffea arábica* del cultivar Costa Rica 95 bajo la influencia de cuatro tipos de sustratos al aplicar un bioestimulante y una enmienda microbiana?, bajo esta pregunta se planteó la siguiente hipótesis “La aplicación del bioestimulante en asociación con una enmienda microbiana pueda brindar un efecto positivo en las propiedades del suelo y de esta manera obtener plantones en buenas condiciones”

### **Objetivo General**

Determinar el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en el crecimiento de plantones de *Coffea arábica* (café) cultivar costa rica 95 en cuatro tipos de sustratos

### **Objetivos específicos:**

1. Evaluar el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en las características físico - químicas y microbiológicas de los sustratos.
2. Evaluar el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en las características biométricas de los plantones de *Coffea arábica*.
3. Evaluar el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana en las características fisicoquímicas de los plantones de *Coffea arábica*.
4. Analizar la correlación de las variables de estudio según el efecto de un bioestimulante y una enmienda microbiana.
5. Determinar el análisis de beneficio y costo de los tratamientos en estudio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del cultivo *Coffea arábica* (café)

Con el aumento de la demanda se busca lograr una mayor producción de los diferentes campos cafetaleros (Kafková et al., 2023). Para los países en desarrollo, como Etiopía, el cultivo de café tiene un gran valor económico, social y ambiental (Meter et al., 2023). En el sur de la India la producción es la principal actividad agrícola, el cual alberga una gran diversidad de germoplasma (Zhang et al., 2020).

#### 2.1.1. Cultivar Costa Rica 95

Esta variedad pertenece al grupo genético de introgresión (Catimores), desarrollados a partir del cruce entre el híbrido de Timor 832/1 y Caturra. Su principal característica es la incorporación de genes de resistencia a la *Hemileia vastatrix* (roya amarilla). Desde el punto de vista productivo, esta variedad presenta un alto potencial de rendimiento y una adaptabilidad favorable a condiciones de temperaturas cálidas y suelos ácidos. Morfológicamente, se clasifica como una planta de porte bajo y compacto, con brotes de color bronce y frutos de tamaño mediano. En términos agronómicos, su desarrollo óptimo se observa en altitudes de 1,000 a 1,600 msnm. Su perfil en taza es considerado bajo, aunque su productividad es elevada. Respecto a su comportamiento fitosanitario, muestra resistencia a la roya amarilla, pero es susceptible a la *Colletotrichum spp.* (antracnosis de la cereza) y a nemátodos fitopatógenos (World Coffee Research, 2019).

#### 2.1.2. Económica

En Honduras y El Salvador, siendo uno de los principales exportadores de café de tipo especial, el cual crece cada año, demuestra una condición viable para el desarrollo de los países generando economía a los sectores de producción (Carpio et al., 2023). En otros países de producción en semillas este componente utilizado como fuente de propagación de plantas denota un apoyo económico viable en varios sectores cafetaleros (Benavides y Torres, 2022).

Con más de 130 especies de café se sabe que es un cultivo muy viable económicamente si se cultiva en gran escala, fomentando el desarrollo en proyección social a los sectores que poseen su producción (Sousa et al., 2022). El intercambio comercial del café representa una significativa fuente de ingresos para la balanza comercial (dos Santos et al., 2022).

### **2.1.3. Gastronomía**

En un enfoque cualitativo comprende la calidad sensorial de las bebidas elaboradas con genotipos de café arábigo sometidos a diferentes métodos de procesamiento (Malta et al., 2020). La calidad gastronómica comprende las características sensoriales, lo que influye directamente en su aceptación. En general, las evaluaciones de la calidad del café por parte de los expertos no corresponden con las preferencias de los consumidores, con diferentes tuestes (claro y oscuro) (Bemfeito et al., 2021).

### **2.1.4. Nutricional**

La calidad depende de las características genéticas y su interacción con las condiciones ambientales, en lo cual se refleja la acumulación de nutrientes en el fruto, la cáscara y el grano (Alberto et al., 2023). La composición del café refleja la calidad nutricional que esta posee tales como: legumina, cafeína, materia azoada, sustancias grasas, glucosa, dextrina y ácido vegetal. Siendo las sustancias minerales: potasa, sosa, cal, magnesio, óxido de hierro, ácidos sulfúricos, fosfórico, etc (Gómez, 2010).

## **2.2. Enmiendas**

Es un componente de tipo residuo sólido producido por la descomposición de la roca fosfórica en ácido sulfúrico, mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo, su aplicación cambiará inevitablemente el entorno de vida de los microorganismos del suelo y conducirá a la evolución del mismo (C. Li et al., 2023). Su uso es viable para lograr una agricultura sostenible por el potencial de mejora significativa en el pH ácido del suelo (Vu, 2023), además, su uso en suelos contaminados afecta la biodegradación y apoya a las comunidades microbianas (Zhang et al., 2023).

El uso de un sustrato óptimo se obtiene a partir del uso de estos derivados actuando como estimulantes directos de los grupos benéficos en el suelo, con respecto a una buena adición microbioma y el logro de un entorno beneficioso para las plantas (Berihu et al., 2023).

### **2.2.1. Microorganismos presentes en las enmiendas microbianas**

#### **a. *Azospirillum brasilense***

Es una rizobacteria que induce al crecimiento vegetal, surge como una importante estrategia para fijar nitrógeno (N) atmosférico y ponerlo a disposición de las plantas (da Silva et al., 2023), además, mejora el crecimiento de las plantas mediante la producción de fitohormonas, especialmente el ácido-3-indolacético (AIA), generado en cantidades pequeñas

(nanomolares) en la planta, con un papel clave en diversas funciones vegetales (Licea et al., 2020). Su demanda global se da en una agricultura sostenible, satisfaciendo la incorporación microbiana en el suelo y mejorando los servicios ecosistémicos (Telles et al., 2023). Además, se usa como biofertilizante el cual es muy riguroso en los aspectos bióticos y abióticos (Lima et al., 2023).

**b. *Azotobacter choococcum***

Se trata de una bacteria del tipo rizobacteria que promueve la fertilización nitrogenada, contribuyendo al rendimiento y la composición nutricional de las raíces, además de actuar como un bioestimulante por diversos mecanismos directos de producción de AIA (Farzana & Radizah., 2015), son utilizadas como biofertilizantes debido a su capacidad para mejorar sistemas degradados, ayudan a reducir el uso de fertilizantes nitrogenados tradicionales, se encuentran asociadas a la rizósfera de las plantas y tienen la habilidad de producir vitaminas y compuestos estimulantes del crecimiento, como el AIA, ácido giberélico, citoquininas y vitaminas, los cuales impactan positivamente en el desarrollo de las plantas (Huete Arrieta et al., 2019). En condiciones del sistema radicular aumenta los niveles de  $\text{NO}_3$  y mantiene los fosfatos óptimos, pues esta bacteria utiliza los exudados de las raíces y proporciona a las plantas nitrógeno compuesto que secreta durante la fijación de nitrógeno atmosférico (Costa et al., 2019). Es considerado como biofertilizantes ecológicos, pues aumenta la asimilación de elementos nutrientes como (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Fagbenro et al., 2011).

**c. *Lactobacillus acidophilus***

Es conocido como una bacteria con actividad antagónica y simbiótica en las raíces de las plantas (Ibrahim et al., 2023), actúa como regulador osmótico por los carbohidratos fructo-oligosacáridos (FOS) de tipo inulina, que a su vez por medio de este compuesto apoya a la actividad de almacenamiento y protección en las plantas (Martínez et al., 2008). Las cepas presentan tolerancia a diversos niveles de acidez, concentraciones de sales biliares y competencia con otros microorganismos, utilizadas principalmente en la agricultura como parte de una mezcla, pero no como el ingrediente principal en productos elaborados (Hernández et al., 2019).

**d. *Saccharomyces cerevisiae***

Conocido como levadura, dentro de la agricultura se utiliza para la descomposición de material orgánico en el suelo y mejorando las condiciones de esta (Y. Zhao et al., 2023). Se sabe que las cepas producen altos niveles de ácido láctico, la cual afecta a los agentes

fitopatógenos directa e indirectamente por la producción de actinomicetes, también se conoce el efecto antioxidante mejora la resistencia de plantas (Andrade et al., 2023). El mecanismo de acción apoya al mantenimiento del potencial de la membrana celular (el cual inhibe el transporte activo, reduciendo el pH intracelular y diferentes funciones metabólicas), la competencia por nutrientes, la regeneración a un ambiente desfavorable y la competencia (Caplice, 1999).

Comprende las comunidades de bacterias y levaduras, ayuda al proceso de asimilación en productos alcohólicos, por ejemplo, el uso de *Saccharomyces cerevisiae*, se relacionan a bacterias, levaduras, ácidos orgánicos y volátiles, siendo clave para producir ácido cítrico, acetaldehído y 3-metil-1-butanol relacionadas con la formación de ácido láctico, ácido acético y acetato de etilo (Han & Du, 2023). Su función principal reside en actuar como agentes estimuladores y reguladores de los procesos de fermentación y el desarrollo de microorganismos (Rodríguez y Loynaz, 2018).

### **2.3. Bioestimulante microbiano**

#### **2.3.1. *Trichoderma harzianum***

Se encuentra de manera natural en suelos con materia orgánica, es un hongo anaeróbico facultativo, el cual presenta estado sexual y asexual definido, siendo su estado asexual la fase más propagativa y puede manifestarse en una diversidad de sustratos (Morán, 2007). La reproducción asexual ocurre mediante la producción de conidios, que se forman en estructuras especializadas llamadas conidióforos, estos son liberados al ambiente, lo que facilita la dispersión del hongo y su capacidad para colonizar nuevos sustratos (Infante et al., 2009). Son de naturaleza antagonista para los patógenos del suelo, teniendo un crecimiento favorecido por la presencia de raíces en la planta (Raudes, 2006). La mortalidad de las plántulas ha disminuido gracias a estos compuestos antibióticos (trichodermin, celulosas, quitinasas y glucanasas) que produce el hongo (Morán, 2007).

Promueve y ayuda a la germinación, proporcionando mayor densidad radicular y altura de la planta, por medio de fitohormonas de tipo AIA que apoya a procesos de diferenciación, división de la célula y tejidos (Kakabouki et al., 2021), además, genera metabolitos inductores (celulasas, quitinasas y glucanasas) que ayudan a la resistencia sistémica adquirida en las plantas, es decir, aumenta la resistencia de las plantas controlando a diversos fitopatógenos de tipo radicular y foliar (Silvestre, 2020). Es de gran beneficio para los agricultores debido a que estimula el crecimiento de las raíces de las plántulas en viveros y semilleros (Raudes, 2006).

## 2.4. Características de los productos utilizados en la investigación (Bioestimulante y enmienda microbiana)

### 2.4.1. Bioestimulante (Tricho-D)

Es un producto a base de esporas del hongo benéfico *T. harzianum* que actúa como antagonista y posee parasitismo y competencia con los hongos fitopatógenos, como, por ejemplo: *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora cinnamomi* (Servicios y Formulaciones Industriales S.A.[SERFI], 2021), es un acondicionador de suelo, bioestimulante y agente biológico que actúa en el suelo (Orbiotec, 2022; Serfi, 2021):

El bioestimulante presenta las siguientes características (Orbiotec, 2022; Serfi, 2021):

Ingrediente activo	: <i>Trichoderma harzianum</i>
Composición	: <i>Trichoderma harzianum</i> (1 × 100 esporas viables/g)
Formulación	: Polvo Mojable (WP)
Titular de registro	: Serfi S.a.
Registro SENASA	: PBUA N° 036-SENASA
Aspecto	: Polvo fino
Densidad	: 2,22 g/mL
pH	: 5,5 al 10 %

La preparación del Tricho D implica diluir la cantidad recomendada en agua limpia con un pH de 5. Luego, se añade esta solución al recipiente final y se completa con agua hasta alcanzar el volumen deseado. Es importante agitar bien hasta obtener una mezcla uniforme. No se debe combinar con otros fungicidas. La aplicación se realiza mediante un sistema de riego presurizado o, en el caso de riego por gravedad, se aplica de la misma manera (Serfi, 2021).

### 2.4.2. Enmienda microbiana (Bacthon®)

Es una modificación microbiana del suelo, desarrollada con bacterias y levaduras beneficiosas presentes en el suelo (Tabla 1), que permite descomponer eficientemente los restos de cultivos. Su objetivo es mejorar la calidad del suelo agrícola mediante la incorporación de bacterias nitrificantes, enzimas que descomponen proteínas y celulosa, así como promotoras del crecimiento de las raíces. Esto favorece la descomposición de la materia orgánica en el suelo, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes y estimula la absorción de las raíces. Además, ayuda a

las plantas a establecerse y a tolerar condiciones iniciales difíciles, lo que resulta en plantas fuertes y altamente productivas ([SERFI], 2021).

**Tabla 1.** Componentes Bacthon

Componente	Cantidad (UFC/ml)
<i>Azospirillum brasilense</i>	10 000
<i>Azotobacter chroococcum</i>	10 000
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	10 000
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	100

Su uso se mantiene estándar a 1 L de Bacthon® SC por hectárea, con detalles más precisos disponibles en la (Tabla 2).

**Tabla 2.** Momento y forma de aplicación de la enmienda microbiana (Bacthon)

Oportunidad	Forma de aplicación
Con guano, estiércol o materia orgánica	Una vez que se haya distribuido el guano, el estiércol o cualquier otra sustancia orgánica, se debe pulverizar la solución de Bacthon® SC diluida en agua utilizando una bomba de mochila. Se recomienda utilizar la cantidad de agua necesaria para cubrir un área de 1ha con 1L de Bacthon® SC.
Incorporación de broza	Después de completar la poda o la cosecha previa, se emplea una máquina trituradora o picadora para procesar el material acumulado. Luego, se aplica Bacthon® SC en forma de pulverización, utilizando una dosis de 1L/ha.
Durante preparación del suelo	En el caso del arroz y las camas de siembra, se esparce o aplica una pulverización sobre el suelo durante la preparación del terreno, de modo que el producto Bacthon® SC se mezcle con el suelo.

## 2.5. Características generales de los suelos utilizados en la investigación

### 2.5.1. Suelos aluviales

Son suelos conocidos por su asociación con los altos niveles de cadmio (Thomas et al., 2023). Algunos suelos son profundos, el cual puede ser problemático debido a

problemas de hundimiento y resistencia para cultivos (Rajan et al., 2023). Son bien drenados a excesivamente drenados, con texturas muy gruesas o con gravas, su reacción química es moderadamente ácida (pH 5,5 a 6,5), además, presentan un contenido moderado a alto de materia orgánica (Sanzano y Fadda, 2009). Asu vez siendo unos de los tipos de suelos mas dominantes dentro de la zona de cerca a tingo maría.

#### **a. Suelo de playa**

Se ubican en zonas de piedemonte con diferentes condiciones ecológicas enfocadas a la restauración ambiental, poseen una correlación entre los aniones y cationes presentes dependiendo la altitud, su riqueza está influenciada por varios factores ambientales (Ahmad et al., 2023). Los sedimentos se almacenan en los componentes geográficos transitorios, como barras o sumideros más permanentes, como llanuras aluviales o terrazas fluviales, siendo ricas en minerales para uso agrícola; con un pH próximo a la neutralidad (6,5) (Licata et al., 2023). Similar a los suelos de tipo aluvial este tipo de suelo es predominante en la zona.

#### **b. Suelo agrícola**

En estos suelos se encuentran la mayoría de cultivos, los cuales dependen de las condiciones climáticas y la calidad de los fertilizantes para obtener una buena productividad (Kumar et al., 2023). Característicamente se distinguen por la presencia de áreas elevadas y bajas de terreno erosionados y acumulación de sedimentos con geografía sub tropical (Murgas et al., 2015).

La mayoría de estos suelos son monocultivos, lo cual resulta en la degradación del suelo y tiene un impacto negativo en sus características físicas y químicas, tales como la capacidad de absorber agua, la compactación del suelo, la cantidad de poros, la humedad del suelo, y la composición del suelo, entre otros (Novillo et al., 2018). Este tipo de suelo muestra un componente químico de pH que se estima entre 6 – 7, con una cantidad moderada a alta de materia orgánica que escila ente 1,5 – 2,5 (Universidad Nacional de la Plata [UNLP], 2020).

### **2.5.2. Suelos residuales**

Presentan una textura gruesa y son altamente productivos para la agricultura en áreas sin riego. Además, tienen la capacidad de retener agua. Estos suelos se encuentran comúnmente en regiones montañosas (Castruita y Ortiz, 2003). Si el suelo presenta propiedades física y química favorables, con un pH de ligeramente ácido a neutro (6,7 – 7,0) esto se traduce en

un beneficio práctico para su uso agrícola (Rodríguez y Hidalgo, 2005). Se analiza que en ellos la vegetación abunda si no se hizo utilización de algún tipo de cultivo, en donde la riqueza de este depende mucho el material parental perteneciente en este (Bogado y Francisca, 2017).

#### **a. Suelo cocal**

Conocidos como suelos muy ácidos (pH 4,5 – 5,0) donde se han evaluado diversos indicadores físicos y químicos como: la textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, calcio y magnesio intercambiable; donde los resultados indican deficiencias hasta el punto de afectar a los procesos fisiológicos vegetales (Panaifo, 2021). Estas áreas de tierra se caracterizan presentar pendientes inestables. Este monocultivo tiene un efecto negativo en la calidad del suelo, provocando deslizamientos de tierra y la disminución de la biodiversidad vegetal (Jacobi et al., 2018). Las pérdidas de las características físicas y químicas por el cultivo de coca se intensifican gracias al mal que manejo que posee, trayendo consigo pérdidas en futuras instalaciones de cultivos. Muchas de las prácticas de restauración buscan aumentar la materia orgánica de suelo el cual es baja (< 1 %), con prácticas estratégicas (Uso de compost, encalado, leguminosas, compuestos húmicos y fúlvicos) (Grillo, 2018). También se sabe que este tipo de suelos domina aun las zonas aledañas a la ciudad y muchas veces no es aprovechada por lo agricultores de ninguna forma.

#### **b. Suelo de montaña**

Son suelos con geofoma de origen genético, con la pendiente dominante, seguido por la intensidad de relieve, teniendo una morfología entre el punto más alto y el más bajo en una distancia específica. Estas subdivisiones se aplican al paisajes de pendiente inclinada o de tipo valle (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009). El uso de estos suelos conlleva prácticas con el uso de pocos fertilizantes, porque sobrepasa la biomasa microbiana, estos suelos poseen mineralización del carbono, biomasa microbiana, el cual consta con la adición muchos minerales de fertilización (Ruiz et al., 2012).

Pero el uso indiscriminado hace posible que haya malos manejos de este suelo, habiendo conflictos en los parámetros de caracterización morfológica, química y física. La capacidad de uso es para cobertura y forestal, aunque hoy en día muchos de estos sistemas forestales, están viéndose afectados por la agricultura (Fernández, 2007). Este tipo de suelos son catalogados como viejos, para lo cual poseen horizontes definidos y ricos nutricionalmente con pH de moderadamente ácido a neutro (5,0 – 7,0) y materia orgánica moderada (1-2 %) (Cortez, 2011).

## 2.6. Antecedentes

En 2023 en Ethiopia se identificó el microbioma de la rizosfera en *Coffea arábica* (café), los cuales apoyan a los diferentes rasgos fenológicos del cultivo, aunque este parámetro varía según las condiciones climáticas, tipo de suelo, etc. Donde el conjunto de individuos bacterianos fue la más prominente (Bez et al., 2023). En el año 2023 en Costa Rica se identificaron que las comunidades microbianas ayudan a los rasgos funcionales de las raíces del café, su defensa contra patógenos y como enmiendas orgánicas para el sustrato (Gagliardi et al., 2023).

En el 2011, en Guadalajara – México, se promovió el uso de *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp. como una medida a producir plantones de naturaleza orgánica, a diferencia de otros tratamientos se sabe que estas bacterias apoyaron a la arquitectura de la raíz y estimulación de micorrización y acción antagónica contra patógenos (Anaya et al., 2011). Las bacterias señaladas también aportan en un sentido indirecto al rendimiento de los cultivos, como es el caso del algodón aportando a la síntesis de metabolitos primarios y desarrollando una óptima condición en su fenología del cultivo (Arévalo y Zegarra, 2017). En el año 2018 en Argentina menciona que *Azospirillum brasilense* apoya a la solubilización de fosfatos, en el metabolismo de los polifosfatos y en la producción de sideróforos en las raíces, por ende las plantas inoculadas presentan valores mayores de biomasa, índice de crecimiento y proliferación de pelos radiculares (Delaporte, 2018).

En el año 2015 en México su informó que *Trichoderma* sp. presenta habilidades para estimular el crecimiento en plántulas y tiene un efecto adverso en los juveniles de segundo estadio (J2) de *Meloidogyne incognita*. Se observaron incrementos significativos en la altura de las plantas, con aumentos del 55,57 y 47,62 %, así como mejoras en la longitud de las raíces, volumen radicular y biomasa seca total (Candelero et al., 2015). En el año 2022 en Ecuador, usó en Tricho-D en plántulas de *Coffea arábica* en diversos sustratos. Se destaca especialmente la mejora en la longitud de las raíces, con un promedio de 24,75 cm a los 113 días después de la siembra, y un promedio de 11.9 hojas por planta (Concepción, 2022). Estos resultados respaldan el uso de microorganismos que promueven el crecimiento de las plantas y ejercen un efecto antagonista contra patógenos en las plantas de café (Duong et al., 2020).

En el año 2021 en Vietnam se menciona que las bacterias endófitas en plantas de café son de vital importancia y procedió a la identificación de estas, donde se destaca su funcionalidad promoviendo el crecimiento y biocontrol que incluyen: la solubilización de fosfato, los compuestos

indólicos, sideróforos, HCN, esterasa, lipasa, gelatinasa y producción de quitinasa (Duong et al., 2021). En otro estudio realizado el año 2022 en Brazil se menciona que los microorganismos más influentes en las plantas de café son *Streptomyces*, *Mycobacterium*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Sphingomonas*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Rhizophagus* (Sousa et al., 2022).

En el año 2023 en China se utilizó una cepa de *Trichoderma*, donde que los resultados mostraron este tuvo efectos sobre el crecimiento y el ambiente de la rizosfera de las plántulas de vid, apoyando el crecimiento de los brotes y el contenido de clorofila (Liu et al., 2024). También en 2020 en Venezuela, se usó *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento y desarrollo en plántulas de maracuyá, este ejerció un efecto positivo en las variables biométricas, con incrementos de 23,75; 23,84; 12,27; 88 y 64,3 % para números de hojas (NH), altura de la planta (AP), índice de clorofila (IC), longitud de la raíz (LR), peso seco de la parte aérea (PSPA) y de la parte radical (PSPR), respectivamente (Díaz et al., 2020).

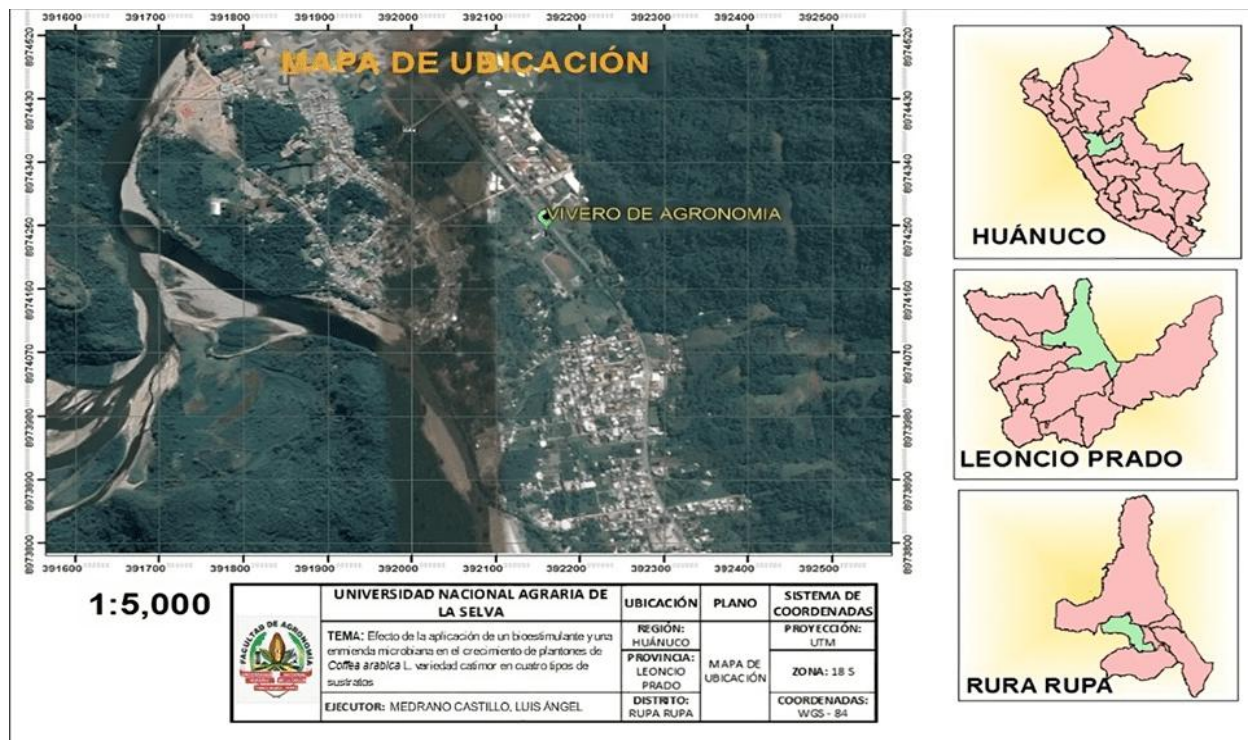
En el año 2021 en el departamento de Huánuco – Monzón se comparó suelos de tipo agroforestal y ex cocal para ver como estos desempeñaban la calidad fisicoquímicas, teniendo como resultado que los suelos agroforestales (montaña), mostró niveles de M.O., N, Ca, Mg, CIC, 3,60; 0,16; 3,90; 0,58 y 4,70 y en suelos cocal mostró niveles de M.O., N, Ca, Mg, CIC, 2,15; 0,10; 1,94; 0,60 y 5,38, atribuyendo estos valores a que los niveles de M.O. fueron similares pero existe una diferencia grande en cuanto a los niveles de micronutrientes (Panaifo, 2021). En otro estudio realizado en Lima- Perú el 2006, midieron la capacidad de microfauna que existe en suelos agrícolas y su relación con los microorganismos, teniendo como resultado que estos suelos son ricos en macronutrientes y viabilidad de parte de los microorganismos benéficos (Julca et al., 2006).

En el año 2023, en la ciudad de Manabí, Ecuador, se evaluaron dos genotipos de *Coffea arabica* L. (café) sometidos a la aplicación de bioestimulantes orgánicos a base de *Trichoderma*. El objetivo fue medir el prendimiento y el comportamiento morfométrico, considerando variables como el diámetro del injerto, la longitud del injerto y el número de hojas, durante un periodo de 90 días. Se observó que las plantas tratadas con bioestimulantes presentaron un mayor diámetro del injerto (2.4 mm), una mayor longitud del injerto (3.25 cm) y un mayor número de hojas por planta (4.69) (Galarza, 2023).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente experimento se realizó en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas en UTM: 390540 m E, 8970031 m N y 659 m.s.n.m (Figura 1).



**Figura 1.** Imagen satelital de la zona donde se realizó la investigación

##### 3.1.1. Zona de vida

La zona de vida de Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh - PST) (Holdridge, 1987), la cual se caracteriza por pertenecer a la forma ecológica de Bosque pluvial con un piso altitudinal de tipo basal con capacidad de uso para cultivos en limpio, cultivos permanentes, pastos, producción forestal y protección (Cortez, 2011).

##### 3.1.2. Condiciones meteorológicas del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, donde las condiciones agroclimáticas son óptimas para el desarrollo de cultivos tropicales adaptados a climas cálidos y semicálidos. Durante todo el periodo de estudio, se registró

una humedad relativa superior al 70 % y precipitaciones adecuadas, lo que garantizó un ambiente favorable para el crecimiento de las plántulas en vivero. Estas condiciones minimizan la exposición a periodos de sequía y reducen el riesgo de estrés hídrico, favoreciendo un desarrollo óptimo de las plantas. Cabe destacar que se contó con el análisis de siete meses de evaluación porque se contó con el análisis desde la germinación de la semilla hasta concluir con las evaluaciones.

Durante el año en que se llevó a cabo el presente trabajo de investigación, los datos meteorológicos (Tabla 3). Es importante señalar que la presencia de niveles constantemente altos de humedad y precipitaciones superiores a 150 mm podrían haber influido en la obtención de resultados no del todo fiables, tal como lo mencionan Gu et al. (2020) reportan reducciones significativas en el desarrollo biométrico de *Coffea arábica* bajo exceso hídrico (200 mm/mes).

**Tabla 3.** Datos meteorológicos durante la ejecución del trabajo 2022

Meses	Temperatura del Aire (°C)			Humedad relativa (%)	Horas de sol (H.S)	Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media			
Mayo	30,07	20,65	25,36	83,51	160,9	270,0
Junio	29,76	19,03	24,4	82,09	200,7	105,0
Julio	31,16	20,38	25,77	80,54	220,8	134,5
Agosto	30,58	19,49	25,04	80,51	183,6	164,1
Setiembre	31,99	20,46	26,23	77,79	196,0	162,7
Octubre	31,93	21,25	26,59	79,37	172,5	218,8
Noviembre	31,74	20,4	26,07	79,05	157,5	231,4
<b>Promedio</b>	<b>31,03</b>	<b>20,24</b>	<b>25,64</b>	<b>80,41</b>	<b>184,57</b>	<b>183,79</b>

Fuente: Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). Datos Climatológicos de la Estación principal de Tingo María (CP)

### 3.1.3. Análisis de suelo

Se realizó un muestreo de suelo en cada uno de los tipos de suelo empleados en el proyecto, extrayendo cinco submuestras por tipo mediante el uso de un tubo muestreador: una en cada esquina y una en el centro del área de muestreo, esto buscó homogeneizar los puntos de recolección para obtener una muestra representativa y más confiable. Las submuestras fueron posteriormente mezcladas y se extrajo aproximadamente 0.5 kg de cada muestra compuesta para su secado y análisis. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se evaluaron sus propiedades físico-químicas. Al finalizar el proyecto, se recolectaron ocho muestras por unidad experimental, las cuales también fueron remitidas al laboratorio para su análisis final. A continuación, se presentan los resultados del análisis físico-químico del suelo en la zona de instalación del experimento (Tabla 4):

**Tabla 4.** Interpretación de los análisis iniciales de los suelos en estudio

Parám	Requerimiento <sup>1</sup>	Método empleado	Suelo Cocal		Suelo de montaña		Suelo de playa		Suelo agrícola	
			Inicial		Inicial		Inicial		Inicial	
			Res.	Interp. <sup>2</sup>	Res.	Interp. <sup>2</sup>	Res.	Interp. <sup>2</sup>	Res.	Interp. <sup>2</sup>
Tex	Franco arenoso	Bouyoucos	Franco	-	Franco	-	Franco	-	Franco	-
pH	5,5	Potenciómetro	3,70	Extrem. ácido	3,30	Extrem. ácido	4,60	Fuertemente ácido	5,00	Medianamente ácido
CE	-	Conductímetro	0,37	Muy ligera	0,37	Muy ligera	0,19	Muy ligera	0,45	Muy ligera
M.O.	4,0	Walkley y Black	1,16	Bajo	2,17	Medio	1,09	Bajo	1,60	Bajo
N	0,2	% M.O. x 0,05	0,06	Bajo	0,11	Medio	0,05	Bajo	0,08	Bajo
P	30	Olsen Modificado	4,16	Bajo	4,72	Bajo	6,48	Bajo	26,22	Alto
K	60	Ácido sulfúrico 6 N	29,99	Bajo	54,98	Bajo	64,97	Bajo	119,95	Medio
Ca	3,0	EAA	4,80	Medio	4,77	Medio	6,77	Alto	6,56	Alto
Mg	0,6	EAA	0,76	Bajo	0,65	Bajo	0,88	Bajo	1,18	Bajo
CICe	-	Suma de cationes	7,25	Bajo	7,37	Bajo	9,19	Bajo	9,16	Bajo

Estos resultados son parte de los análisis realizados en el Laboratorio de suelo, agua y ecotoxicología de la Facultad de Agronomía-UNAS (Anexo: Figura 71) <sup>1</sup>(Sánchez E., 2015) <sup>2</sup>Sánchez (2015)

Abreviaciones:

Tex : Textura

EAA : Extracto de Acetato de Amonio.

Extrem. : Extremadamente.

Parám : Parámetros.

Res : Resultados.

Interp. : Interpretación.

### 3.2. Diseño estadístico

#### 3.2.1. Diseño estadístico (Componentes en estudio)

Los componentes en estudio de la investigación son los siguientes (Tabla 5).

**Tabla 5.** Componentes en estudio

<b>Entradas (Productos biológicos)</b>	<b>Unidad Experimental (Planta)</b>	<b>Salidas (dosis adecuada en el crecimiento de los plantones)</b>
Bacthon (enmienda microbiana) y Tricho D (Biorregulador) Tipos de suelo (agrícola, playa, montaña y cocal)	Planta de <i>Coffea arábica</i> (café)	Características biométricas de la planta y físico-químico y microbiológico de los sustratos

#### 3.2.2. Tratamientos en estudio

Las dosificaciones y la recomendación de aplicación de los tratamientos en base a los distintos tipos de sustratos usados (Tabla 6).

**Tabla 6.** Descripción de los tratamientos en estudio

<b>Trat.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dosis</b>	<b>Recomendación de aplicación</b>
T <sub>1</sub>	Suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D	15 ml + 6 g	Se realizó cinco aplicaciones, a los 15, 30, 45, 60 y 75 días de la germinación. Todas las aplicaciones el suelo húmedo en capacidad de campo.
T <sub>2</sub>	Suelo agrícola	-	
T <sub>3</sub>	Suelo playa + Bacthon + Tricho-D	15 ml + 6 g	
T <sub>4</sub>	Suelo de playa	-	
T <sub>5</sub>	Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D	15 ml + 6 g	
T <sub>6</sub>	Suelo de montaña	-	
T <sub>7</sub>	Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D	15 ml + 6 g	
T <sub>8</sub>	Suelo cocal	-	

#### 3.2.3. Diseño experimental

Para cada ensayo se usó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con submuestreo (DBCA), compuesto de cuatro bloques, ocho tratamientos (Tabla 6) y ocho submuestras. El esquema del Modelo Aditivo Lineal del DBCA con unidades de muestreo se representa en la siguiente ecuación (1):

$$\gamma_{ij} = \mu + a_i + \beta_{ij} + \zeta_{ij} + \bar{\epsilon}_m \quad (1)$$

Dónde:

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

- $\mu$  : Efecto de la media general.
- $a_i$  : Efecto del  $i$  - ésimo tratamiento
- $\beta_j$  : Efecto del  $j$  - ésimo bloque
- $\zeta_{ij}$  : Efecto aleatorio del Error experimental.
- $\varepsilon_m$  : Efecto aleatorio del Error muestral.

Para:

- $i = 1, 2, 3, 4 \dots 8$  tratamientos
- $j = 1, 2, 3$  y 4 bloques

### 3.2.4. Características del campo experimental

Las características corresponden al área de la cama de vivero donde se colocaron las bolsas con las plántulas de *Coffea arabica* variedad Costa Rica 95, con las siguientes características:

#### a) Unidad experimental

- Medida : 45x30 cm<sup>2</sup>
- Color de la bolsa : negro
- Peso de sustrato : 1 Kg

#### b) Características de las parcelas o tratamientos

- Número de parcelas/bloque : 8
- Largo de la parcela : 45 cm
- Ancho de la parcela : 30 cm
- Área de la parcela : 1 350 cm<sup>2</sup>
- Distancia entre tratamientos : 30 cm
- Plantas por tratamiento : 24

### c) Características de las repeticiones

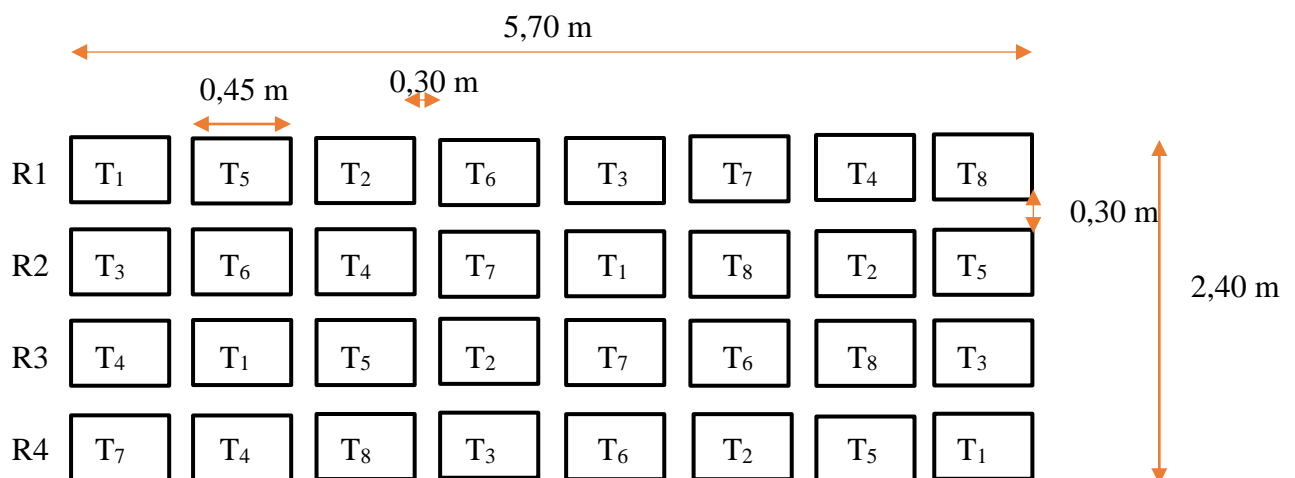
- Número de Repeticiones : 4
- Largo : 5,70 m
- Ancho : 0,75 m
- Área : 4,27 m<sup>2</sup>
- Distanciamiento : 30 cm
- Plantas/Repetición : 192
- Plantas/repetición para evaluación : 64

### d) Área experimental

- Largo : 8 m
- Ancho : 2,40 m
- Área total : 19,2 m<sup>2</sup>
- Número de plantas/ensayo : 768
- Número de plantas para evaluación : 256

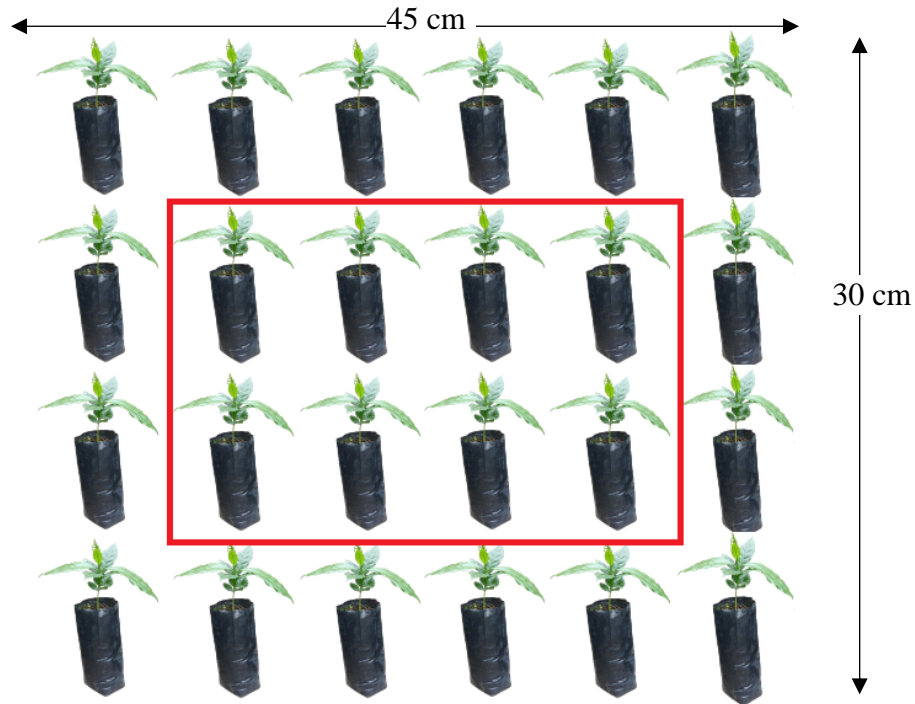
### 3.2.5. Croquis del experimento

El croquis del campo experimental del presente trabajo de investigación se presenta en las Figuras 2 y 3:



**Figura 2.** Croquis del área experimental

Cada unidad experimental este compuesto por 24 plantas de las cuales fueron evaluadas ocho plantas de cada parcela.



**Figura 3.** Unidad experimental

### 3.2.6. Prueba de normalidad

Para esta prueba se realizó un análisis gráfico con la ayuda de la plataforma Rstudio (versión 2025.05.0+496) utilizando el software R (versión 3.6.0+) y el componente Yupana (versión 2.1.1) del paquete Tydiverse (versión 0.6.7). En particular, se empleó el Q-Q Plot (Quantile-Quantile Plot), que compara los cuantiles de los datos obtenidos con los cuantiles de una distribución normal teórica (curva de campana). Este gráfico traza una línea diagonal que representa una distribución perfectamente normal. Si los puntos del gráfico se alinean con esta línea, se considera que los datos siguen una distribución normal. Por el contrario, si los puntos se desvían de la línea, se indica una posible desviación del principio de normalidad (Kozak & Piepho, 2018).

### 3.2.7. Prueba de homogeneidad de varianza

Para este análisis se empleó la prueba de Levene (Levene's Test) en RStudio, utilizando el software R. Este método permitió verificar el supuesto de homocedasticidad mediante el cálculo del valor absoluto de las desviaciones de cada observación con respecto a la mediana de su grupo, obteniendo que, si las medias de estas desviaciones transformadas difieren significativamente, se concluye que las varianzas son heterogéneas. En este caso, si el valor “p” obtenido es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), no se rechaza la hipótesis nula, lo que

indica que se cumple el supuesto de igualdad de varianzas (homocedasticidad) requerido para aplicar un ANOVA (Gastwirth et al., 2009).

### **3.2.8. Prueba de correlación**

Para este análisis se empleó dos pruebas con la ayuda de la plataforma Rstudio (versión 2025.05.0+496) utilizando el software R (versión 3.6.0+) y el componente Yupana (versión 2.1.1) del paquete Tydiverse (versión 0.6.7).

#### **a. Análisis de componentes principales (PCA)**

Es una técnica estadística de reducción de dimensionalidad para simplificar conjuntos de datos complejos, transformándolos en un conjunto de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto más pequeño de nuevas variables no correlacionadas, llamadas "componentes principales" (BioTuring, 2018b), se compone de:

- Eje PC1 (Primer Componente Principal): Este eje horizontal que representa la dirección de mayor varianza en los datos, capturando la mayor parte de la información o variabilidad del conjunto de datos (BioTuring, 2018a).
- Eje PC2 (Segundo Componente Principal): Este eje vertical que es ortogonal a PC1 y representa la segunda dirección de mayor varianza, capturando la mayor parte de la varianza restante después de que PC1 ha sido extraído (BioTuring, 2018a).

Junto a cada eje principal (PC1, PC2), se indica el porcentaje de la varianza total de los datos que explica ese componente, mientras este valor se mayor más información del conjunto de datos original está siendo capturada por ese componente. Se muestran también flechas que representan las variables originales del conjunto de datos (BioTuring, 2018a).

**Dirección del Vector:** La dirección de un vector indica cómo esa variable contribuye a los componentes principales (BioTuring, 2018a).

- Los vectores que apuntan en la misma dirección indican variables correlacionadas (BioTuring, 2018a).
- Los vectores que forman un ángulo cercano a 90 grados entre sí indican variables no correlacionadas (BioTuring, 2018a).
- Los vectores que apuntan en direcciones opuestas (formando un ángulo cercano a 180 grados) indican variables negativamente correlacionadas (BioTuring, 2018a).

- Un vector que se alinea estrechamente con un componente principal (por ejemplo, PC1) indica que esa variable contribuye fuertemente a ese componente (BioTuring, 2018a).

Longitud del Vector: La longitud de un vector indica la fuerza de la influencia de esa variable en los componentes principales mostrados. Los vectores más largos indican que la variable es más importante para explicar la variabilidad (Amoeba, 2015).

### b. Análisis de correlación de Pearson

Este método permitió medir el grado de relación lineal entre las variables cuantitativas de forma continuas, cuando estas cambian de forma proporcional, el cual se interpreta a través del valor de  $r$  que se indica (Romeijn, 2011):

$|r| < 0.3$ : Correlación débil o insignificante.

$0.3 \leq |r| < 0.5$ : Correlación moderada.

$0.5 \leq |r| < 0.7$ : Correlación fuerte.

$|r| \geq 0.7$ : Correlación muy fuerte o perfecta.

Cabe destacar que antes de este análisis se procedió a utilizar un Prompt del paquete Tydiverse (versión 0.6.7), se procedió a solo agrupar las variables que tenían correlación.

### 3.2.9. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de variancia (F. tab.  $A = 0,05$ ) (Tabla 7) se determinó el coeficiente de variabilidad, ecuación (2). Además, se halló las diferencias de medias con la prueba de DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) ( $\alpha = 0,05$ ), para lo cual se utilizó Rstudio (versión 2025.05.0+496) utilizando el software R (versión 3.6.0+) y el componente Yupana (versión 2.1.1) del paquete Tydiverse (versión 0.6.7).

**Tabla 7.** Modelo del Análisis de Varianza

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.Cal.</b>	<b>F.Tab.</b>
Bloques	$r-1$	SCB	$SCB/r-1=CMB$	$CMB/CM_{ee}$	$F_{\alpha}(g_{lB}, g_{lee})$
Tratamientos	$t-1$	SCtrat	$SCtrat/t-1=CMtra$	$CMtrat/CM_{ee}$	$F_{\alpha}(g_{l_{trat}}, g_{lee})$
Error muestral	$t.r.(m-1)$	SCem	$SCm/t.r.(m-1) = CMem$		
Error experimental	$(t-1)(r-1)$	SCee	$SCee/(t-1)(r-1) = CM_{ee}$		
<b>Total</b>	<b>tr-1</b>	<b>SCtotal</b>			

t: tratamiento

r: repetición (unidades experimentales)

GL: Grados de libertad

SC: Suma de cuadrados

CM: Cuadrado medio

F. Cal: F calculada

F. Tab: F tabulada

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

### 3.2.10. Regresión lineal

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

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

Leyenda:

$Y_i$  = Variable dependiente

$X_i$  = Variable independiente

$a$  = Intercepta con el eje Y o tasa.

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

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

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

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

El coeficiente de determinación:

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

Leyenda:

$r$  = Coeficiente de determinación

$Y_i$  = Variable dependiente

$X_i$  = Variable independiente

$n$  = n-esima evaluación

El coeficiente de correlación lineal:

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

### 3.2.11. Variables en estudio

#### a) Variables dependientes

- Altura (cm), diámetro (cm) y número de hojas de la planta.
- Volumen raíz (cm<sup>3</sup>).
- Peso (g) fresco y seco de la planta, follaje y raíz.
- Características fisicoquímicas del sustrato.
- Características microbiológicas del suelo.
- Análisis de relación beneficio/costo.

#### b) Variables independientes

- Tricho-D + Bacthon
- Cuatro tipos de suelo (playa, agrícola montaña, y cocal)

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Efecto de la aplicación en las características biométricas de los plantones de *Coffea arábica* (café)

##### a. Determinación de altura (cm), diámetro (mm) y número de hojas

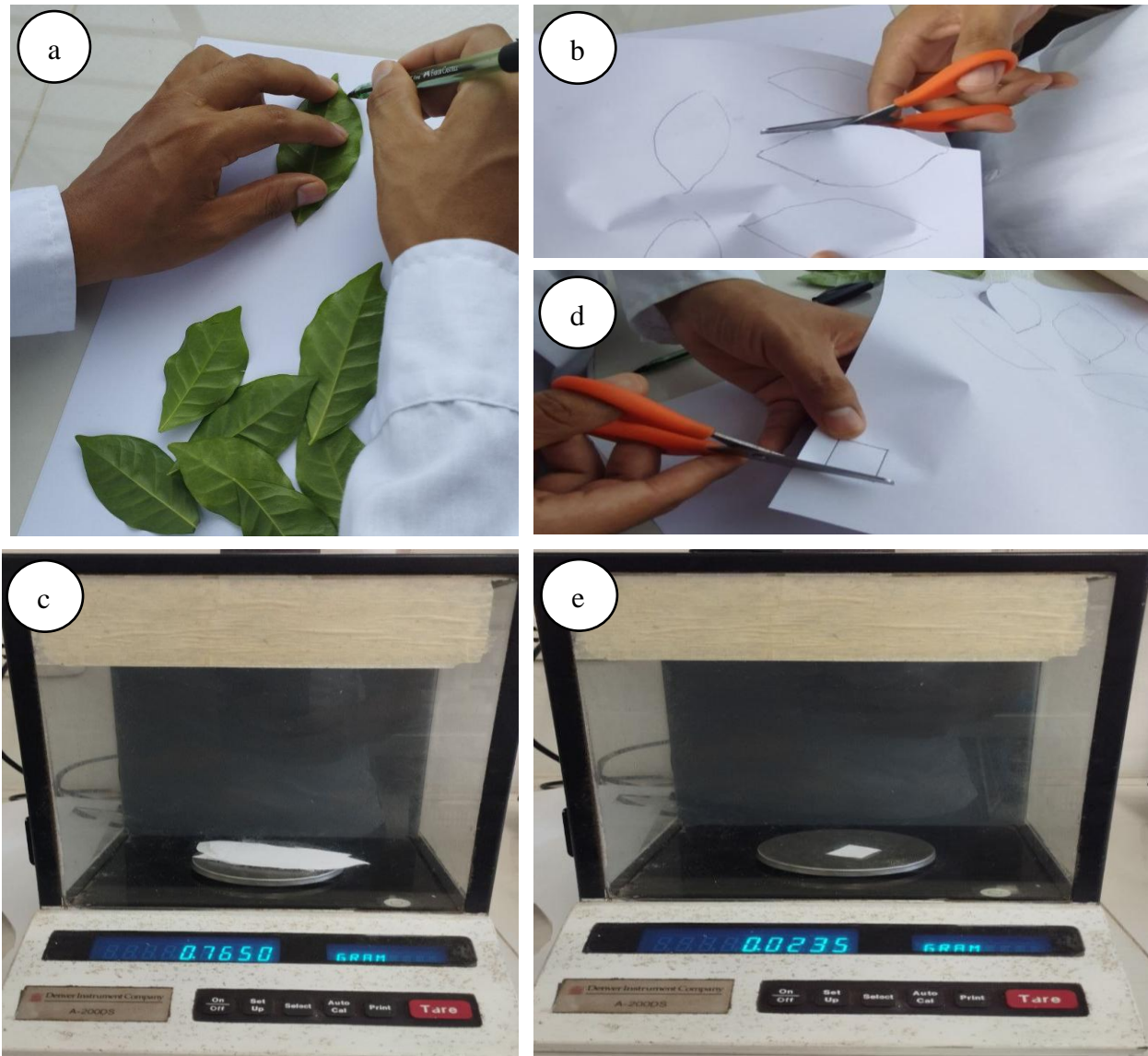
La evaluación de altura (cm), diámetro (mm) y número de hojas de las plantas se realizó siete veces cada 15 días de 7:00 a 11:00 am, donde se evaluaron ocho plantas de la parcela neta de cada tratamiento (Tabla 6), porque según Damatta et al. (2018) las plántulas de café en vivero manifiestan un par de hojas cada 15 días. La altura (cm) se midió desde el cuello de la planta hasta la yema terminal visible con una regla metálica graduada de 30 cm (Marca Victor) (Figura 4b), mientras que el diámetro se evaluó con un vernier digital (Marca Truper modelo 14388) (Figura 4c) a la altura de base de la planta y el número de hojas se realizó al conteo de forma visual (Figura 4d).



**Figura 4.** Determinación parámetros biométricos: a. Delimitación de ocho plantas por unidad experimental, b. Medición de altura, c. Medición de diámetro y d. Conteo de hojas

#### **b. Determinación del área foliar**

Se empleó el método gravimétrico (Pethiyagoda y Rajendram, 1965), se tomaron las ocho plantas de la parcela neta de cada tratamiento (Figura 3), utilizando un lapicero se trazaron siluetas de todas las hojas de una planta en un sobre un papel bond A4 de 4,9 g (Figura 5a), luego, se cortó cuidadosamente (Figura 5b) y se pesaron en conjunto (Figura 5c). Luego, se recortaron 25 cm<sup>2</sup> del mismo papel con una tijera (Figura 5d) y se pesó en una balanza analítica (Marca Denver Instrument A-200DS) (Figura 5e). A partir de este valor, se calculó el área foliar de plantas de cada tratamiento usando el método de regla de tres simples.



**Figura 5.** Determinación del área foliar: a. Dibujo de siluetas de las hojas, b. Corte de siluetas, c. Pesado de siluetas, d. Corte de papel 25 cm<sup>2</sup> y e. Pesado del papel de 25 cm<sup>2</sup>

### c. Longitud y volumen de las raíces

Se determinó el volumen de las raíces de las ocho plantas/unidad experimental de cada tratamiento, se midió y registró la longitud (cm) y volumen (cm<sup>3</sup>) de las raíces por cada planta, la longitud se midió utilizando una regla metálica graduada de 30 cm (Marca Victor) (Figura 6a), mientras que el volumen se determinó sumergiendo las raíces hasta el cuello de la raíz en una probeta de vidrio graduada (Marca Omnilab) con agua destilada, siguiendo el principio de Arquímedes (Figura 6b). La diferencia de volúmenes permitió determinar el volumen de las raíces (ecuación 10).

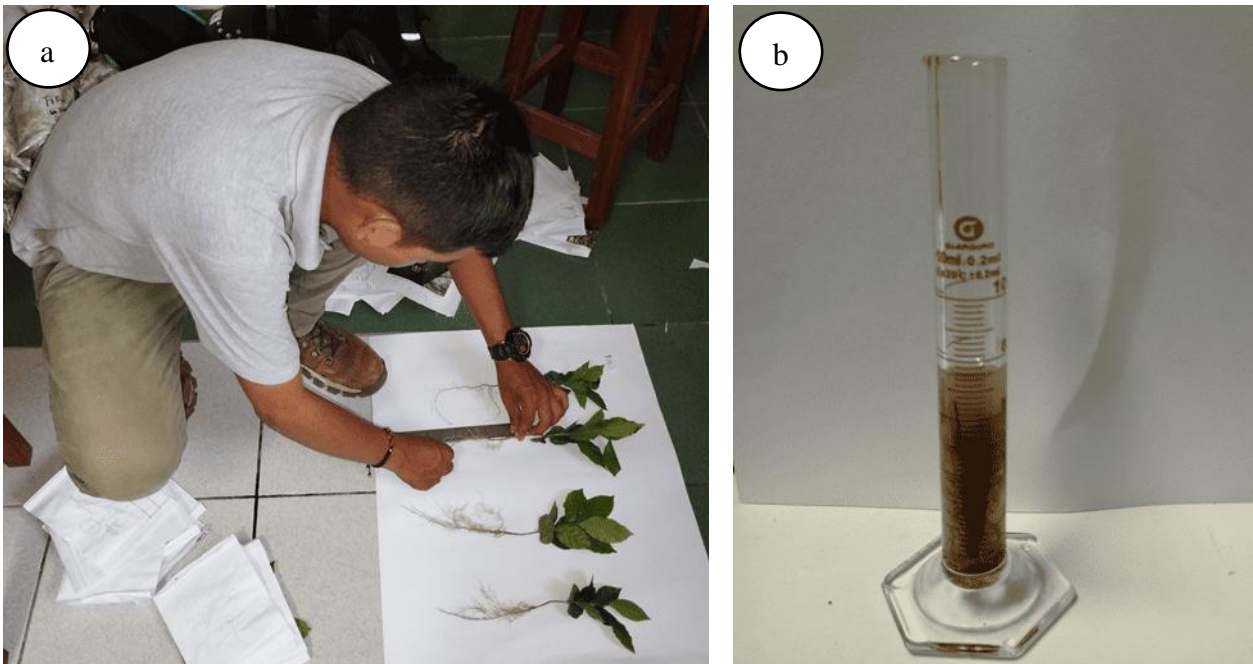
$$W_{radicular} = W_{final} - W_{inicial} \quad \dots (10)$$

Donde:

$W_{radicular}$  : Volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ).

$W_{final}$  : Volumen final ( $\text{cm}^3$ ).

$W_{raíz}$  : Volumen inicial 7 ml  $\cong$  7  $\text{cm}^3$  (g).



**Figura 6.** Longitud y volumen de las raíces: a. Medición de longitud de las raíces, b. Medición del volumen radicular de plantas de café

### 3.6.2. Características físico químicas de los plántones de *Coffea arabica* (café)

#### a. Determinación del peso fresco de la parte aérea y radicular de la planta

Al concluir el experimento, se procedió a examinar las ocho plantas seleccionadas, de las cuales se tomaron los datos biométricos de cada unidad experimental/tratamiento, estas plantas fueron trasladadas al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía donde cada una de ellas fueron pesadas en una balanza digital (ScienTECH Zeta ZSM50) ( $W_{fresco\ planta}$ ), luego utilizando una tijera de podar (Marca Truper) se realizaron cortes a la altura del inicio de cuello de planta para separar la raíz de la parte aérea (Figura 7a y 7b), seguidamente, se pesaron tanto la parte aérea como el sistema radicular ( $W_{raíz}$ ) de cada

planta evaluada (Figura 7c y 7d). A partir de la diferencia de peso, se determinó el peso de la parte aérea de la planta ( $W_{parte\ aérea}$ ), para los cálculos se utilizó la ecuación (8).

$$W_{parte\ aérea} = W_{fresco\ planta} - W_{raíz} \quad \dots (8)$$

Donde:

$W_{parte\ aérea}$  : Peso de la parte aérea de la planta (g)

$W_{fresco\ planta}$  : Peso fresco de la planta (g)

$W_{raíz}$  : Peso fresco de la raíz (g)

### b. Determinación del peso seco

Para obtener el peso seco, se utilizaron cuatro plantas identificadas, correspondientes a las utilizadas para determinar el peso fresco, las muestras se empaquetaron dentro de hojas bon en forma de estuches, las que fueron llevadas y colocadas en una estufa (Marca Heraeus modelo RVT 220) a 70 °C durante 48 horas (Figura 7e y 7f). Las muestras secas fueron pesadas en una balanza digital (ScienTECH Zeta ZSM50), y por diferencia se calculó el porcentaje de humedad, a partir de restar el ( $W_{fresco}$ ) menos el peso seco ( $W_{seco}$ ), esto dividido entre el ( $W_{fresco}$ ), multiplicado por 100, ecuación (9).

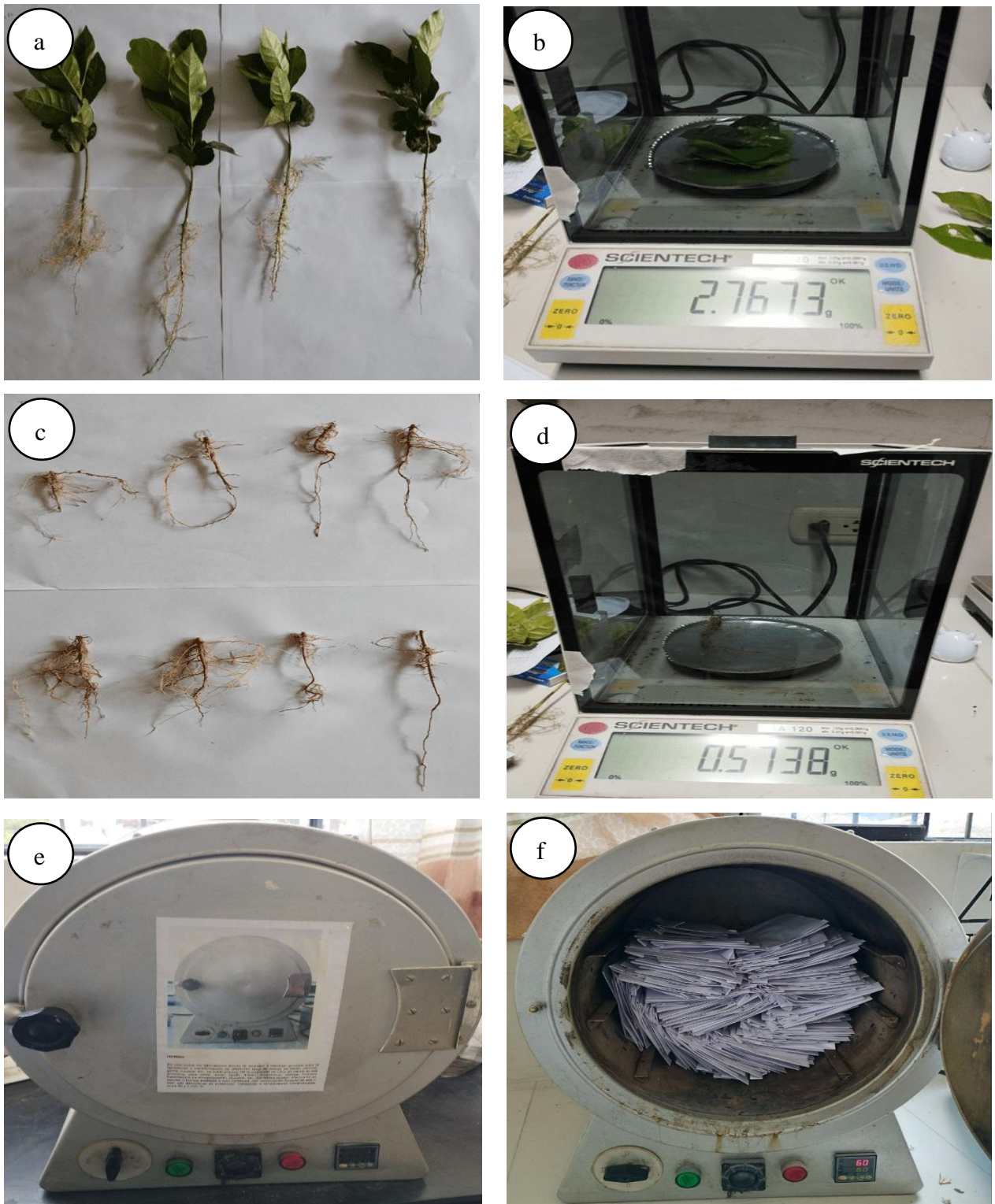
$$W_{seco\ planta} = \frac{(\%H_{planta} * W_{fresco\ planta}) + W_{fresco\ planta}}{100} \quad \dots (9)$$

Donde:

$\%H_{planta}$  : Porcentaje de humedad de la planta

$W_{fresco\ planta}$  : Peso fresco de la planta (g)

$W_{seco\ planta}$  : Peso seco total de la planta (g)



**Figura 7.** Determinación del peso fresco y seco de los plántones: a. Plántones frescos, b. Separación de raíces, c. Peso de la parte foliar, d. Peso de raíces, e. Encendido y programación de estufa, f. Secado de muestras en estufa a 70° por un tiempo de 48 h

### c. Determinación de la clorofila

Para analizar el contenido de clorofila a, b y total, se utilizó un medidor ClorofiLOG Falker (modelo CFL 1030), previamente calibrado (Figura 8a). A continuación, se colocó el sensor en una de las hojas más vigorosas orientadas hacia el ESTE, ya que estas presentan mayor exposición a la radiación solar. La lectura se realizó durante 10 segundos por cada muestra, hasta que el dispositivo proporcionó un valor. Este procedimiento se repitió en cada planta, para cada repetición y tratamiento (Figura 8b).



**Figura 8.** Determinación de clorofila: a. Calibración de equipo, b. Medición de clorofila

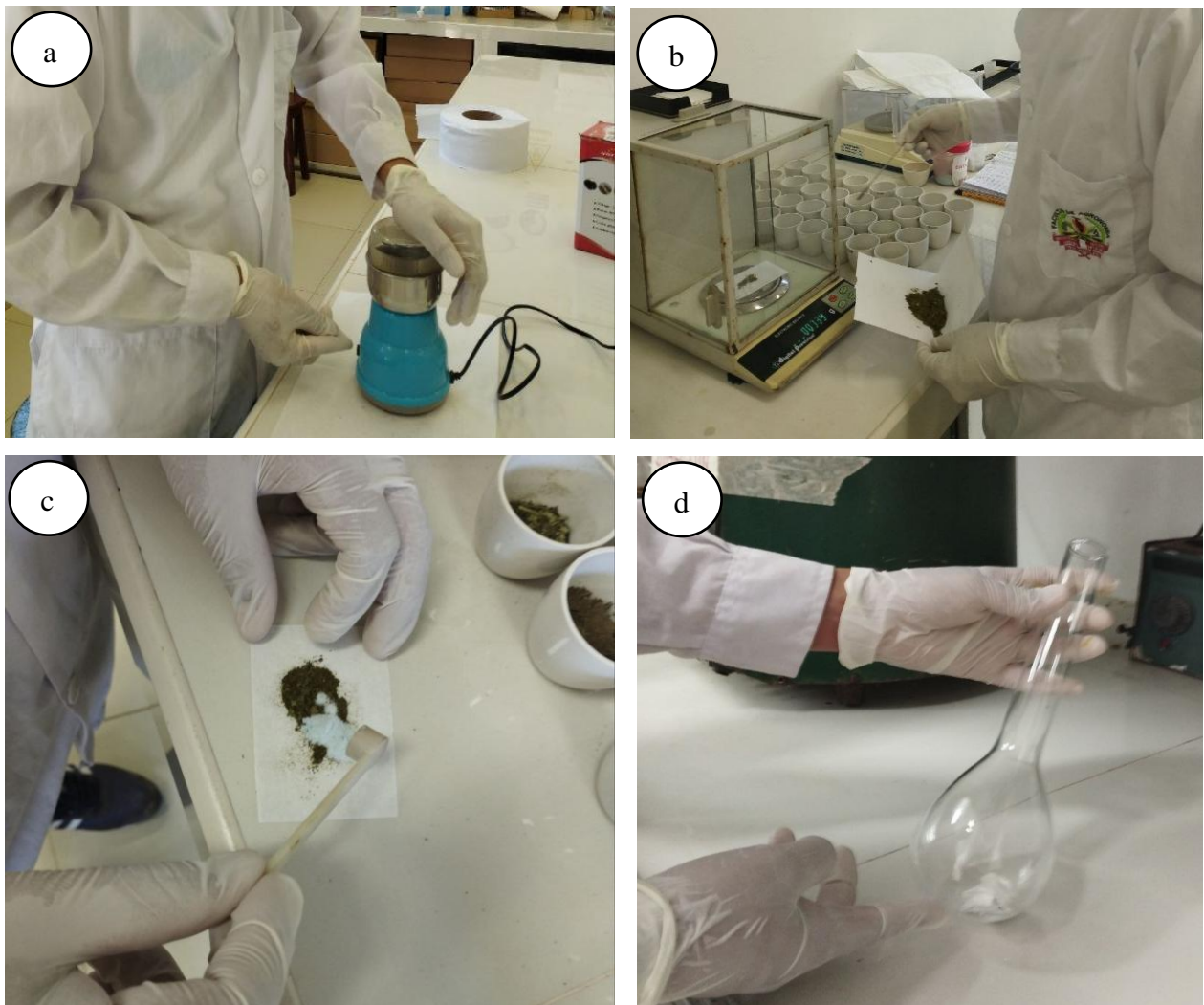
### d. Análisis foliar

Se emplearon cuatro plantas agrupadas por unidad experimental, estas fueran trasladadas al laboratorio de Agua, Suelos y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía de la UNAS donde se llevaron a cabo los respectivos procesos de análisis para poder determinar ciertos macroelementos (N, K, P, Ca, Mg y Na) y microelementos (mg) (Mn, Zn, Cu, Fe).

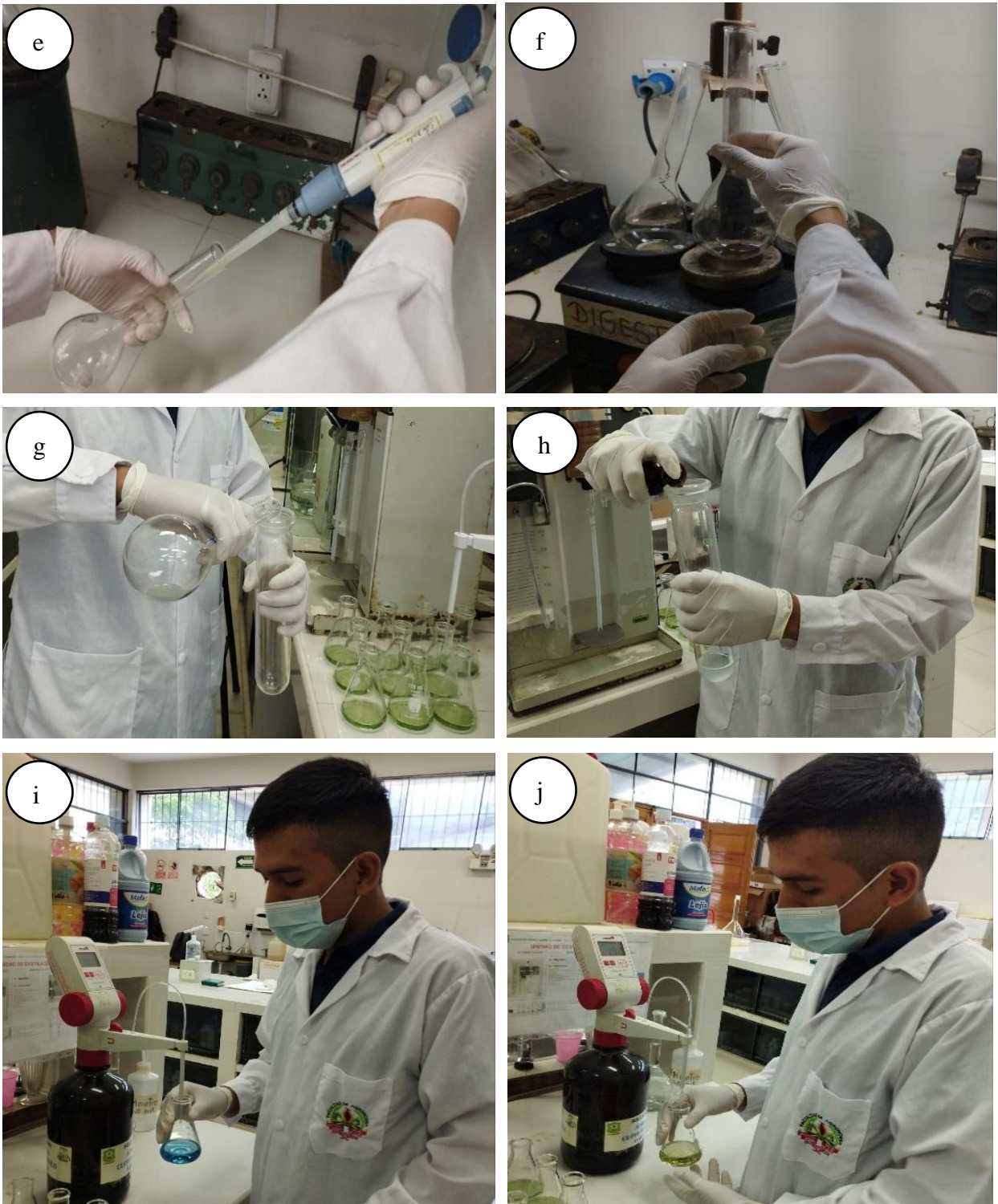
- **Determinación de Nitrógeno (N) foliar**

Para determinar el contenido de N en las hojas, se emplearon las muestras secas previamente (Figura 7a), cada muestra se trituró con una trituradora (Marca Tomtop H33869 modelo U72), y luego identificada/tratamiento (Figura 9a), después, se tomó 0,25 g de muestra y se añadió 1 g de catalizador ( $K_2SO_4$ ) sobre un papel graso (Figura 9b y 9c), antes de transferirlos a un balón de vidrio (Glassco KJELDAHL) (Figura 9d). Después, con la ayuda de una micropipeta graduada (Marca D- Lab) se añadió 3,5 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para iniciar la digestión, calentando las muestras hasta que la solución adquiriera un color claro (Figura 10e y 10f), una vez obtenida la solución clara, se dejó enfriar y se adicionó 10 ml de agua destilada para ajustar

el volumen a la solución, luego se llevó a la unidad de destilación y se transfirió al tubo del destilador de N (Figura 10g), donde se agregaron 3 gotas de indicador fenolftaleína y luego se añadió NaOH por el tubo de seguridad hasta que la solución cambie a color rojo claro, indicando la neutralización de la acidez. Se procedió con el proceso de destilación, recolectando el destilado en un matraz que contenía 10 ml de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) hasta obtener un producto color turquesa (Figura 10h y 10i), finalmente se tituló con ácido clorhídrico al 0,1 N y se anotó el gasto (Figura 10j).



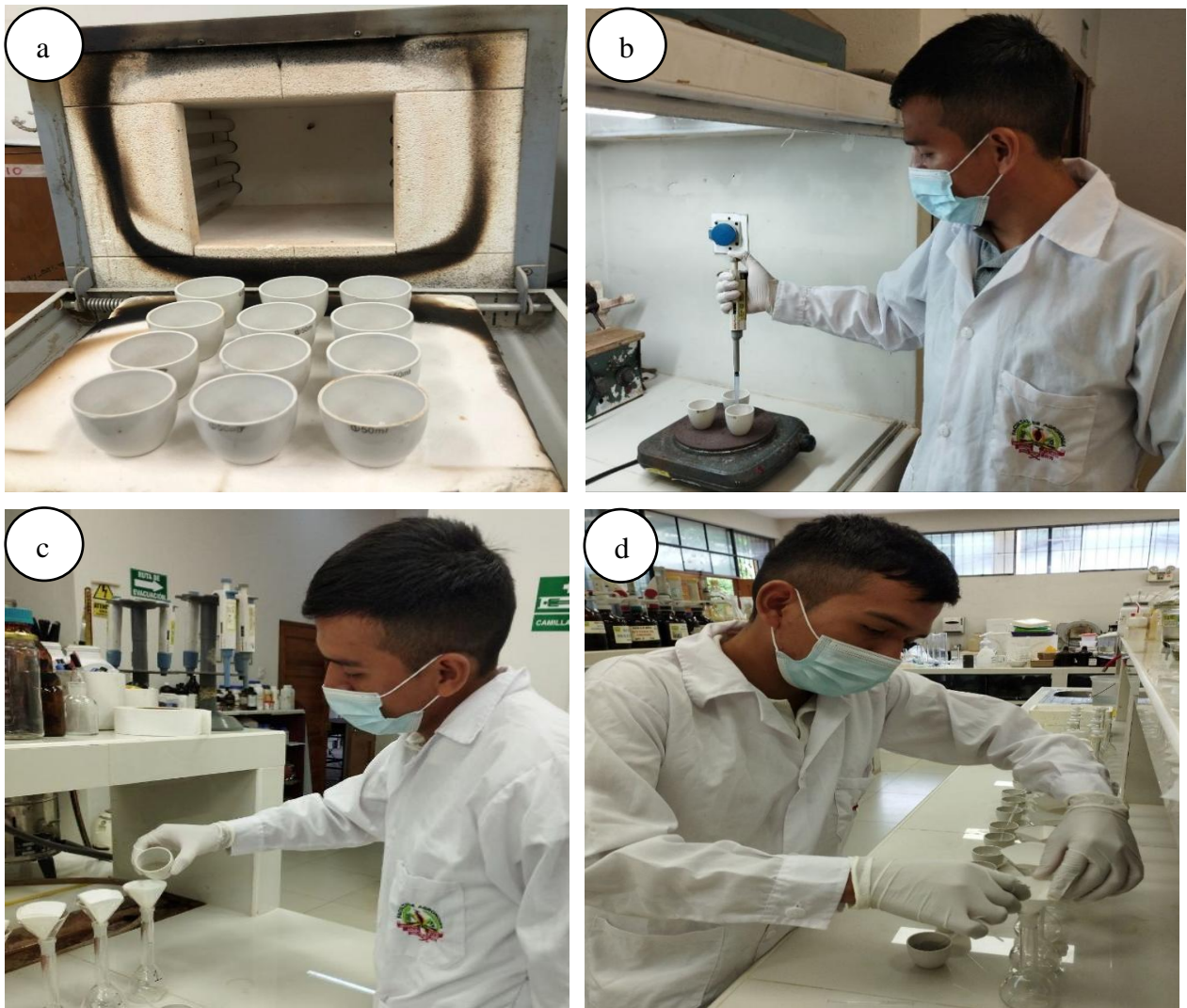
**Figura 9.** Determinación de N foliar: a. Molido de muestras, b. Pesado, c. Catalizador en la muestra, d. Muestra dentro de un balón de vidrio



**Figura 10.** Determinación de N foliar: e. Añadido de  $H_2SO_4$ , f. Digestión, g. Trasvasado de muestra, h. Indicador fenolftaleína, i. Titulación, j. Cambio de color y toma del gasto

- **Determinación de microelementos (Ca, K, Mg, Na, Zn, Fe, Cu, Mn) foliar**

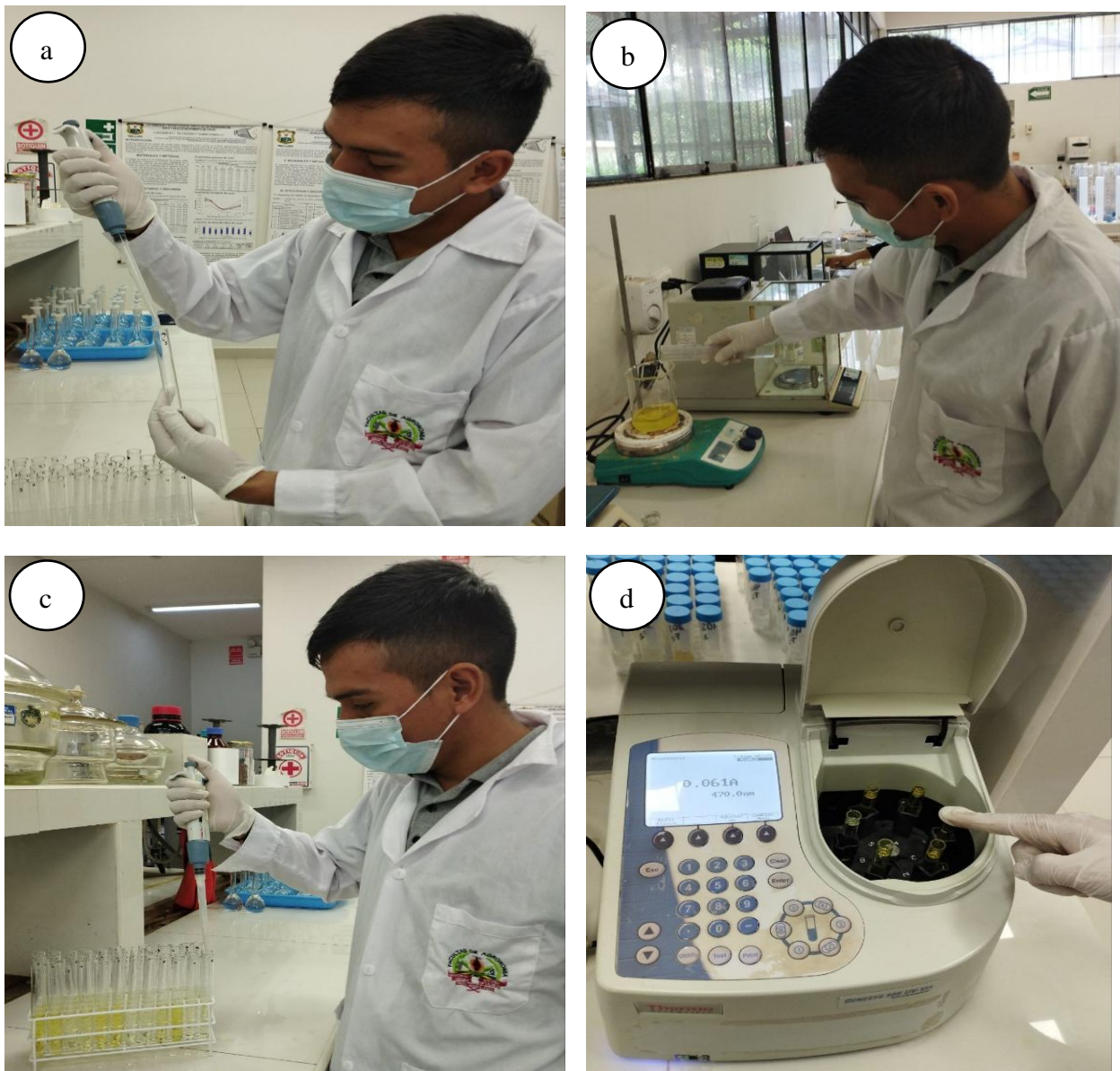
Se pesó 2 g de muestra foliar en crisoles medianos (Marca Haldenwanger), los cuales fueron identificados/tratamiento (Figura 10b), posteriormente se introdujeron en una mufla (Marca Thermo Scientific-F47915) por un período de 48 h (Figura 11a), al término de este periodo, los crisoles fueron retirados y cada uno de ellos fueron sometidos a una cocción en una cocina eléctrica (Marca Finezza-FZ201D1CH) con agua 8 ml y HCl 6 ml (se agregó intercaladamente hasta completar el proceso) (Figura 11b), al culminar el proceso de cocción se enjuagó y se filtró con agua destilada caliente en una fiola (Marca Kyntel) de 100 ml, finalmente rotular y registrar la lectura en el espectrofotómetro (Marca Perkin Elmer- 3100) (Figura 11c y 11d).



**Figura 11.** Determinación de microelementos: a. Muestra en mufla, b. Cocinado de muestras, c. Filtrado de muestras, d. Rotulado para lectura en espectrofotómetro

- **Determinación de Fosforo (P) foliar**

Con la ayuda de una micropipeta graduada (Marca D- Lab), se tomó 2 ml del extracto de cada tratamiento (Figura 11d) y se colocaron en tubos de ensayo (Marca Corning Pyrex®) de 20 ml (Figura 12a), luego se agregaron 3 ml de agua destilada y 5 ml de un compuesto reductor de fósforo (molibdato de amonio + metavanadato de amonio) (Figura 12b y 12c), tras un reposo de 15 min para permitir la formación de una coloración lila, se procedió a registrar la lectura a 470 nm en el espectrofotómetro (Genesys® 10S UV-VIS) (Figura 12d).

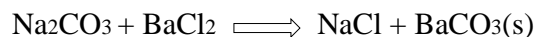


**Figura 12.** Determinación de P foliar: a. Muestra en tubos de ensayo, b. Preparado del reductor de P, c. Añadido del reductor, d. Registro de lectura

### 3.6.3. Respiración de suelo

Para llevar a cabo este proceso se limpiaron los frascos de boca ancha (Marca Genérica) utilizando agua destilada o desionizada y se los secó en una estufa, luego, se pesaron 100 gramos de sustrato por cada tratamiento para las cuatro repeticiones (Figura 13a y 13b). Después, con la finalidad de estimular la actividad microbiana se humedecieron los sustratos dentro de los frascos usando una pizeta de plástico con agua esterilizada, hasta que el agua alcance al fondo de la muestra manteniendo aireación. Acto seguido se introdujo con cuidado dentro del frasco con suelo húmedo un vaso pequeño de 50 ml de capacidad (Polipropileno) conteniendo 10 ml de solución de NaOH (Figura 13c y 13d) evitando que parte de la solución cayera directamente sobre el suelo, asimismo se tuvo en cuenta un envase que no contenga suelo, pero si la solución con el vaso pequeño, la cual nos sirvió para el proceso de análisis en blanco. Finalmente se rotularon y taparon herméticamente los frascos con suelo y el vaso en su interior y se ubicó los frascos en un lugar fresco y oscuro, a fin de permitir el desarrollo de los microorganismos del suelo y evitar la proliferación de algas que pueden consumir el CO<sub>2</sub> liberado (Figura 13e y 13f).

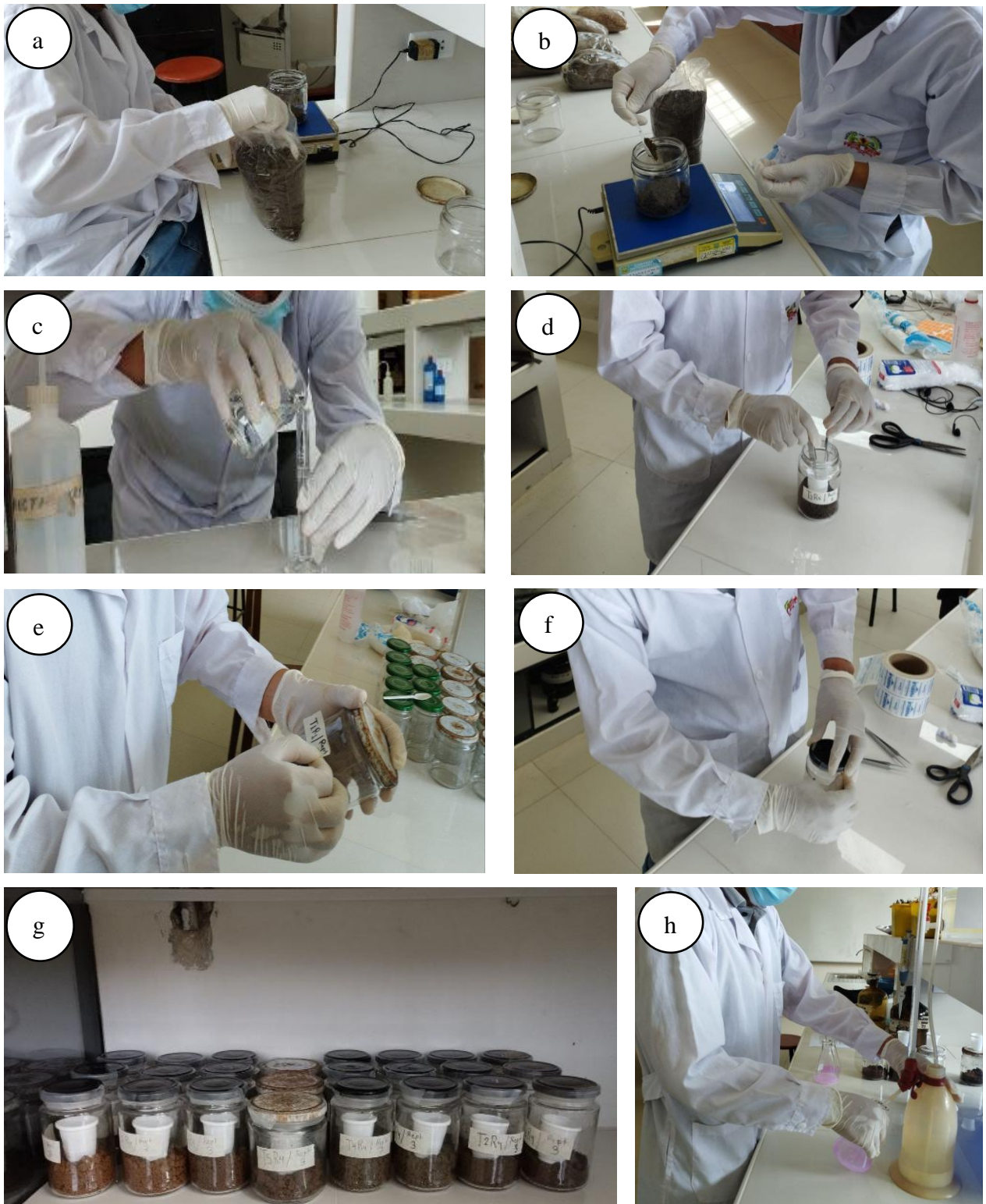
Para medir la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada y absorbida por la solución alcalina, se procedió a abrir las tapas de los frascos (Figura 13 g) y se retiró el recipiente que contenía la solución NaOH, luego, se transfirió la solución a un matraz de vidrio Erlenmeyer (Corning Pyrex®), teniendo el cuidado de enjuagar el recipiente interior y verter el agua de enjuague en el mismo matraz; después, se agregó 10 ml de una solución de BaCl<sub>2</sub>, el cual reaccionará con el Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> precipitando como BaCO<sub>3</sub> de acuerdo a la reacción:



Luego, se añadió una gota de indicador fenolftaleína y con un dispensador (Marca Calibrex<sup>TM</sup> órgano 525) se tituló el NaOH restante con HCl 1 N hasta alcanzar el viraje de acuerdo a la reacción (Figura 13h).



Finalmente, una vez realizada la titulación, se añadió 10 ml adicionales de NaOH dentro del vaso, se colocó dentro de los frascos con suelo y fueron sellados nuevamente. Las titulaciones se realizaron a los 3, 7, 14, 21, 35 y 50 días después de iniciado el experimento.



**Figura 13.** Respiración de suelo: c. Medición de NaOH, d. Incorporación de NaOH en envase, e. Etiquetado de envase y f. Sellado herméticamente de envase, g. Frascos rotulados y sellados, h. Titulación con HCl

### **3.6.4. Características microbiológicas y químicas del suelo**

#### **a. Análisis microbiológico del suelo**

Al concluir el experimento, se procedió a realizar un análisis exhaustivo de la cantidad y diversidad de microorganismos presentes —principalmente hongos y bacterias— en el sustrato correspondiente a cada tratamiento, considerando cada repetición de forma individual. Para ello, se tomaron muestras de la unidad experimental útil, extrayendo aproximadamente 100 g de sustrato a una profundidad uniforme de 5 centímetros, lo cual permitió una representación homogénea del perfil superficial del suelo. Estas muestras fueron mezcladas cuidadosamente hasta obtener una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg por tratamiento dentro de cada bloque, generando un total de 32 muestras representativas del ensayo. Posteriormente, todas las muestras fueron transportadas de manera adecuada al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), donde se llevó a cabo el proceso para determinar la carga microbiana en los sustratos. De cada muestra, se extrajeron 10 g de suelo (Figura 14a y 14b), los cuales fueron colocados en un matraz Erlenmeyer que contenía 90 ml de caldo peptona manitol. Esta mezcla fue debidamente homogeneizada y luego filtrada (Figura 14c y 14d) para garantizar una adecuada distribución microbiana.

A continuación, se tomó 1 ml de esta solución utilizando una micropipeta graduada de precisión (marca D-Lab) y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 ml de caldo peptonado, con el fin de continuar con la dilución seriada del inóculo. Posteriormente, se tomaron alícuotas de 1 ml de esta segunda solución y se depositaron en placas Petri previamente esterilizadas, sobre las cuales se vertieron diferentes medios de cultivo específicos: Agar + manitol, agar MRS, agar G y C, agar Sabouraud glucosado al 4 % complementado con antibiótico (ceftriaxona), y agar de Actinomycetos con glicerina. Estos medios fueron utilizados para el crecimiento selectivo de distintos grupos microbianos como microorganismos aeróbicos mesófilos viables (NMVA), *Lactobacillus*, bacterias fijadoras de nitrógeno, mohos, levaduras y actinomycetos, respectivamente (Figura 14e). Finalmente, las placas fueron incubadas en condiciones ambientales controladas, a una temperatura constante entre 28 y 30 °C, durante un periodo de 24 a 48 horas, dependiendo del tipo de microorganismo a evaluar. Una vez transcurrido el tiempo de incubación, se procedió al recuento de colonias visibles utilizando un contador de colonias especializado (Figura 14f), lo que permitió cuantificar con precisión la carga microbiana presente en cada tratamiento y evaluar la influencia del sustrato y las enmiendas aplicadas.



**Figura 14.** Análisis microbiológico: a. Triturado y tamizado, b. Pesado de suelo, c. Matraz con caldo peptona, d. Filtrado, e. Inoculación en placa petri y f. Placa colonizada

### b. Propiedades físicas – químicas de los sustratos

Al inicio y al finalizar el experimento (90 días) se tomó muestras de suelo de los diferentes tratamientos de los cuatro bloques y se llevó al laboratorio de Agua, Suelo y Ecotoxicología, de la Facultad de Agronomía – UNAS para su análisis físico químico.

- **Determinación de la clase textural por el método de Bouyoucus**

Para la determinación de la textura se pesó 50 g de muestra/tratamiento y se trasvasó a un vaso precipitado de 250 ml (Figura 15a y 15b), luego con un dispensador (Marca Calibrex™ órgano 525) se añadió 15 ml de Hexametofosfato de sodio al 10 %, seguidamente se añadió agua destilada o des-ionizada hasta  $\frac{3}{4}$  partes del vaso, luego se llevó al agitador por un tiempo de 5 min (Figura 15c y 15d).



**Figura 15.** Determinación de la clase textural: a. Pesado de muestras, b. Transferencia de muestras, c. Añadido de Hexametofosfato de sodio al 10 %, d. Agitado de muestras

Inmediatamente terminada la agitación, se trasvasó el contenido con ayuda de una piseta con agua des-ionizada a la probeta (Figura 16e), seguidamente se añadió agua hasta completar 1000 ml, luego con la ayuda de una varilla de agitación se agitó vigorosamente el contenido de la probeta (Marca Bomex H400225) (Figura 16f), cuando se terminó de agitar la probeta se inició el conteo de 40 s en el cronómetro (Marca Diamond), después se sumergió el hidrómetro (Marca ASTM 151H Gilson SA-1) (Figura 16g) y al cabo de 40 s se registró la lectura, finalmente se dejó la probeta en reposo y después de dos horas se registró nuevamente la lectura del hidrómetro (Figura 16h).



**Figura 16.** Determinación de la clase textural: e. Transferencia de muestras, f. Agitación de muestras, g. Lectura con el hidrómetro, h. Registro de lectura del hidrómetro

- **Determinación del pH y conductividad eléctrica (C.E.)**

Para la determinación del pH y la C.E primeramente se calibraron los equipos correspondientes al proceso, seguidamente se pesó 20 g de muestra/tratamiento en vasos pequeños de plástico, luego con la ayuda de un dispensador (Marca Calibrex™ órgano 525) se añadió 20 ml de agua destilada (relación 1:1), se llevó al rack B-11 al agitador de muestras (Marca EFE-985\_109\_129) por un periodo de 10 min (Figura 17a), se apagó el agitador y se dejó reposar por 5 min, a continuación se tomó la lectura de pH en el pH-metro (Figura 17b), finalmente se taparon los frascos y las muestras se dejaron en reposo por 24 h y se realizó la lectura de C.E. en el sobrenadante de las muestras (Figura 17c).



**Figura 17.** Determinación del pH y la C.E: a. Agitado de muestras, b. Lectura del pH, c. Lectura de la C.E.

- **Determinación de la materia orgánica (M.O) por el método de Walkley y Black.**

Se pesó 0,5 g de muestras en un matraz Erlenmeyer/tratamiento (Figura 18a), seguidamente con la ayuda de un dispensador se agregó 10 ml de Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N (Figura 18b), y se agitó manualmente, luego se añadió 10 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) se agitó manualmente por 1 min (Figura 18c), a continuación, enrazar a 100 ml con agua destilada y dejar reposar (Figura 18d).



**Figura 18.** Determinación de la M.O: a. Pesado de muestra, b. Añadido de Dicromato de potasio, c. Añadido de ácido sulfúrico, d. Enraizado con agua destilada

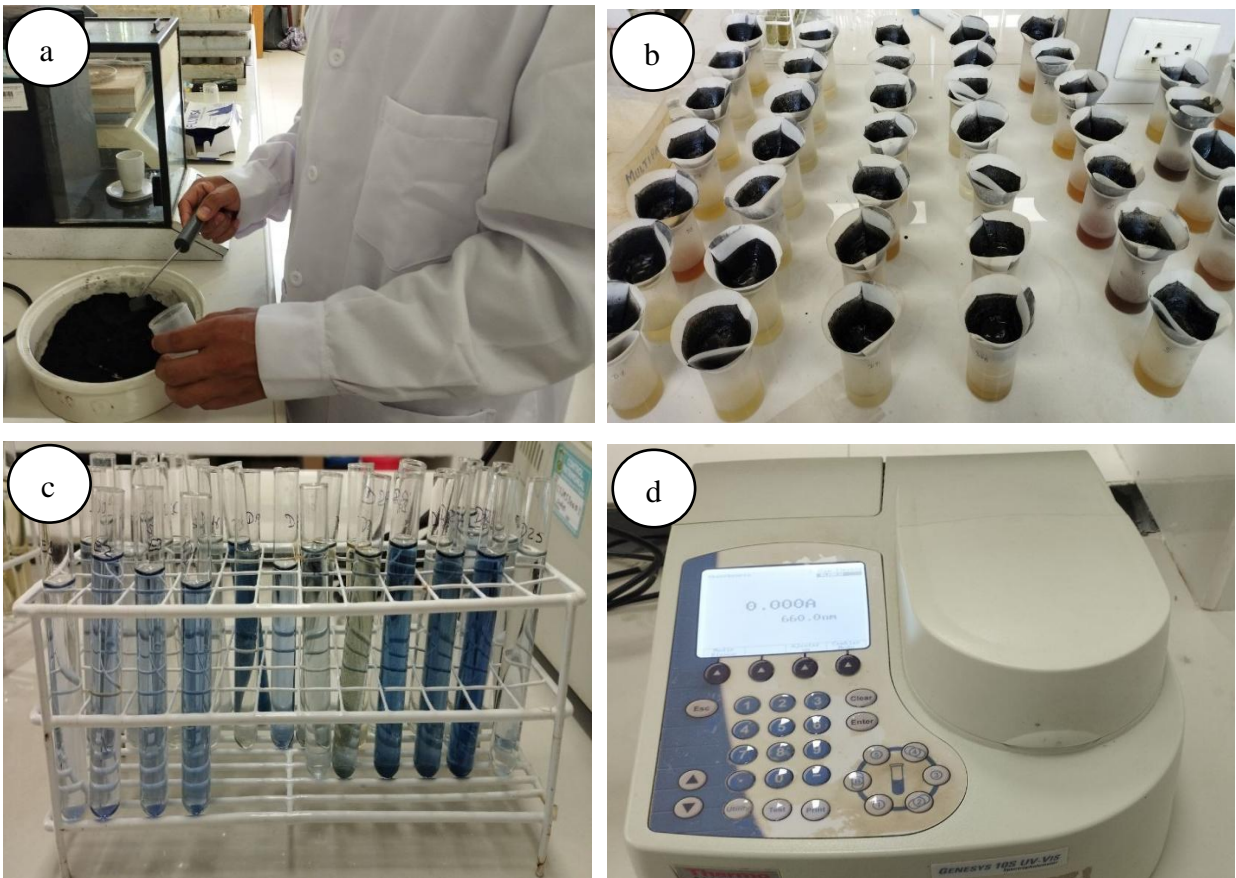
A continuación, se tomó 10 ml de la solución anterior en un vaso precipitado de 100 ml y se añadió tres gotas de indicador difenilamina sulfúrica ( $C_6H_5)_2NH$  (Figura 19e), finalmente con un dispensador (Marca Calibrex™ órgano 525) se tituló con la solución sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) 0.5 N, observando el cambio de color verde oscuro a verde brillante, el cual es un indicador final de la titulación, finalmente se anotó el gasto de la solución del sulfato ferroso (Figura 19f).



**Figura 19.** Determinación de la M.O: a. Añadido de indicador difenilamina sulfúrica, f. Titulación con sulfato ferroso

- **Determinación de fósforo disponible por el método de Olsen modificado**

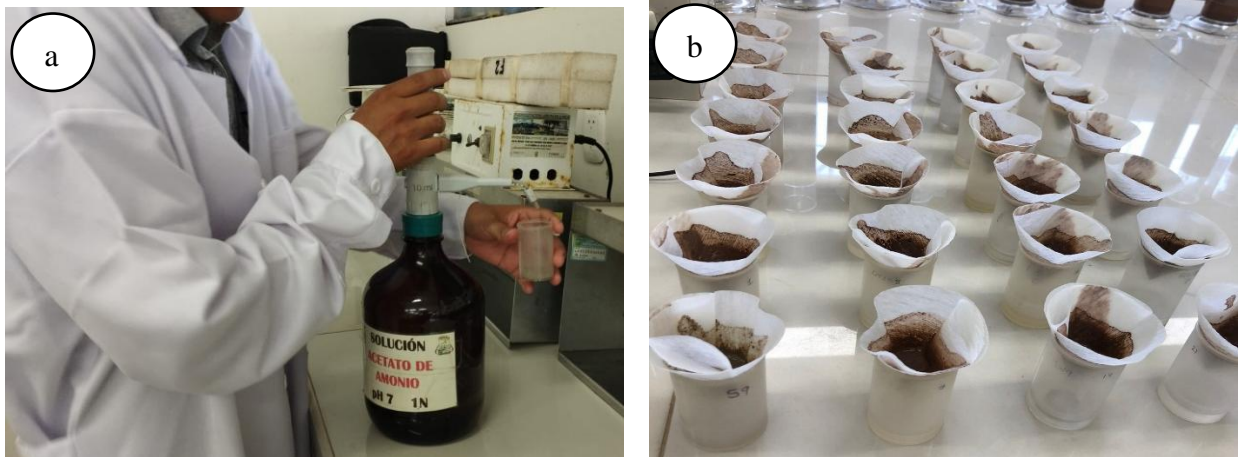
En vasos pequeño de plástico se pesó 2 g de suelo/tratamiento, luego se agregó 1 cucharada pequeña de carbón activado (Figura 20a), a continuación, se agregó 20 ml de bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ) a 0.5 M con un pH de 8,5 con el dispensador (Marca Calibrex™ órgano 525), seguidamente en un rack B11- se llevó al agitador por un período de 30 min (Figura 17a) y se filtró hasta obtener el extracto del suelo (Figura 20b). Paralelo a esto se realizó una curva de patrón de prueba el cual sirvió de referencia para saber los rangos límites de los resultados de cada una de las muestras (Figura 20c), finalmente se registró la lectura en el espectrofotómetro a 660 nm (Figura 20d).



**Figura 20.** Determinación de P disponible: a. Pesado y agregado de carbón activado, b. Filtrado del suelo, c. Patrón de prueba, d. Lectura en el espectrofotómetro a 660 nm

- **Determinación de potasio disponible por el método de saturación con acetato de amonio 1 N pH 7**

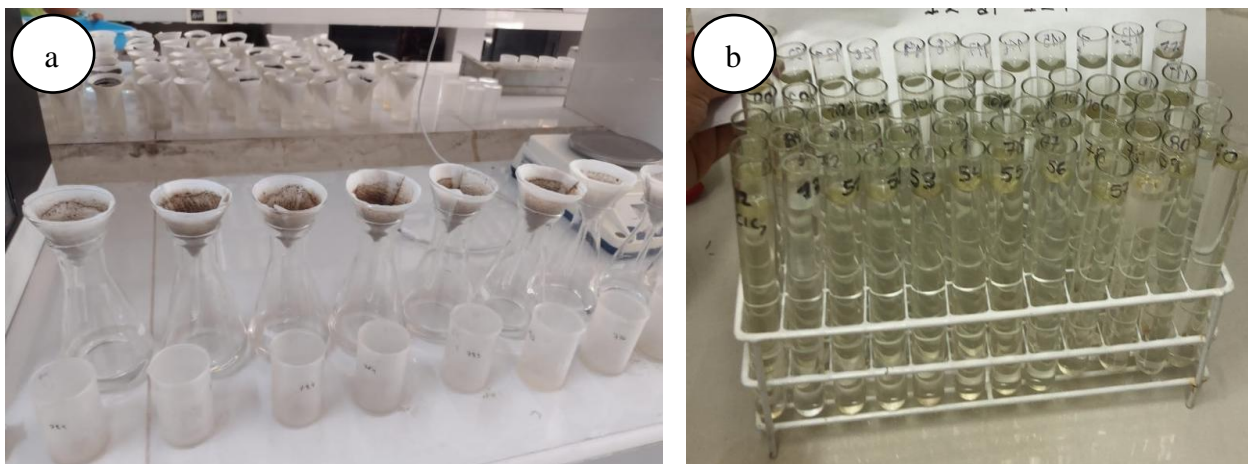
Se pesó 2 g de suelo en un vaso de plástico pequeño y se identificó/tratamiento, luego con un dispensador (Marca Calibrex™ órgano 525) se agregó 10 ml de acetato de amonio ( $C_2H_7NO_2$ ) 1 N pH 7 (Figura 21a), seguidamente se llevó a un rack B11 y se puso en un agitador por un espacio de 15 min (Figura 17a), a continuación, se filtró con la ayuda de papel filtro (Marca Whatman – grado 40), hasta obtener un extracto (Figura 21b), finalmente se tomó lectura en el espectrofotómetro a 766,5 nm.



**Figura 21.** Determinación de K disponible: a. Agregado de acetato de amonio y b. Filtrado de muestras

- **Determinación de bases cambiables (Ca, Mg, Na y K)**

Se pesó 2 g de suelo y luego se llevó al cartucho del papel filtro (Marca Whatman – grado 40), colocado en un embudo, a continuación, se agregó 40 ml de agua destilada, luego se descartó el filtrado obtenido, seguidamente se agregó 40 ml de acetato de amonio 1 N pH 7 (Figura 22a), se recibió la solución filtrada en un matraz de 125 ml, finalmente se trasvasó en tubos de ensayo de 20 ml para registrar la lectura en el espectrofotómetro, para el calcio a 422,7 nm, magnesio a 285,2 nm, sodio a 589 nm y el potasio intercambiable 766,5 (Figura 22b).



**Figura 22.** Determinación de bases cambiables: a. Filtrado de muestras y b. Muestras listas para lectura en el espectrofotómetro

### 3.6.5. Análisis beneficio costo (B/C) de los tratamientos

Se realizó un análisis económico para calcular el índice de rentabilidad de los tratamientos en estudio, utilizando la siguiente formula (8):

$$IR = \frac{UN}{CT} * 100 \quad \dots (8)$$

Donde:

IR = Índice de rentabilidad

UN = Utilidad Neta

CT = Costo Total

El ingreso bruto de cada tratamiento se determinó mediante la estimación del número total de plántones producidos en el experimento, extrapolarlo dicha cantidad a la densidad requerida por hectárea. Posteriormente, este valor se multiplicó por el precio unitario de cada plánton, obteniendo así el ingreso bruto correspondiente.

### 3.4. Desarrollo del experimento

#### 3.7.1. Obtención de semillas

Las semillas de café para este trabajo de investigación se obtuvieron del “Consortio Quivel Perú S.A.C”, ubicado en el distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, departamento Junín, que está a cargo del señor Edgar Quispe Mallma.

#### 3.7.2. Preparación de germinadores

El germinador se construyó en el vivero experimental, en un área de 1 m x 1 m y 20 cm de altura. Para la germinación se utilizó arena fina lavada previamente desinfectada con Para Chupadera (Flutolanil + Captan) (Figura 23a). Una vez desinfectada, se dejó por 24 h para posteriormente enterrar las semillas de café en la arena, finalmente se le cubrió con costales para mantener la humedad y así facilitar la germinación de la semilla (Figura 23b).



**Figura 23.** Preparación de germinadores: a. Desinfección de arena y b. Germinación de semillas.

### 3.7.3. Obtención de los tipos de suelo

El suelo agrícola se extrajo del fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Figura 24a). El suelo de playa se obtuvo de las áreas aledañas al Río Huallaga cerca de la reserva nacional Tingo María (Figura 24b), el suelo de Montaña del BRUNAS (Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva) (Figura 24c) y finalmente el suelo cocal se obtuvo de un cultivo por la carretera INTI (Figura 24d).



**Figura 24.** Recolección de suelos: a. Suelo agrícola, b. Suelo de playa, c. Suelo de montaña y d. Suelo cocal

### 3.7.4. Preparación de los sustratos

Cada tipo de suelo pasó por un proceso de tamizado en una malla metálica (Tamaño 2 x 1 m de Tipo A), de esta manera poder quitar impurezas (terrones duros, piedras grandes, raíces). Finalmente se embolsó (Figura 25a y 25b).



**Figura 25.** Preparación de los sustratos: a y b. Tamizado de los diferentes sustratos.

### 3.7.5. Embolsado y trasplante

Se usaron bolsas de polietileno de color negro de dimensiones 23''x18''x10'', con una capacidad de 1 kg. Estas bolsas fueron llenadas hasta el borde, aplicando una ligera presión para compactarlas y evitar la formación de bolsas de aire, facilitando así su disposición en el vivero (Figura 26a). Una vez dispuestas las bolsas de acuerdo al diseño establecido (Figura 2) se procedió con el trasplante de cada uno de los tratamientos (Figura 26b).



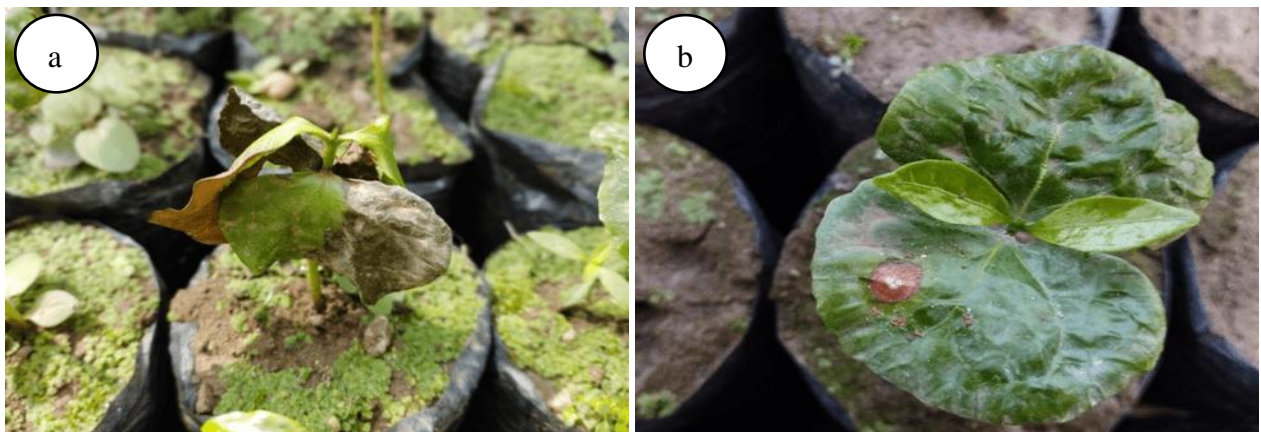
**Figura 26.** a. Embolsado y b. Trasplante de las plantas de café

### 3.7.6. Aplicación de los tratamientos

La aplicación se realizó cada 15 días después del trasplante (ddt), en un total de cinco ocasiones (Tabla 11), siguiendo estrictamente las indicaciones de la Ficha Técnica del producto, clasificado como bioestimulante y enmienda microbiana (Tabla 2). La dosificación de los productos se realizó con precisión, de acuerdo con las cantidades establecidas (Tabla 9) (Figuras 28a y 28b). Posteriormente, cada tratamiento fue llevado a capacidad de campo, determinando el volumen exacto de agua requerido para saturar completamente el sustrato de cada bolsa (Figura 28c). Una vez establecida la capacidad de campo, los productos fueron diluidos en la mezcla correspondiente y aplicados mediante una jeringa de 20 ml con regulación de volumen, asegurando una distribución homogénea en la unidad experimental (Figura 28d).

**Tabla 8.** Momento de aplicación de Tricho-D y Bacthon.

Número de aplicaciones	Momento de aplicación (ddt)	Fecha de aplicación
Primera	15	09/09/2022
Segunda	30	22/09/2022
Tercera	45	06/10/2022
Cuarta	60	21/10/2022
Quinta	75	04/11/2022



**Figura 27.** Control fitosanitario: a. Efecto de estrés y b. Mancha de hierro en plántulas jóvenes de café



**Figura 28.** Aplicación de tratamientos: a. Dosificación de Bacthon, b. Dosificación de Tricho-D, c. Aplicación para capacidad de campo y d. Aplicación de Tricho-D y Bacthon en mezcla

### 3.7.7. Riego

El riego se realizó en función a las necesidades de la planta, de manera interdiaria y en forma periódica para así evitar el exceso de humedad en el vivero.

### 3.7.8. Registro meteorológico

Los datos meteorológicos del siguiente trabajo de investigación se obtuvieron de la estación meteorológica José Abelardo Quiñonez de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Tabla 3).

### 3.7.9. Control fitosanitario

Para el control fitosanitario de las plántulas de café se realizó monitorios visuales para determinar oportunamente la incidencia de enfermedades o fitófagos y en base a ello se realizará su respectivo control. Durante el proceso de evaluación del trabajo se pudieron observar algunos síntomas de estrés y enfermedades, particularmente a la mancha de hierro causado por *Cercospora coffeicola*, producto de la baja fertilización de los suelos (Figura 28a y 28b).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características químicas y microbiológicas de los sustratos

#### 4.1.1. Contenido Nutricional del suelo (pH, % M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, y CICE)

##### a. Análisis de normalidad

Cabe destacar que, para este análisis, se optó por utilizar gráficos Q-Q (Quantile-Quantile) en lugar de pruebas convencionales de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk. Esto se debe a que, en muestras grandes, dichas pruebas tienden a detectar desviaciones mínimas de la normalidad que carecen de relevancia práctica, lo que con frecuencia conduce al rechazo de la hipótesis de normalidad. Además, pruebas como Shapiro-Wilk fueron originalmente diseñadas para tamaños muestrales pequeños, generalmente no superiores a 50–100 observaciones (Pedrosa et al., 2015). Por el contrario, los gráficos Q-Q permiten una evaluación visual más robusta de la distribución de los datos, facilitando la detección de asimetrías, colas pesadas, valores atípicos o curvaturas (Kozak & Piepho, 2018). Dado que el tamaño muestral en este experimento fue de 256 observaciones, se consideró más apropiado utilizar gráficos Q-Q para evaluar la normalidad de los residuos, obteniendo:

pH y P: Los puntos se desvían notablemente en ambos extremos, alejándose de la línea recta, aparentando una posible no normalidad, sin embargo, se contrarresta con los valores obtenidos a partir del valor de  $r$  (0,95 y 0,78) (Figura 29a y d).

M.O. y N: Presenta ligera curvatura, especialmente en los extremos, lo cual indica una distribución moderadamente asimétrica con valores de  $r$  (0,97 y 0,96) (Figura 29 b y c).

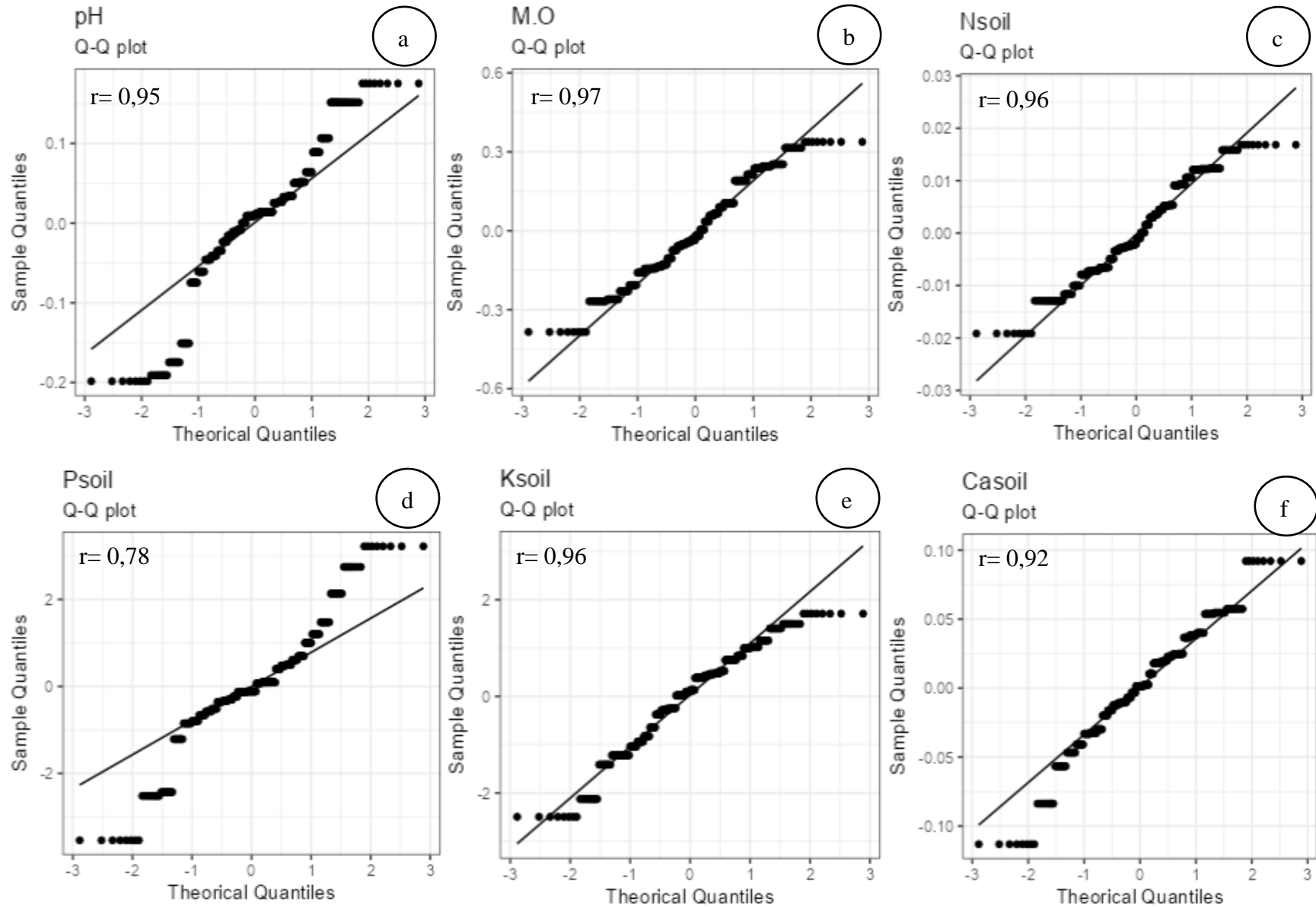
K: El centro se alinea razonablemente, los extremos muestran curvatura en S, indicando asimetría con el supuesto de normalidad y valores  $r$  (0,96) (Figura 29 e).

Ca: Alineación de datos con la diagonal, salvo ligeras desviaciones, considerarse aproximadamente normal, a partir del valor de  $r$  (0,92) (Figura 29 f).

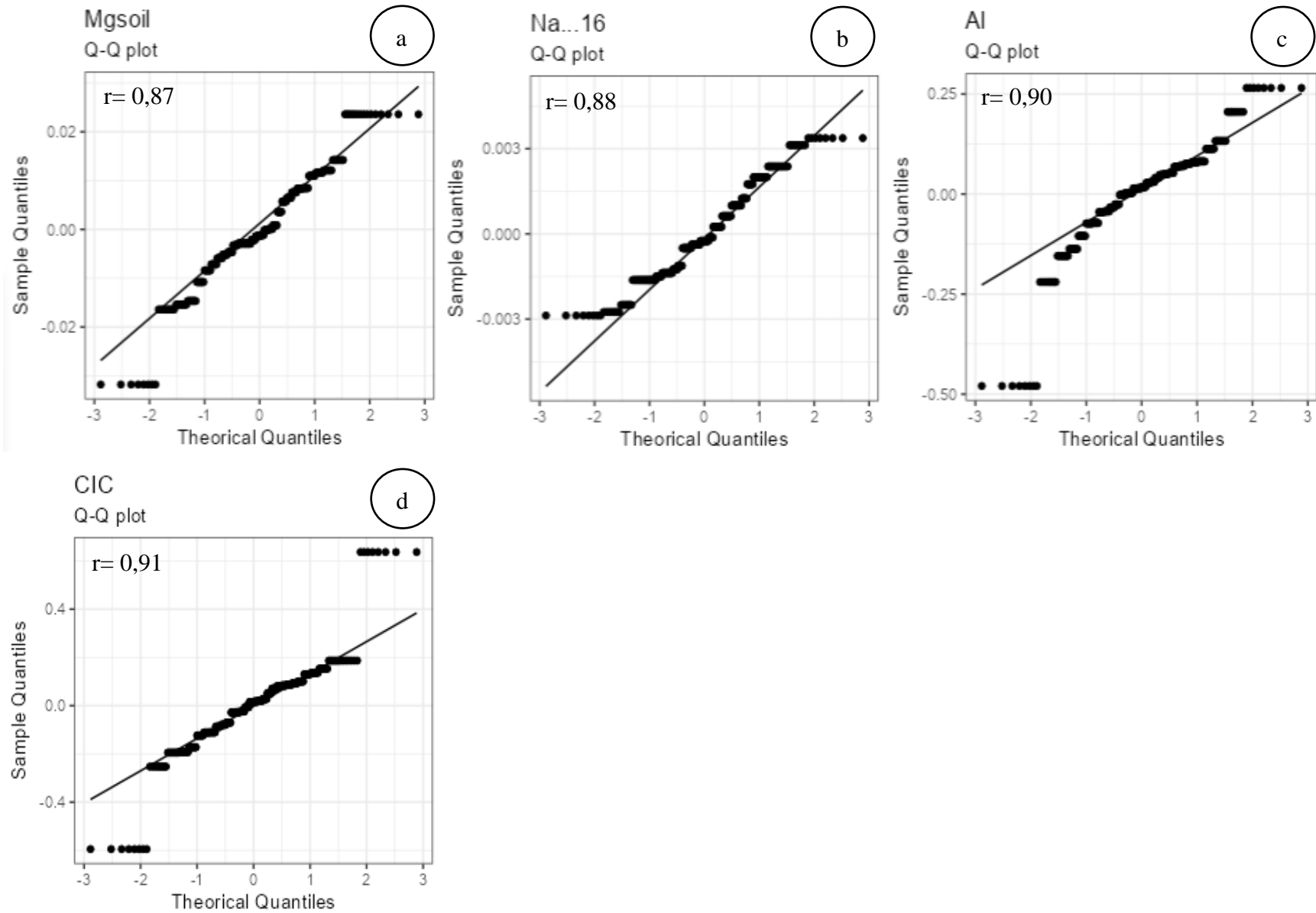
Mg y Al: Sigue una distribución normal que va a partir con los valores obtenidos a partir del valor de  $r$  (0,87 y 0,90) (Figura 30 a y c).

Na: Puntos cercanos a la línea en el centro, pero dispersos en extremos presentando una distribución aproximadamente normal a partir del valor de  $r$  (0,88) (Figura 30 b).

CIC: Alineación bastante buena con la diagonal, considerándose alrededor de normal, apta para análisis paramétricos del modelo y valor  $r$  óptimo (0,91) (Figura 30 d).



**Figura 29.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de las muestras de suelo final: a. pH, b. M.O., c. N, d. P, e. K y f. Ca



**Figura 30.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de las muestras de suelo final: a. Mg, b. Na, c. Al y d. CIC

### b. Prueba de homogeneidad de varianza

Se desarrolló esta prueba para analizar el comportamiento de la varianza entre los tratamientos de estudio (Tabla 9), para lo cual La prueba de Levene evidenció una diferencia significativa en las varianzas entre los grupos ( $p = <0.001$ ), lo cual indica que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido por el ANOVA tradicional. Por esta razón, se optó por aplicar el ANOVA de análisis de submuestreo, que es más específico frente a la desigualdad de varianzas.

**Tabla 9.** Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido nutricional (pH, M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE) de análisis de suelo, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Variable evaluada	Grupo comparado	Estadístico de Levene	Grados de libertad (gl1, gl2)	Valor p	Conclusión
pH	Tratamientos	21,476	(7,248)	<0,001	NHV
M.O	Tratamientos	16,989	(7,248)	<0,001	NHV
(N) Nitrógeno	Tratamientos	12,752	(7,248)	<0,001	NHV
(P) Fosforo	Tratamientos	241,543	(7,248)	<0,001	NHV
(K) Potasio	Tratamientos	23,467	(7,248)	<0,001	NHV
(Ca) Calcio	Tratamientos	24,861	(7,248)	<0,001	NHV
(Mg) Magnesio	Tratamientos	99,035	(7,248)	<0,001	NHV
(Na) Sodio	Tratamientos	66,429	(7,248)	<0,001	NHV
(Al) Aluminio	Tratamientos	30,141	(7,248)	<0,001	NHV
CIC	Tratamientos	41,229	(7,248)	<0,001	NHV

NHV: No existe homogeneidad de varianzas

### c. Análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ )

Los resultados del análisis de suelo (Anexo: Figutra 72-75) fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 10), donde se evaluó el contenido de pH, Materia Orgánica (M.O.), Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), Sodio (Na), Aluminio (Al) y CICE en el sustrato de las plántas de café.

Según la prueba p-valor del ANVA, en donde se encontró un valor de 0,05; se evidencia estadísticamente rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, mostrando diferencias estadísticas entre bloques (Suárez, 2012) (Tabla 10), a excepción del Ca y Al, mismos que no muestran diferencias significativas entre los bloques, esto implica que, los resultados obtenidos estuvieron influenciados por algún factor entre los bloques, indicando una limitada homogeneidad en el área experimental (Calzada, 1982), en estos casos Tejedor (2003)

sugiere el uso del DBCA cuando las unidades experimentales son heterogéneas, es por ello que en la presente investigación antecediendo a estos probables resultados el diseño experimental realizado fue el que recomendó Tejedor.

Con respecto a los tratamientos se encontró diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados (pH, M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE), esto quiere decir que uno o algunos de los tratamientos es diferente al resto (Calzada, 1982). El coeficiente de variabilidad (CV) se sitúa en el 2,44; 17,88; 17,85; 9,78; 2,03; 2,41; 4,30; 3,97; 6,40 y 4,05 % para pH, M.O, N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE respectivamente (Tabla 13), de acuerdo con Barbosa (2010) el CV para pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE se encuentran dentro del rango bajo, mientras que la M.O y el N, se encuentran en un rango medio.

**Tabla 10.** Cuadrado Medio del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) del contenido nutricional (pH, M.O., N, P, K, Ca, Mg, Na, Al y CICE) de análisis de suelo final, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Fuente de variación		Bloque	Tratamiento	Error muestral	Error experimental	CV (%)	R <sup>2</sup>
<b>GL</b>		3	7	56	189		
pH	CM	0,18 <b>S</b>	21,07 <b>S</b>	0,01	0,01	2,44	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				
% M.O.	CM	3,19 <b>S</b>	9,36 <b>S</b>	0,00	0,04	17,88	0,90
	p-valor	0,0001	0,0001				
N	CM	0,01 <b>S</b>	0,02 <b>S</b>	0,00	0,00011	17,85	0,90
	p-valor	0,0001	0,0001				
P	CM	20,65 <b>S</b>	6029,39 <b>S</b>	0,00	2,44	9,78	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				
K	CM	40,02 <b>S</b>	2495,39 <b>S</b>	0,00	1,38	2,03	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				
Ca	CM	0,01 <b>NS</b>	18,32 <b>S</b>	0,00	0,0024	2,41	0,99
	p-valor	0,0967	0,0001				
Mg	CM	0,0016 <b>S</b>	0,73 <b>S</b>	0,00	0,00017	4,30	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				
Na	CM	1.30E-05 <b>S</b>	8.10E-04 <b>S</b>	2.80E-12	3.50E-06	3,97	0,90
	p-valor	0,0146	0,0001				
Al	CM	0,01 <b>NS</b>	54,76 <b>S</b>	0,00	0,02	6,40	0,99
	p-valor	0,6860	0,0001				
CICE	CM	1,09 <b>S</b>	87,12 <b>S</b>	0,00	0,05	4,05	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				

S : significativo  
 NS : no significativo  
 GL : Grados de libertad  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza

#### d. Prueba de DGC ( $\alpha = 0,05$ )

En el análisis de media de la prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) con un nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 13), se encontró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos, para los macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (Ca, Mg, Na, Al) analizados, en el contenido nutricional del suelo.

En cuanto al nivel de pH de suelo (Tabla 11), tanto el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) y el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola +Bacthon+Tricho-D), mostraron un pH medianamente ácidos. De manera general se evidenció que los productos Bacthon + Tricho – D no influenciaron en la generación de la acidez del suelo, ya que esto se puede corroborar con la Tabla 4, en esta se evidencia los datos iniciales y finales de los análisis del suelo referente a este parámetro. Asimismo, de acuerdo a la prueba de medias DGC (Tabla 14), el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) y T<sub>1</sub> (Suelo agrícola +Bacthon+Tricho-D) con 5,30 y 5,25; respectivamente, fueron superiores estadísticamente a todos los tratamientos. Este parámetro podría estar próximo a los rangos óptimos referente a la actividad de los microorganismos, dado que el rango de pH óptimo para *Trichoderma* y las bacterias nitrificantes son variantes y estos los podemos evidenciar gracias a Rodríguez et al. (2013) quienes señalan que el pH óptimo para la sobrevivencia de *Trichoderma* se encuentra entre 5,5-6,5; además, Cervantes et al. (2017) indican que el óptimo de pH para las bacterias va de 6,0 hasta 8,5 y algunas de ellas con capacidad de alterar el pH por los productos generados durante su desarrollo.

Asimismo, se destacan valores como 3,8 de pH en el tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal) (Tabla 11), lo cual corresponde a un nivel extremadamente ácido. Este resultado sugiere que la no incorporación de productos como bioestimulantes y enmiendas microbianas impide modificar significativamente la acidez del suelo. Cabe resaltar que, en el análisis inicial del experimento, este tipo de suelo presentó un valor de pH de 3,7 (Tabla 4), por lo que no se evidenció una variación sustancial durante el ensayo.

En cuanto al contenido de Materia orgánica (M.O.) y Nitrógeno (N) (Tabla 11), en todos los tratamientos los niveles fueron bajos, sin embargo de acuerdo a la prueba de media de DGC (Tabla 11), el T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D) con 1,91 y 0,10 %, respectivamente, fue superior estadísticamente a todos los tratamientos. lo que sugiere un efecto sinérgico positivo entre los componentes orgánicos del suelo cocal y los inoculantes microbianos (Bacthon y *Trichoderma*), esto concuerda parcialmente con Zhu et al. (2022), quienes observaron incrementos en M.O. mediante la aplicación combinada de enmiendas orgánicas y *Trichoderma harzianum* en

suelos degradados. Cabe resaltar a Torsvik et al. (1990) al clasificar a los microorganismos de acuerdo a su diversidad, pues manifiestan que esta diversidad está complementada con una alta densidad debido a su presencia en el suelo bajo condiciones óptimas de su hábitat, valorizándolos cuantitativamente que en un gramo de suelo es posible encontrar  $10^6$ -  $10^8$  bacterias,  $10^6$ -  $10^7$  actinomicetos y  $10^4$ -  $10^5$  hongos, siendo la unidad formadora de colonias/g suelo (ufc/gr) la unidad para su cuantificación. Bajo estas características podemos indicar que el T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D) en relación a la cantidad de microorganismos aeróbicos viables, lactobacillus, bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos, mohos y levaduras, está por debajo de las cantidades óptimas (Tabla 14).

Por lo tanto, estos resultados reflejan que los niveles de M.O. en el presente tratamiento es bajo (>2,00 %), como el T<sub>8</sub> (suelo cocal) que tuvo 1,74 % (Tabla 11), contrastando un ligero aumento con respecto a su análisis inicial (1,16 %) (Tabla 4), no obteniendo calidad óptima para poder producir y proliferar una mayor cantidad de microorganismos, atribuible a la moderada presencia de microorganismos, como señala Torsvik et al. (1990). Estos resultados referente a la materia orgánica en el suelo es corroborado con Panaifo (2021) en la localidad de Monzon (Huánuco-Perú) al evaluar suelos agroforestales y ex cicales, por lo cual podemos manifestar que esta concordancia se debe a que nuestros suelos están dentro de la región que estudió Panaifo encontró similitudes en el parámetro de M.O entre suelos agroforestales y ex cocal. Referente a los resultados de N en el suelo y su relación con la M.O, esto probablemente se puede relacionar a la afirmación de Julca et al. (2006) pues mencionan que la M.O. representa un porcentaje de N en el suelo, siendo este un indicador viable para medir las condiciones del suelo y además su estrecha relación con el contenido del nitrógeno. Asimismo, el tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal) presenta un bajo contenido de nitrógeno (0,09) (Tabla 11), mostrando un ligero aumento respecto a su valor inicial de 0,06 (Tabla 4). Este resultado sugiere que el uso de bioestimulantes a base de *Trichoderma* sp. y enmiendas microbianas no tiene un efecto significativo sobre los niveles de nitrógeno en el suelo.

En cuanto al contenido de Fosforo (P) (Tabla 11), se observa que hay un nivel alto. El T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con 38,67 ppm resaltó estadísticamente en comparación a los demás tratamientos. Estos resultados pueden estar relacionados probablemente por diversos factores, uno de los factores puede ser la cantidad de microorganismos (Tabla 14), donde el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) fue estadísticamente superior en cuanto a la

cantidad de actinomicetos con  $9,02 \times 10^4$  ufc/g, ya que esta dentro de los rangos ideales (Torsvik et al.1990), por lo cual Beltrán (2015) señala que los actinomicetos tienen la capacidad de solubilizar fosfatos minerales que han sido fijados en el suelo pero no pueden ser asimilados por las plantas. Este hallazgo concuerda con la investigación de Lovon y Curi (2022), quienes destacan la contribución de microorganismos en la solubilización de fosfatos en la rizosfera. Por otro lado, Llanos (2017), identificó la presencia de bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF), principalmente del género *Bacillus*, los resultados de la carga bacteriana solubilizadora de fosfato en el suelo presentó hasta un máximo de  $2,40 \times 10^3$  ufc/g, esto apoya al valor de que existe una relación de microorganismos con la solubilización de muchos elementos. Es importante manifestar que los resultados también podrían estar relacionados al origen del suelo del sustrato, es decir, el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) derivan de un uso agrícola, resaltando que el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) es suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D, este suelo agrícola, fue recolectado en la Facultad de Agronomía, proveniente de diferentes actividades de investigación académica bajo una fuerte interferencia antrópica a través de histórico, probablemente porque el área de muestreo proviene de tesis donde siempre ha tenido aplicaciones constantes de fertilizantes sintéticos, a eso se le atribuye el elevado valor del fósforo, asimismo puede estar relacionado a los elevados valores que se encuentra con K (Tabla 11) para los tratamientos de suelo agrícola en relación a los otros tratamientos provenientes de otros tipos de suelo. Asimismo, se dilucita la presencia de este elemento en los resultados del tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal), el cual mostró los valores más bajos durante el experimento, con un promedio de 7,58 (Tabla 11), considerado un nivel medio-bajo. Sin embargo, se observó un ligero aumento en comparación con su valor inicial de 4,16 (Tabla 4). En contraste con los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, se puede inferir que en suelos de cocal, sin la aplicación de bioestimulantes como *Trichoderma* ni enmiendas microbianas, podría generarse un efecto negativo sobre la disponibilidad de este elemento.

En cuanto al Potasio (K) y Calcio (Ca) (Tabla 11) los niveles son bajos, sin embargo, el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) mostró valores superiores estadísticamente significativos, con 74,72 y 3,14 ppm, respectivamente, en comparación con todos los tratamientos, esto probablemente se debe a que el tratamiento en mención deriva de suelos agrícolas, pues estos suelen recibir aplicaciones regulares de fertilizantes que contienen potasio y calcio, como la potasa y la cal agrícola (carbonato de calcio), fertilizantes utilizados para mantener o mejorar la fertilidad del

suelo (Mosquera y González, 2000). Asimismo, se puede destacar que el tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal) presentó un bajo contenido de potasio y calcio, con valores de 47,35 y 1,24 respectivamente (Tabla 11). En comparación con sus valores iniciales (29,99 para potasio y 4,80 para calcio según Tabla 4), se observa un ligero incremento en el potasio y una disminución en el calcio. Esto sugiere que el uso de bioestimulantes tipo Trichoderma y enmiendas microbianas puede influir positivamente en el contenido de potasio. Sin embargo, en el caso del calcio, no se evidencia una relación directa de aumento, lo que indicaría que, para este nutriente, la aplicación de dichos productos no sería necesariamente efectiva.

Referente al Mg, se observó que el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) con 0,54 Cmol(+)/kg (Tabla 14), exhibieron un mayor contenido de Mg, con un nivel medio en comparación a los demás tratamientos. Estos resultados podrían estar asociados con la presencia de microorganismos (Tabla 14), donde el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) fueron estadísticamente superiores en cuanto a la cantidad de Mohos y Levaduras. Según Meena et al. (2017), las levaduras, en especial *Saccharomyces cerevisiae* son capaces de solubilizar al Magnesio en forma de Sulfato de Magnesio. Asimismo, se puede destacar que el tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal) presentó un bajo contenido de magnesio, con 0,19 (Tabla 11). En comparación con su valor inicial con 0,76 (Tabla 4), lo que indica que la nula aplicación de bioestimulantes tipo Trichoderma y enmienda microbiana, causaría un decrecimiento en el contenido de este elemento.

Con respecto al contenido de Sodio (Na) (Tabla 11), se observó que el T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D) con 0,06 Cmol(+)/kg tuvo mayor contenido de sodio en comparación a los demás tratamientos. Cabe resltar que las diferencias entre los tratamientos es muy próxima entre uno a otro, observandose 0,06 Cmol(+)/kg (T<sub>3</sub>) > 0,05 Cmol(+)/kg (T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>7</sub>,T<sub>5</sub>)> 0,04 Cmol(+)/kg (T<sub>6</sub> y T<sub>8</sub>), asimismo cabe resaltar que los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> derivan de un suelo de playa, sin embargo se observa un diferencial estadístico, pero muy proximos numericamente, ese diferencial puede deberse a que probablmente en este suelo se obtuvo el 0,06 Cmol(+)/kg en el punto de muestro quizás pudo haber algún componente no identificado por el tesista en el momento del muestro que haya causado en efecto muy diminuto en relacionado al Na. Asimismo, se puede destacar que el tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal) presentó un bajo contenido de Sodio con 0,04 (Tabla 11), no pudiendo contrarrestar con valores tomados de la muestra inicial por que no se obtuvo valor alguno en muestras iniciales, sin embargo se podría indicar que la nula

aplicación de bioestimulantes tipo Trichoderma y enmienda microbiana, causaría tener valores bajos el contenido de este elemento.

En el caso del Aluminio (Al) (Tabla 11), se observó mayores valores para los tratamientos T<sub>6</sub> (Suelo de montaña D) y T<sub>5</sub> (Suelo de montaña +Bacthon+Tricho) con 4,33 y 4,27 Cmol(+)/kg, respectivamente, en relación a los otros tratamientos, esto se debe a que estos suelos presentaron características extremadamente ácidos, siendo corroborado este parámetro (Tabla 14) para estos tratamientos que tuvieron los menores valores en relación a los otros referente al pH. Estas afirmaciones están relacionadas con Espinosa y Molina (1999) los autores afirman que la acidez promueve la presencia de aluminio intercambiable en el suelo, lo cual a su vez impulsa e intensifica la acidez en el suelo. Por esto la presencia de aluminio genera una reacción en cadena acidificando más los suelos. Aunado a estas características se afirma que una de las limitantes de la toxicidad del Al de estos tratamientos se evidencian en la reducción del crecimiento de raíces, esta afirmación la podemos observar en la 16 relacionado a la longitud de la raíz, donde estos tratamientos tuvieron los menores valores. En cuanto al T<sub>8</sub> (suelo cocal) presentó un valor medio en el contenido de Aluminio con 2,16 (Tabla 11), no pudiendo contrarrestar con valores tomados de la muestra inicial por que no se obtuvo valor alguno en muestras iniciales, sin embargo se podría indicar que la nula aplicación de bioestimulantes tipo Trichoderma y enmienda microbiana, causaría tener valores medios el contenido de este elemento

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CICe) (Tabla 11) se observó que los suelos de montaña T<sub>5</sub> (Suelo de montaña +Bacthon+Tricho-D) y T<sub>6</sub> (Suelo de montaña) tuvieron elevados valores en relación a los otros tratamientos. Asimismo se observa que existe tratamientos donde se reducen a la mitad de los valores encontrados, como es el caso de los sustratos de suelos de playa, por lo cual de manera general probablemente en relación a todos los tratamientos, la CIC a manera de interpretación es baja, esto se debe porque existe una carencia de materiales orgánicos, ya que evidencian ser sustratos pobres en M.O. (porcentaje de materia orgánica), a la vez suelos con extremada acidez (pH) debido a la toxicidad del aluminio, todos ellos evidenciados en los tratamientos T<sub>5</sub> (Suelo de montaña +Bacthon+Tricho-D) y T<sub>6</sub> (Suelo de montaña). Esta carencia de materiales orgánicos conllevan a una baja capacidad de retención de cationes adecuada. Por otro lado, podemos afirmar que los los sustratos que provienen de suelos de playa se consideran suelos inertes debido a que se componen principalmente de cuarzo, mineral con muy poca sustitución isomorfa y muy baja superficie específica, esto se evidencia a que estos

tratamientos tuvieron la mitad de la CIC en comparación a los que tuvieron una mayor cantidad. Esta afirmación está relacionada a lo que indica Molina (2013) quien argumenta que los sustratos que contienen arena de río son considerados inertes por poseer baja CIC, ya que predominantemente están compuestos por cuarzo (99 % de SiO<sub>2</sub>), mineral con muy poca sustitución isomórfica y a la vez presenta una superficie específica muy baja (0,15 cm<sup>2</sup>/g). En cuanto al T<sub>8</sub> (suelo cocal) presentó un valor bajo en el contenido de CIC con 3,93 (Tabla 11), evidenciando un decrecimiento con respecto a su muestra inicial con un valor de 7,25 (Tabla 4), por ende se puede analizar que la nula aplicación de bioestimulantes tipo Trichoderma y enmienda microbiana causaría tener valores bajos el contenido de CIC.

En lo que respecta al tratamiento T<sub>8</sub> (suelo cocal), el cual corresponde al uso exclusivo de suelo cocal como sustrato, se ha podido observar que este tipo de suelo no representa una opción adecuada ni eficiente para su utilización en la etapa de vivero de plántulas de café. Aun cuando se le adicionan bioestimulantes como *Trichoderma* spp. y enmiendas microbianas de tipo Bacthon, como se implementó en el tratamiento T<sub>7</sub> (suelo cocal + Bacthon + Tricho-D), estos resultados obtenidos continúan siendo similares entre sí, sin mostrar mejoras significativas en las variables evaluadas, y por el contrario, reflejan efectos poco favorables sobre el desarrollo de las plantas. Por ejemplo, al analizar indicadores biométricos fundamentales como la altura de las plántulas, se observa que el tratamiento T<sub>8</sub> mostró un crecimiento limitado, con una media de apenas 6,52 cm, en clara desventaja frente a tratamientos como el T<sub>1</sub> (suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D), que alcanzó los 11,97 cm. Asimismo, al evaluar el incremento del volumen radicular, el tratamiento T<sub>7</sub> reportó un valor de tan solo 0,21 cm<sup>3</sup>, considerablemente inferior al obtenido por el tratamiento T<sub>1</sub>, que logró alcanzar los 0,76 cm<sup>3</sup>. Estos hallazgos permiten afirmar que los sustratos provenientes de zonas cicales presentan restricciones marcadas en cuanto a su capacidad de favorecer un desarrollo óptimo de las plántulas, al menos bajo las condiciones evaluadas en este estudio. En contraposición, los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> sobresalieron de manera consistente en los análisis realizados, mostrando mejores respuestas tanto en los parámetros biométricos como en los indicadores nutricionales y físico-químicos del suelo, posicionándose como las alternativas más recomendables para su aplicación en viveros..

**Tabla 11.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de suelos final, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

<b>pH</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
	<b>Promedio</b>	5,30	5,25	4,66	4,60	3,80	3,80	3,33	3,28
	<b>Sig.</b>	a	a	b	b	c	c	d	d
<b>% M. O.</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
	<b>Promedio</b>	1,91	1,74	1,48	1,37	1,07	0,98	0,50	0,44
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
<b>N</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
	<b>Promedio</b>	0,10	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05	0,02	0,02
	<b>Sig.</b>	a	b	c	c	d	d	e	e
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>
	<b>Promedio</b>	38,67	37,71	9,64	9,00	8,69	8,37	8,15	7,58
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
<b>K</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>
	<b>Promedio</b>	73,72	67,47	59,60	58,10	53,54	53,23	50,89	47,35
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
<b>Ca</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>
	<b>Promedio</b>	3,14	3,09	2,17	2,15	1,60	1,44	1,35	1,24
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
<b>Mg</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>6</sub>
	<b>Promedio</b>	0,54	0,54	0,27	0,26	0,25	0,21	0,19	0,17
	<b>Sig.</b>	a	a	b	c	d	e	f	g
<b>Na</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>
	<b>Promedio</b>	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
	<b>Sig.</b>	a	b	b	b	b	b	c	c
<b>Al</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>
	<b>Promedio</b>	4,33	4,27	2,68	2,16	1,41	1,39	1,34	1,16
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
<b>CICe</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>
	<b>Promedio</b>	8,59	7,37	5,31	5,29	4,93	4,26	4,22	3,93
	<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h

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

Ult: Última evaluación realizada al final del experimento, 105 días después de la 1°, 2°, 3°, 4° y 5° aplicación de Bacthon + Tricho-D

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

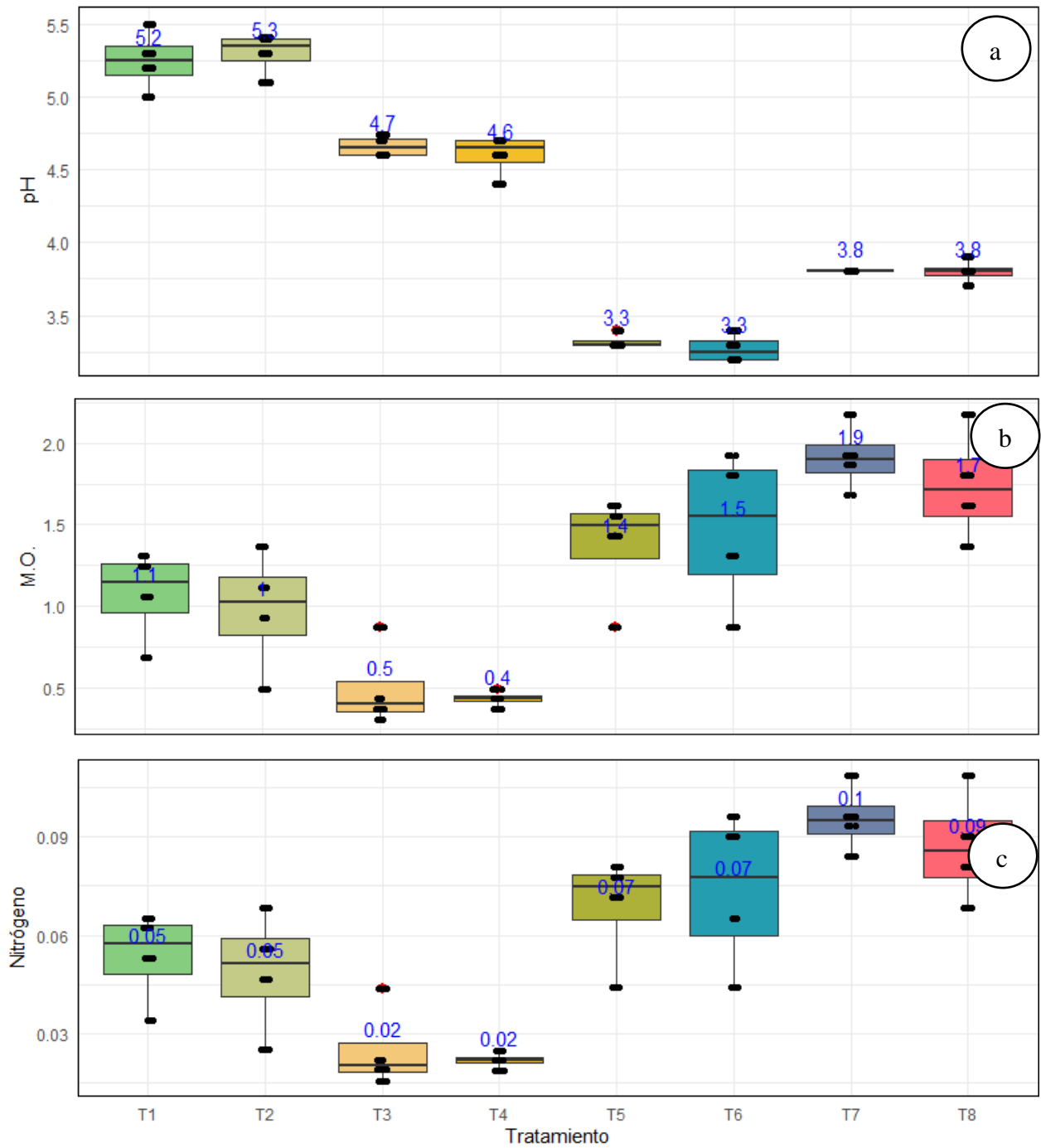
T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

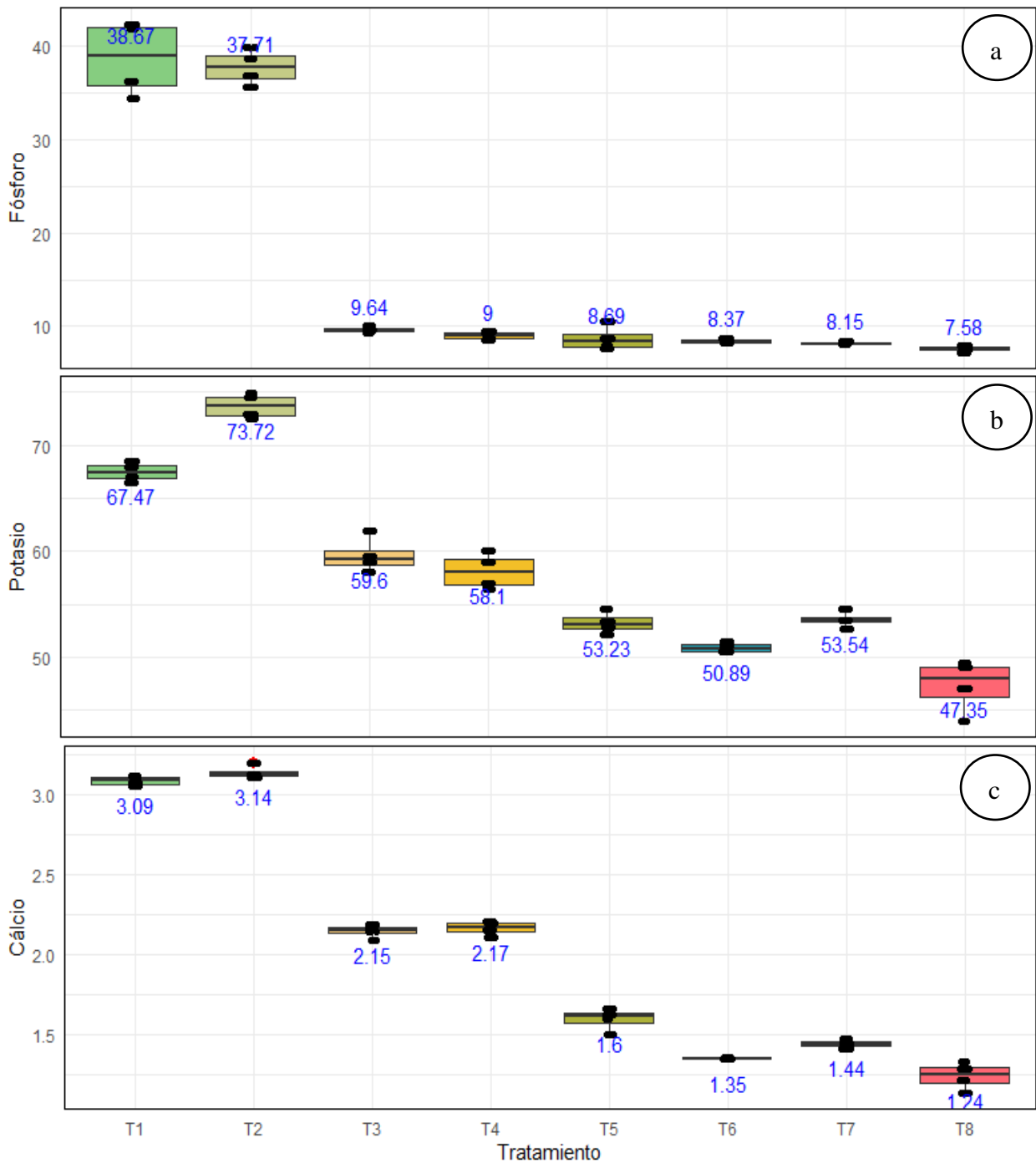
T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

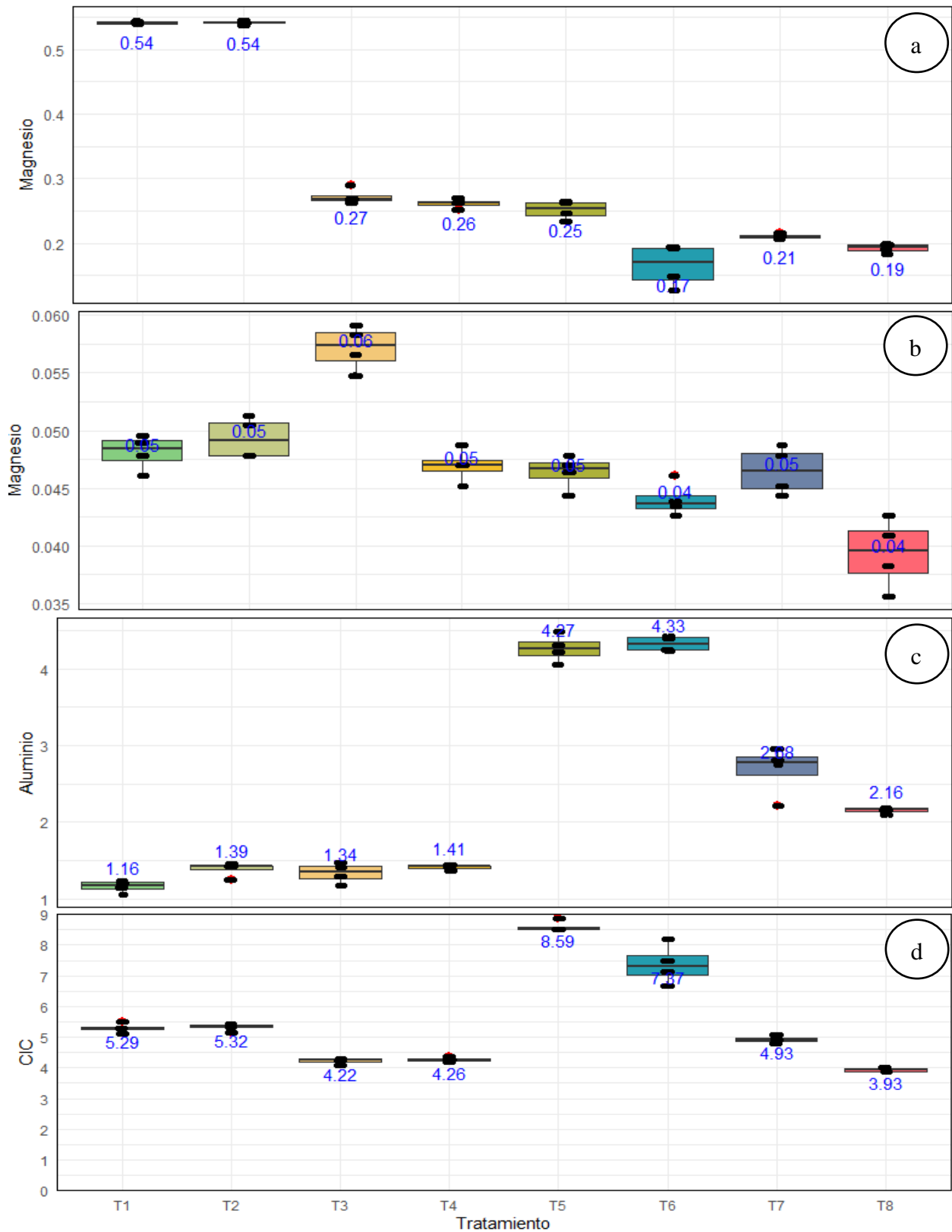
T<sub>8</sub> (Suelo cocal)



**Figura 31.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. pH, b. Materia orgánica (M.O.) y c. Nitrógeno



**Figura 32.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. Fósforo, b. Potasio y c. Calcio



**Figura 33.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir de los análisis de suelo final: a. Magnesio, b. Sodio, c. Aluminio y Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

#### 4.1.2. Análisis microbiológico de los suelos

##### a. Prueba de normalidad

Cabe destacar que, para este análisis, se optó por utilizar gráficos Q-Q (Quantile-Quantile) en lugar de pruebas convencionales de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk. Esto se debe a que, en muestras grandes, dichas pruebas tienden a detectar desviaciones mínimas de la normalidad que carecen de relevancia práctica, lo que con frecuencia conduce al rechazo de la hipótesis de normalidad. Además, pruebas como Shapiro-Wilk fueron originalmente diseñadas para tamaños muestrales pequeños, generalmente no superiores a 50–100 observaciones. Por el contrario, los gráficos Q-Q permiten una evaluación visual más robusta de la distribución de los datos, facilitando la detección de asimetrías, colas pesadas, valores atípicos o curvaturas (Kozak & Piepho, 2018). Dado que el tamaño muestral en este experimento fue de 256 observaciones, se consideró más apropiado utilizar gráficos Q-Q para evaluar la normalidad de los residuos, obteniendo:

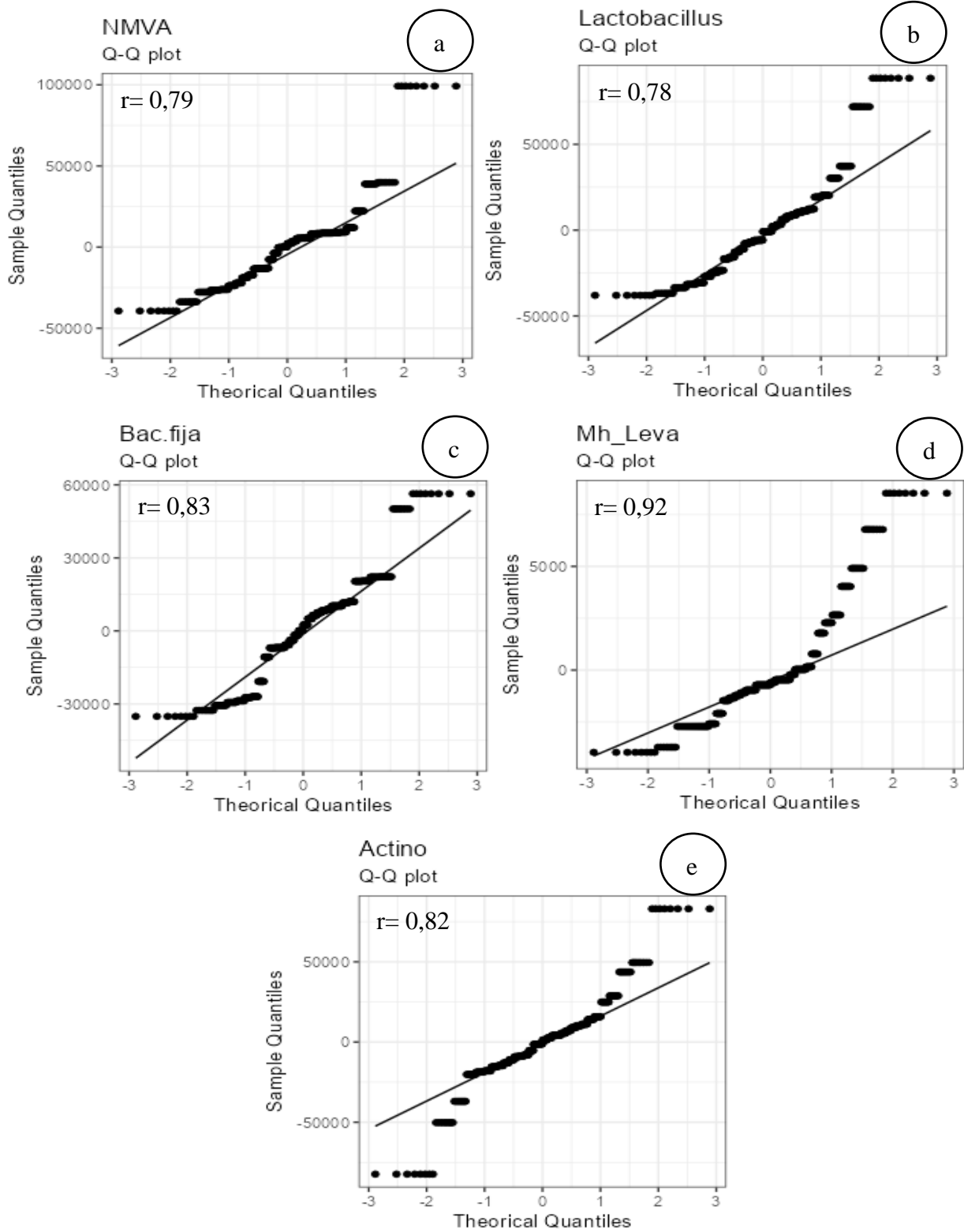
NMVA: Los puntos se desvían notablemente en ambos extremos, alejándose de la línea recta, aparentando una posible no normalidad, sin embargo, se contrarresta con los valores obtenidos a partir del valor de  $r$  (0,79) (Figura 34a).

Lactobacillus: Presenta ligera curvatura, especialmente en los extremos, lo cual indica una distribución moderadamente asimétrica con valores de  $r$  (0,78) (Figura 34b).

Bacterias fijadoras: El centro se alinea razonablemente, los extremos muestran curvatura en S, indicando asimetría con el supuesto de normalidad y valores  $r$  (0,83) (Figura 34c).

Mohos y levaduras: El centro se alinea razonablemente, los extremos muestran curvatura en S, indicando asimetría con el supuesto de normalidad y valores  $r$  (0,92) (Figura 34d).

Actinomicetos: El centro se alinea razonablemente, los extremos muestran curvatura en S, indicando asimetría con el supuesto de normalidad y valores  $r$  (0,82) (Figura 34e).



**Figura 34.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot de los microorganismos del suelo: a. NNVA, b. Lactobacillus, c. Bacterias Fijadoras de N, d. Mohos – Levaduras y e. Actinomycetos

### b. Prueba de homogeneidad de varianza

Se desarrolló esta prueba para analizar el comportamiento de la varianza entre los tratamientos de estudio, para lo cual La prueba de Levene evidenció una diferencia significativa en las varianzas entre los grupos ( $p = <0.001$ ), lo cual indica que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido por el ANOVA tradicional. Por esta razón, se optó por aplicar el ANOVA de análisis de submuestreo, que es más específico frente a la desigualdad de varianzas (Tabla 12).

**Tabla 12.** Prueba de homogeneidad de varianzas de análisis microbiológico de suelo realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Variable evaluada	Grupo comparado	Estadístico de Levene	Grados de libertad (gl1, gl2)	Valor p	Conclusión
NMVA	Tratamientos	39.57	-7,248	< 0,001	NHV
Lactobacillus	Tratamientos	70.33	-7,248	< 0,001	NHV
Bacterias fijadoras	Tratamientos	46.92	-7,248	< 0,001	NHV
Mohos y levaduras	Tratamientos	22.49	-7,248	< 0,001	NHV
Actinomycetos	Tratamientos	180.19	-7,248	< 0,001	NHV

NHV: No existe homogeneidad de varianzas

### c. Análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ )

Según el análisis realizado y en conformidad con el ANVA (Tabla 13) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los bloques en todos los parámetros evaluados, según Calzada (1982), los resultados obtenidos estuvieron influenciados por los bloques, es decir que el área del terreno utilizado no mostraba uniformidad, lo que resultó en unidades experimentales de naturaleza heterogénea. En consecuencia, se determinó que era apropiado emplear el DBCA para este parámetro, siguiendo la recomendación de Tejedor (2003) quien señala que del DBCA es adecuado cuando las unidades experimentales exhiben heterogeneidad.

En relación a los tratamientos se encontró diferencias estadísticas significativas en el número de colonias de Microorganismos aeróbicos viables, Lactobacillus, Bacterias Fijadoras, Mohos y Levaduras y Actinomycetos ufc/g suelo (Tabla 13); esto indica, según la interpretación de Calzada (1982) que los tipos de suelo y microorganismos aplicados en los diferentes tratamientos ejercieron influencia en la cantidad de colonias.

El coeficiente de variabilidad (CV) (Tabla 13) para el número de colonias en NMVA es de 10,99 %, para Lactobacillus es del 12,17 %, para las Bacterias fijadoras de N es del 10,08 %, para Mohos y Levaduras es del 8,71 % y para Actinomycetos es del 9,48 %. De acuerdo con Calzada (1982), el  $CV < 30\%$  indica que hay una notable homogeneidad en los niveles NMVA, Lactobacillus, Bacterias fijadoras de N, Mohos y Levaduras y Actinomycetos, es decir, hubo semejanza en las repeticiones de cada tratamiento.

**Tabla 13.** Cuadrado Medio del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha = 0,05$ ) del número de colonias de Número de microorganismos aeróbicos, Lactobacillus, Bacterias Fijadoras de N, Mohos, Levaduras y Actinomycetos (ufc/g suelo) de los distintos tipos de suelos usados en las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	NMVA ufc/g suelo		Lactobacillus ufc/g		Bacterias Fijadoras de N ufc/g suelo		Mohos y Levaduras ufc/g suelo		Actinomycetos ufc/g suelo	
		Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio.	p valor	Promedio.	p valor	Promedio	p valor
Bloque	3	2 910 326 S	0,0001	2 174 856 S	0,0051	4 110 961 S	0,0001	15 427 S	0,01	96 695 S	0,01
Tratamiento	7	2 624 881 S	0,0001	3 619 392 S	0,0001	2 854 820 S	0,0001	19 188 911 S	0,01	138 924 S	0,01
Error Muestral	56	0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	
Error experimental	189	30 025		1 039 230 485		25 547		102 69516		3 3316,662	
Total	255										
CV (%)		10,99		12,17		10,08		8,71		9,48	
R <sup>2</sup>		0,55		0,58		0,69		0,57		0,66	

S : significativo  
 NS : no significativo  
 GL : Grados de libertad  
 NMVA : Numeracion de microorganismos aeróbicos viables  
 Ufc : Unidad formadora de colonias  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza  
 R<sup>2</sup> : Coeficiente de determinacion

#### d. Prueba de DGC. ( $\alpha = 0,05$ )

Al realizar la prueba de prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) con un nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 14), se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos en lo que respecta al parámetro del recuento de colonias en NMVA, Lactobacillus, Bac. fijadoras de N, Mohos y Levaduras y Actinomycetos. Cabe destacar que el tiempo desde la aplicación hasta esta evaluación, puede que este influyendo en el tiempo de colonización de algunos microorganismos y por lo tanto en el número de colonias.

De manera general todos los parámetros relacionados al número de colonias se pueden verificar que están por debajo de lo estipulado por Torsvik et al. (1990) en todos los tratamientos evaluados, esto puede ser debido a diversos factores, uno de ellos es la cantidad de M.O (Tabla 17) pudo haber sido un factor a tomar en cuenta al momento de la incorporación del material microbiológico, ya que se reconoce que en suelos con bajos niveles de M.O no prosperan de la misma manera que lo harían en suelos con alto contenido de materia orgánica (Cisneros et al., 2017). Aunado a esto, otro de los factores sería los valores de pH (Tabla 14) están por debajo (entre 3,28 a 5,30) de los rangos óptimos referente a la actividad de los microorganismos. Rodríguez et al. (2013) señalan que el pH óptimo para la sobrevivencia de los microorganismos se encuentra entre 5,5 hasta 8,5.

Con respecto a la cuantificación de microorganismos aeróbicos viables (NMVA) (Tabla 14), la cantidad encontrada es moderada, situándose por debajo del rango ideal, como señalan Torsvik et al. (1990), quienes indican que en un gramo de suelo es posible encontrar de  $10^6$ - $10^8$  bacterias, sin embargo, numéricamente el T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D) con 59 500 presentó un mayor número de colonias en comparación con los demás tratamientos, este resultado se respaldan en Rosabal et al. (2021) quienes señalan que los suelos de playa tienen un potencial para las colonias de microorganismos por la rápida descomposición de las condiciones físico químicas que se le atribuye, siendo los géneros más comunes; *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Streptomyces*. Asimismo, de acuerdo con Patiño y Sanclemente (2014), quienes mencionan, aunque los microorganismos aeróbicos pueden estar presente en todo tipo de suelo, sin embargo mantienen afinidad a los de tipo húmedo.

La cantidad de colonias de *Lactobacillus* encontradas (Tabla 14) se considera moderada, ya que está por debajo del rango de  $10^6$ - $10^8$  reportado por Torsvik et al. (1990). El T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D) con 62 750 presentó un mayor número de colonias en comparación a los demás tratamientos, esto se corrobora con la investigación de Montor et al. (2014) quienes indican que los *Lactobacillus*, siendo heterótrofos, tienden a encontrarse en suelos de mayor humedad, pues su actividad se puede mantener en 72 % de manera activa, con una capacidad conservativa hasta del 88 y 92 %, respectivamente. Además, según Malagón (2023) los microorganismos de tipo *Bacillus* poseen afinidad particularmente en los suelos con una alta disponibilidad de oxígeno, esta afirmación se puede verificar en el anexo 36 en donde la clase

textural del T<sub>3</sub> es un franco arenoso, debido a esta condición, estos suelos, tienen una mayor capacidad de espacio entre sus partículas granulométricas, pues existe una mayor aireación entre sus contactos.

En lo que respecta al recuento de colonias de Bacterias fijadoras de N (Tabla 14) se observa un nivel moderado, situado por debajo de  $10^6$ - $10^8$ , como fue reportado por Torsvik et al. (1990). Entre los diferentes tratamientos analizados el T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D) con  $5,475 \times 10^4$  presentó mayor número de colonias en comparación a los demás tratamientos. El pH podría ser un factor para que la actividad de estos microorganismos no sea el adecuado, además Santillana et al. (2005) señalan que el nitrógeno tiene su proceso de fijación con valores de pH superiores a 5.0, otro de los factores pudo haber sido el tiempo de evaluación, un tiempo más prolongado hubiera permitido determinar la restitución y la bioactivación microbiana del suelo.

En relación al número de colonias de Mohos y Levaduras (Tabla 14), el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con 6 000 tuvo un mayor número de colonias en comparación a los demás tratamientos, esto se debe a que los suelos agrícolas proporcionan condiciones adecuadas para la supervivencia de los mohos y levaduras, resultado que es corroborado por Quintana et al. (2012), quienes indican que los mohos se ven involucrados con la constante dinámica de diferentes microorganismos en el ambiente, quiere decir que un suelo agrícola desempeña un ambiente de muchos restos de cultivos, compost y otros, que apoyan al desarrollo de estos. Además, Pepper y Brooks (2021) mencionan que un factor de proliferación de mohos y levaduras es mantener un ambiente de humedad natural, el cual sucede en suelos de naturaleza agrícola a agroforestales.

Con respecto al número de colonias de Actinomycetos (Tabla 14), el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con  $9,02 \times 10^4$  tuvo un mayor número de colonias en comparación a los demás tratamientos, sin embargo para Torsvik et al. (1990), el contenido se encuentra por debajo del óptimo que manifiesta el autor, esto podría deberse al contenido del pH, ya que estos microorganismos son poco tolerantes a la acidez, razón por la cual su óptimo crecimiento se da en pH neutro, aunque pueden encontrarse en rangos de 5,0 a 9,0 (El-Tarabily, 2008).

**Tabla 14.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha=0,05$ ) del número de colonias de Número de Microorganismos aeróbicos viables (NMVA), Lactobacillus, Bacterias Fijadoras de Nitrógeno, Mohos, Levaduras y Actinomycetos (ufc/g suelo) de los distintos tipos de suelos usados en las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

NMVA ufc/g suelo			Lactobacillus ufc/g suelo			Bacterias de N ufc/g suelo			Mohos y Levaduras ufc/g suelo			Actinomycetos ufc/g suelo		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>3</sub>	59 500	a	T <sub>3</sub>	62 750	a	T <sub>3</sub>	54 750	a	T <sub>1</sub>	6 000	a	T <sub>1</sub>	90 250	a
T <sub>4</sub>	27 500	b	T <sub>8</sub>	38 500	b	T <sub>8</sub>	38 500	b	T <sub>2</sub>	5 250	b	T <sub>2</sub>	53 250	b
T <sub>6</sub>	21 250	c	T <sub>7</sub>	27 000	c	T <sub>7</sub>	30 500	c	T <sub>4</sub>	5 000	c	T <sub>4</sub>	40 750	c
T <sub>5</sub>	21 000	d	T <sub>4</sub>	19 750	d	T <sub>4</sub>	27 750	d	T <sub>7</sub>	4 500	d	T <sub>7</sub>	27 000	d
T <sub>2</sub>	20 500	e	T <sub>5</sub>	11 000	e	T <sub>5</sub>	16 500	e	T <sub>3</sub>	3 750	e	T <sub>3</sub>	25 750	e
T <sub>8</sub>	20 500	e	T <sub>1</sub>	8 750	f	T <sub>1</sub>	14 500	f	T <sub>8</sub>	3 500	f	T <sub>8</sub>	23 000	f
T <sub>1</sub>	17 000	f	T <sub>2</sub>	5 750	g	T <sub>2</sub>	9 250	g	T <sub>6</sub>	3 250	g	T <sub>6</sub>	19 000	g
T <sub>7</sub>	11 750	g	T <sub>6</sub>	3 750	h	T <sub>6</sub>	9 250	g	T <sub>5</sub>	3 000	h	T <sub>5</sub>	18 250	h

Promedios seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas

NMVA: Numeración de microorganismos aeróbicos viables

Ufc: Unidad formadora de colonias

Trat: Tratamiento

Sig: Significativo

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

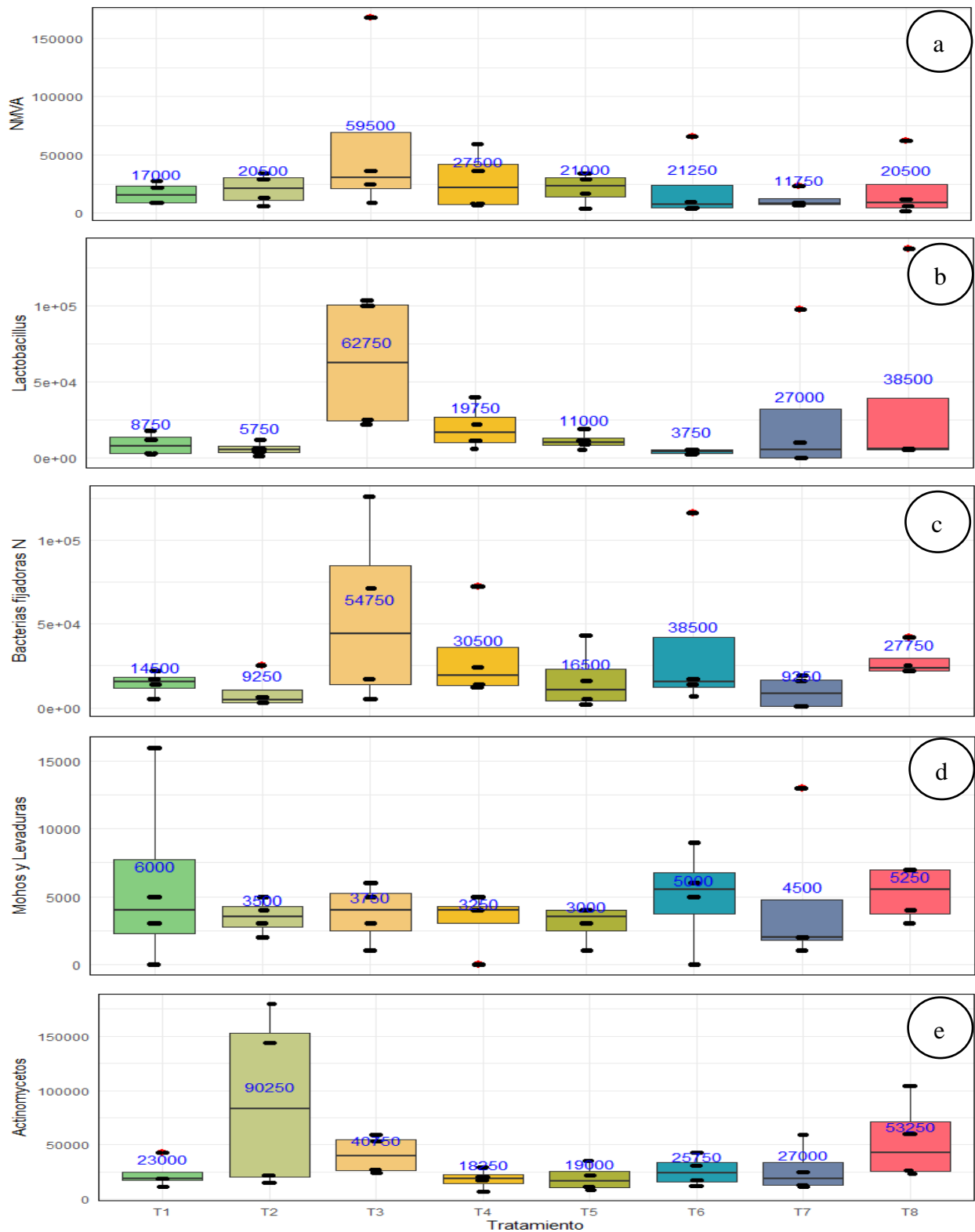
T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>8</sub> (Suelo cocal)



**Figura 35.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis microbiológico de los suelos: a. NMVA, b. Lactobacillus, c. Bacterias fijadoras de N, d. Mohos y levaduras y e. Actinomycetos

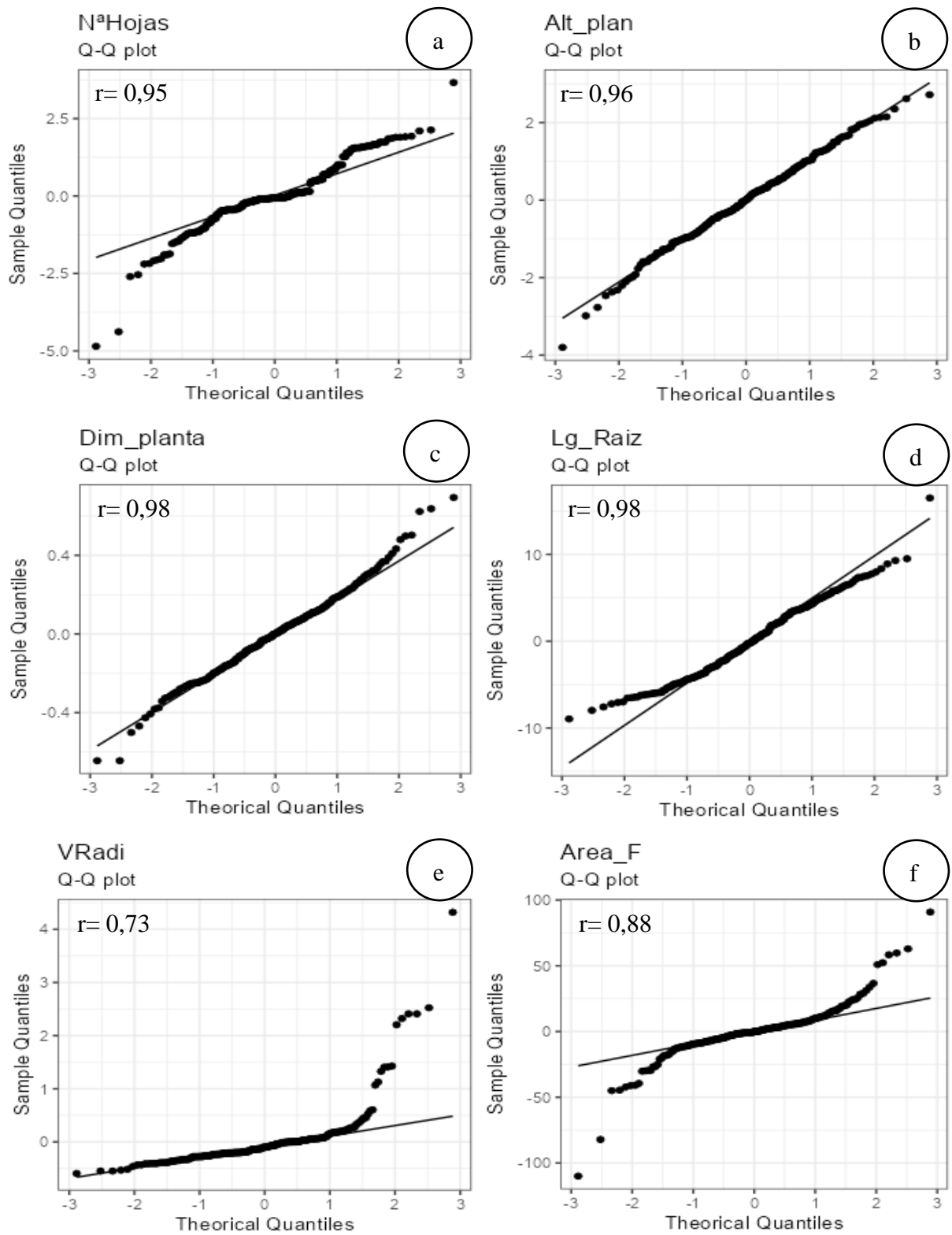
## 4.2. Características biométricas de los plantones

### 5.2.1. Número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), longitud de raíz (cm), volumen de raíz (cm<sup>3</sup>), área foliar (cm<sup>2</sup>), peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de las hojas (PFH) y peso seco de las hojas (PSH)

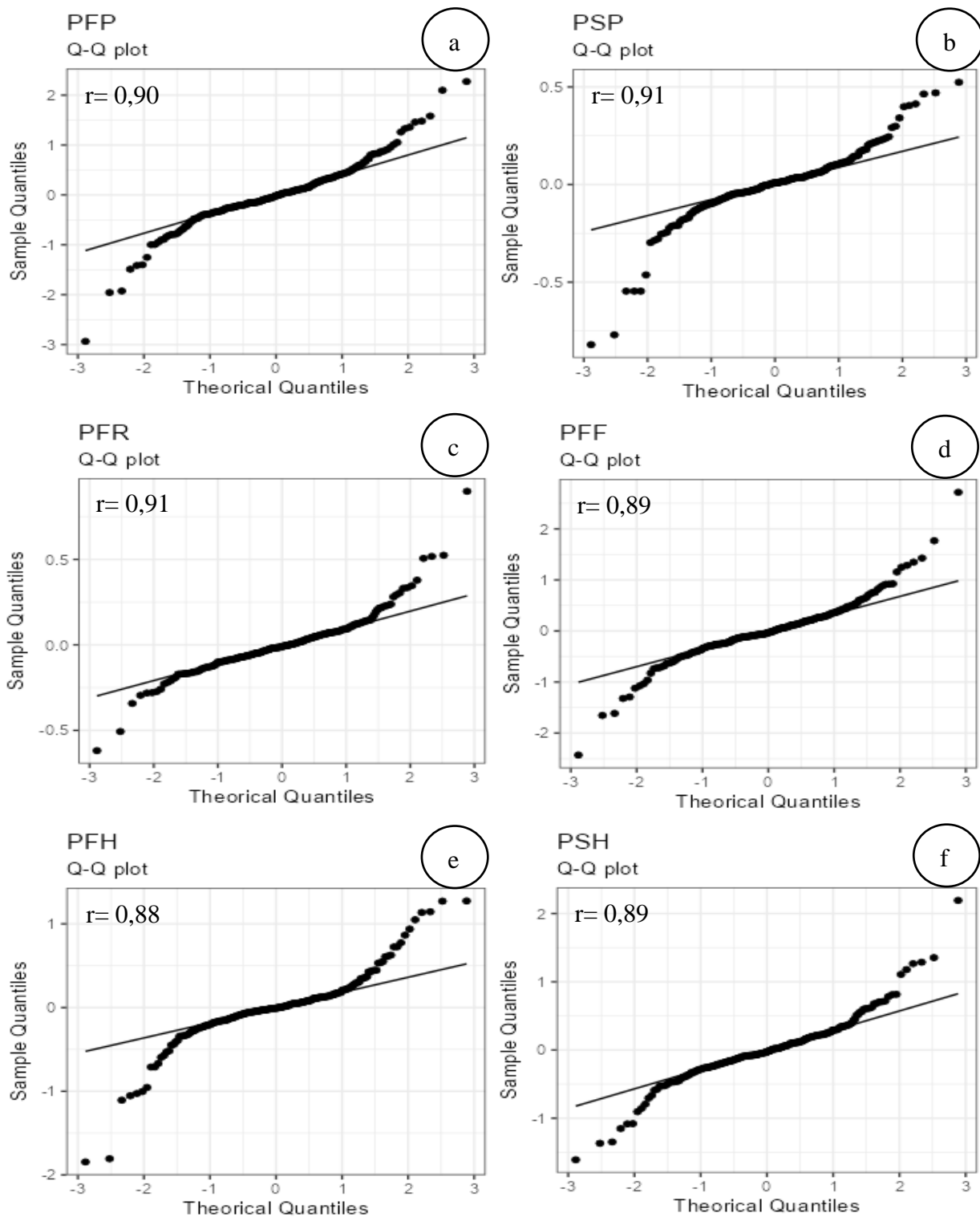
#### a. Prueba de normalidad

Cabe destacar que, para este análisis, se optó por utilizar gráficos Q-Q (Quantile-Quantile) en lugar de pruebas convencionales de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk. Esto se debe a que, en muestras grandes, dichas pruebas tienden a detectar desviaciones mínimas de la normalidad que carecen de relevancia práctica, lo que con frecuencia conduce al rechazo de la hipótesis de normalidad. Además, pruebas como Shapiro-Wilk fueron originalmente diseñadas para tamaños muestrales pequeños, generalmente no superiores a 50–100 observaciones. Por el contrario, los gráficos Q-Q permiten una evaluación visual más robusta de la distribución de los datos, facilitando la detección de asimetrías, colas pesadas, valores atípicos o curvaturas (Kozak & Piepho, 2018). Dado que el tamaño muestral en este experimento fue de 256 observaciones, se consideró más apropiado utilizar gráficos Q-Q para evaluar la normalidad de los residuos.

Los indicadores biométricos evaluados en las plantas mostraron un comportamiento normal en todas las variables analizadas, lo cual se encuentra respaldado por los altos valores de correlación ( $r$ ) obtenidos en cada caso. Así, el número de hojas presentó un valor de  $r = 0,95$  (Figura 36a), la altura de la planta y su diámetro registraron valores de  $r = 0,98$  (Figuras 36b y 36c, respectivamente), y la longitud de la raíz también mostró una correlación de  $r = 0,98$  (Figura 36d). De manera similar, el volumen radicular ( $r = 0,73$ ), el área foliar ( $r = 0,88$ ), el peso fresco de la planta ( $r = 0,90$ ), y el peso seco de la planta ( $r = 0,91$ ), evidencian un comportamiento coherente y estable (Figuras 36e y 36f). Por su parte, el peso fresco de la raíz ( $r = 0,91$ ), del follaje ( $r = 0,89$ ), de la hoja ( $r = 0,88$ ) y el peso seco de la hoja ( $r = 0,89$ ), reflejan también un patrón normal de distribución (Figuras 36a–f), lo que indica una adecuada homogeneidad de los datos obtenidos para su análisis estadístico.



**Figura 36.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot de datos biométricos: a. N° hojas, b. Altura de la planta, c. Diámetro de la planta, d. Longitud de raíz, e. Volumen radicular y f. Área foliar



**Figura 37.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot de datos biométricos: a. Peso fresco de la planta (PFP), b. Peso seco de la planta (PSP), c. Peso fresco de la raíz (PFR), d. Peso fresco del follaje (PFF), e. Peso fresco de las hojas (PFH) y f. Peso seco de las hojas (PSH) de las plantas de café

### b. Prueba de homogeneidad de varianza

Se desarrolló esta prueba para analizar el comportamiento de la varianza entre los tratamientos de estudio, para lo cual La prueba de Levene evidenció una diferencia significativa en las varianzas entre los grupos ( $p = <0.001$ ), lo cual indica que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido por el ANOVA tradicional. Por esta razón, se optó por aplicar el ANOVA de análisis de submuestreo, que es más específico frente a la desigualdad de varianzas (Tabla 15)

**Tabla 15.** Prueba de homogeneidad de varianzas de análisis biométricos de los plantones de café realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Variable evaluada	Grupo comparado	Estadístico de Levene	Grados de libertad (gl1 / gl2)	Valor p	Conclusión
Número de hojas	Tratamientos	3.80	-7 / 248	0.0006	NHV
Altura de la planta	Tratamientos	3.00	-7 / 248	0.0048	NHV
Diámetro de la planta	Tratamientos	3.89	-7 / 248	0.0005	NHV
Longitud de la raíz	Tratamientos	2.83	-7 / 248	0.0074	NHV
Volumen radicular	Tratamientos	2.77	-7 / 248	0.0087	NHV
Area foliar	Tratamientos	17.46	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso fresco de la planta	Tratamientos	16.22	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso seco de la planta	Tratamientos	9.54	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso fresco de la raíz	Tratamientos	9.85	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso fresco del follaje	Tratamientos	17.62	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso fresco de la hoja	Tratamientos	23.91	-7 / 248	< 0,001	NHV
Peso seco de la hoja	Tratamientos	21.40	-7 / 248	< 0,001	NHV

NHV: No existe homogeneidad de varianzas

### c. Análisis de varianza ( $\alpha= 0,05$ )

Para todas las evaluaciones de las características agronómicas (Anexo: Tabla 30-32) se realizó el análisis de varianza (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) con el objetivo de observar si existe diferencia significativa entre cada una de ellas; a fin de obtener una mejor interpretación se presenta los resultados de cada uno de los parámetros evaluados.

Para las características agronómicas, de acuerdo con el ANVA (Tabla 16 y 17) en la última evaluación se encontró diferencias estadísticas significativas entre bloques en la mayoría de estos parámetros, esto quiere decir según Calzada (1982), los resultados obtenidos estuvieron influenciados por los bloques, a pesar de haber homogenizado el área experimental, asimismo, cabe detallar que en este trabajo experimental tuvo una precisión en la dosificación al usar una jeringa volumétrica de 20 ml como instrumento de medida.

En los bloques, se observó diferencias estadísticamente significativas en diversos parámetros evaluados en las plantas de café, como el número de hojas, altura de la planta (cm) y diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ), área foliar ( $\text{cm}^2$ ), peso fresco y seco de la planta (PFP Y PSP) (g), peso fresco de la raíz (PFR) (g), peso fresco del follaje (PFF) (g) y peso fresco de las hojas (PFH) (g), a excepción del peso seco de las hojas (PSH) (g) (Tabla 16 y 17); esto quiere decir que de acuerdo con la interpretación de Calzada (1982) los tipos de suelo y microorganismos aplicados en los diferentes tratamientos en el cultivo de café ejercieron influencia sobre estos parámetros.

Los datos analizados según los tratamientos en estudio (Tabla 16 y 17), revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba de p-valor del ANVA en relación con el número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular ( $\text{m}^3$ ) y área foliar ( $\text{cm}^2$ ), (Peso fresco y seco de la planta (PFP y PSP), Peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de la hoja (PFH) Y peso seco de la hoja (PSH) (Tabla 19 y 20). Estos parámetros pudieron haber diferido en todos los tratamientos por los diferentes tamaños del sistema radicular, siendo este uno de los primeros influyentes en la fisiología general de la planta de café (Blanco et al., 2003); además, se demuestra que si tenemos un sistema radicular bien desarrollado se obtendrán valores óptimos en cuanto a la altura y diámetro de la planta, para lo cual el sustrato debe estar enriquecido por diferentes condiciones texturales, microbiológicas y minerales (Calvo et al., 2008).

El coeficiente de variabilidad (CV) para el número de hojas fue el 18,46 %, altura de la planta 12,66 %, diámetro de la planta 8,42 %, longitud de raíz 18,01 %, incremento de volumen radicular 18,03 %, área foliar 19,70 %, peso fresco y seco de la planta 14,07 y 12,83 %, peso fresco de la raíz 19,28 %, peso fresco del follaje 14,84 %, peso fresco de las hojas 21,81 % y peso seco de las hojas 20,4 %. Según Calzada (1982), un  $\text{CV} < 30\%$  indica que hay una notable homogeneidad en los niveles de número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular ( $\text{m}^3$ ), área foliar ( $\text{cm}^2$ ), peso fresco y seco de la planta, peso fresco de la raíz, peso fresco del follaje, peso fresco de las hojas, peso seco de las hojas, es decir, hubo semejanza en las repeticiones de cada tratamiento.

**Tabla 16.** Cuadrados Medios del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) de la última evaluación en el número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular (cm<sup>3</sup>) y área foliar (cm<sup>2</sup>) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	N° hojas		Altura de la planta		Diámetro de la planta		Longitud de raíz		Incremento de volumen radicular		Área foliar	
		Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor
Bloque	3	3,40	S 0,0213	12,07	S 0,0001	0,72	S 0,0001	1,56	S 0,0099	0,49	S 0,0002	9,45	S 0,0003
Tratamiento	7	94,06	S 0,0001	160,29	S 0,0001	2,09	S 0,0001	3,03	S 0,0001	0,76	S 0,0001	257,22	S 0,0001
Error muestral	56	1,23		1,47		0,04		0,26		0,07		1,48	
Error experimental	189	1,03		1,08		0,04		0,4		0,07		1,45	
Total	255												
CV (%)		18,46		12,66		8,42		18,01		18,03		19,70	
R <sup>2</sup>		0,79		0,86		0,70		0,75		0,65		0,87	

S: Significativo

NS: NO significativo

**Tabla 17.** Cuadrados Medios del Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de las hojas (PFH) y peso seco de las hojas (PSH) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	PFP		PSP		PFR		PFF		PFH		PSH	
		Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor
Bloque	3	0,44	S 0,0001	0,06	S 0,0004	0,31	S 0,0002	0,21	S 0,0002	0,19	S 0,005	0,24	NS 0,1443
Tratamiento	7	6,30	S 0,0001	1,14	S 0,0001	0,63	S 0,0001	5,76	S 0,0001	6,40	S 0,001	4,95	S 0,0001
Error muestral	56	0,03		0,01		0,01		0,03		0,02		0,004	
Error experimental	189	0,03		0,01		0,01		0,03		0,03		0,03	
Total	255												
CV (%)		14,07		12,83		19,28		14,84		21,81		20,4	
R <sup>2</sup>		0,88		0,83		0,72		0,88		0,89		0,86	

S: Significativo

NS: No significativo

#### d. Prueba de DGC ( $\alpha=0.05$ )

Se eligió esta prueba porque ajusta el nivel de significancia de forma más eficiente, esto se debe a que utiliza el procedimiento de comparación de rango en escalones, lo que permite un mejor equilibrio entre la protección contra el error Tipo I (rechazar hipótesis nula cuando es verdadera) (Bautista et al., 2024). Al realizar la prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 18 y 19) se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en los siguientes parámetros número de hojas, altura de la planta, diámetro de la planta, longitud de raíz, incremento de volumen radicular, área foliar, peso fresco y seco de la planta, peso fresco de la raíz, peso fresco del follaje, peso fresco de las hojas y peso seco de las hojas.

En cuanto al número de hojas, altura de la planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de raíz (cm), incremento de volumen radicular ( $m^3$ ), área foliar ( $cm^2$ ) con 8,16 y 8,13; 11,97 y 11,45 cm; 2,87 y 2,82 cm; 15,87 y 14,6 cm; 0,76 y 0,82  $m^3$ ; 115,65 y 114,62  $cm^2$  respectivamente (Tabla 18) se determinó que el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y el T<sub>2</sub> (suelo agrícola) fueron estadísticamente superior al resto de los tratamientos, con la excepción de la longitud de la raíz (cm)) para el T<sub>2</sub> (suelo agrícola). Estos resultados podrían deberse a que los suelos de naturaleza agrícola, pues de acuerdo a los análisis del suelo existe los menores valores de toxicidad de Al en estos tratamientos (Tabla 18), ya que un factor limitante al desarrollo radicular y por ende al desenvolvimiento de la planta es la presente toxicidad para lo cual podemos indicar que este tratamiento posee los niveles más bajos, quiere decir que al no haber una toxicidad existirá un desarrollo radicular predominante (Tabla 18) encontrando los máximos valores elevados en longitud de raíz e incremento de volumen radicular, por lo cual estos parámetros fueron de vital importancia para que la planta pueda desarrollarse, por eso se observa mayores valores de estos tratamientos para la altura de planta, por lo tanto. al haber un óptimo desenvolvimiento de la planta se pudo evidenciar que el número de hojas, altura de la planta, diámetro de planta y área foliar fueron mayores en estos tratamientos. De manera contraria se observó para los suelos de montaña, ya que estos tuvieron los menores valores de manera general en los parámetros manifestados, debido a que estos tratamientos presentan extremada acidez del suelo y altos contenidos de Al.

Por otro lado la aplicación del *Trichoderma* pudo haber afectado en el crecimiento de raíz como se observa en el T<sub>1</sub>, que tuvo un mayor promedio radicular, respaldado por Rodríguez y Vargas, (2022), quienes señalan que *Trichoderma spp* dentro de sus tantos

mecanismos promueve el mayor desarrollo de las raíces. Jácome et al. (2019) indican que la aplicación de *Trichoderma harzianum* en el sustrato a nivel de vivero mostró un efecto estimulante positivos en la características biométricas de *Switenia macrophylla*, asimismo, Cruz et al. (2021), señalan que el uso de microorganismos en fase de vivero apoya a que las plántulas mejoren su sistema radicular para adaptarse mejor en su fase adulta ya en campo, puesto que este asimilará mejor los nutrientes. Finalmente, Cortés et al. (2015) indican que el uso de un buen sustrato agrícola a nivel de vivero favorece a que la plántula no genere problema por estrés y pueda desarrollar un buen sistema radicular.

En cuanto al peso fresco y seco de la planta (g), peso fresco de la raíz, peso fresco del follaje (g), peso fresco y seco de las hojas (g) (Tabla 19); en el peso fresco de la planta se puede observar que el tratamiento T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y el T<sub>2</sub> (suelo agrícola) fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos, con excepción en el peso seco de las hojas para el T<sub>2</sub>. Numéricamente el T<sub>1</sub> fue superior, seguido por el T<sub>2</sub> con 4,25 y 4,02 g; 1,14 y 1,12 g; 0,68 y 0,61 g; 3,57 y 3,41 g; 2,31 y 2,30 g; 0,59 y 0,55 g, respectivamente. Estos resultados podrían atribuirse a la aplicación de microorganismos mediante Bacthon y Tricho-D, los cuales apoyaron a tener un sistema radicular más vigoroso (Tabla 22) al facilitar la asimilación de nutrientes, lo que resultó en mejoras en los parámetros mencionados. Además, *Trichoderma* contribuyó a la mejora de la calidad del sustrato en el vivero, respaldando estas observaciones con estudios previos de Palma et al. (2022) quienes destacan la capacidad del *Trichoderma* para liberar nutrientes en un determinado tiempo, así mismo, Jácome et al. (2019) mencionan que *Trichoderma* puede promover el crecimiento mediante la producción de hormonas vegetales, facilitando la absorción de nutrientes, mejorando la estructura del suelo y aumentando la resistencia de las plantas al estrés abiótico.

**Tabla 18.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) de la última evaluación en el número de hojas, altura de planta (cm), diámetro de la planta (cm), longitud de la raíz (cm), Incremento de volumen radicular (cm<sup>3</sup>) y área foliar de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Número de hojas			Altura de planta			Diámetro de la planta			Longitud de la raíz			Incremento de volumen radicular			Área foliar		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>1</sub>	8,16	a	T <sub>1</sub>	11,97	a	T <sub>1</sub>	2,87	a	T <sub>1</sub>	15,87	a	T <sub>1</sub>	0,76	a	T <sub>2</sub>	115,65	a
T <sub>2</sub>	8,13	a	T <sub>2</sub>	11,45	a	T <sub>2</sub>	2,82	a	T <sub>2</sub>	14,60	b	T <sub>2</sub>	0,62	a	T <sub>1</sub>	114,62	a
T <sub>3</sub>	5,53	b	T <sub>3</sub>	8,03	b	T <sub>3</sub>	2,59	b	T <sub>4</sub>	13,94	b	T <sub>4</sub>	0,49	b	T <sub>4</sub>	34,99	b
T <sub>4</sub>	5,22	b	T <sub>4</sub>	7,79	b	T <sub>4</sub>	2,53	b	T <sub>7</sub>	13,54	b	T <sub>8</sub>	0,42	b	T <sub>3</sub>	30,24	b
T <sub>8</sub>	4,41	c	T <sub>5</sub>	6,95	c	T <sub>7</sub>	2,32	c	T <sub>3</sub>	12,76	c	T <sub>6</sub>	0,28	b	T <sub>7</sub>	21,23	c
T <sub>7</sub>	4,28	c	T <sub>7</sub>	6,81	c	T <sub>8</sub>	2,29	c	T <sub>8</sub>	11,58	c	T <sub>3</sub>	0,23	b	T <sub>8</sub>	21,18	c
T <sub>6</sub>	4,13	c	T <sub>8</sub>	6,52	c	T <sub>5</sub>	2,26	c	T <sub>6</sub>	10,31	d	T <sub>5</sub>	0,22	b	T <sub>5</sub>	15,17	c
T <sub>5</sub>	4,09	c	T <sub>6</sub>	6,26	c	T <sub>6</sub>	2,22	c	T <sub>5</sub>	9,83	d	T <sub>7</sub>	0,21	b	T <sub>6</sub>	15,05	c

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

Última evaluación: 105 días después del trasplante después de la 1°, 2°, 3°, 4° y 5° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

Trat: Tratamiento

Sig: Significativo

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>8</sub> (Suelo cocal)

**Tabla 19.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha=0,05$ ) al finaliza el experimento del peso fresco de la planta (PFP) (g), peso seco de la planta (PSP) (g), peso fresco de la raíz (PFR) (g), peso fresco del follaje (PFF) (g), peso fresco de las hojas (PFH) (g) y peso seco de las hojas (PSH) (g) de las plantas de café, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

PFP			PSP			PFR			PFF			PFH			PSH		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>1</sub>	4,25	a	T <sub>1</sub>	1,14	a	T <sub>1</sub>	0,68	a	T <sub>1</sub>	3,57	a	T <sub>1</sub>	2,31	a	T <sub>2</sub>	0,59	a
T <sub>2</sub>	4,02	a	T <sub>2</sub>	1,12	a	T <sub>2</sub>	0,61	a	T <sub>2</sub>	3,41	a	T <sub>2</sub>	2,30	a	T <sub>1</sub>	0,55	b
T <sub>4</sub>	1,58	b	T <sub>3</sub>	0,54	b	T <sub>4</sub>	0,31	b	T <sub>4</sub>	1,27	b	T <sub>4</sub>	0,60	b	T <sub>4</sub>	0,28	c
T <sub>3</sub>	1,46	b	T <sub>4</sub>	0,51	b	T <sub>3</sub>	0,30	b	T <sub>3</sub>	1,16	b	T <sub>3</sub>	0,48	b	T <sub>3</sub>	0,15	d
T <sub>7</sub>	1,17	c	T <sub>7</sub>	0,44	c	T <sub>7</sub>	0,28	b	T <sub>8</sub>	0,91	c	T <sub>8</sub>	0,31	c	T <sub>8</sub>	0,11	e
T <sub>8</sub>	1,11	c	T <sub>8</sub>	0,41	c	T <sub>5</sub>	0,26	b	T <sub>7</sub>	0,89	c	T <sub>7</sub>	0,31	c	T <sub>7</sub>	0,10	e
T <sub>5</sub>	1,02	c	T <sub>5</sub>	0,37	c	T <sub>6</sub>	0,21	c	T <sub>5</sub>	0,76	c	T <sub>5</sub>	0,20	c	T <sub>5</sub>	0,08	f
T <sub>6</sub>	0,91	c	T <sub>6</sub>	0,37	c	T <sub>8</sub>	0,20	c	T <sub>6</sub>	0,70	c	T <sub>6</sub>	0,20	c	T <sub>6</sub>	0,07	f

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

Trat: Tratamiento

Sig: Significativo

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>8</sub> (Suelo cocal)

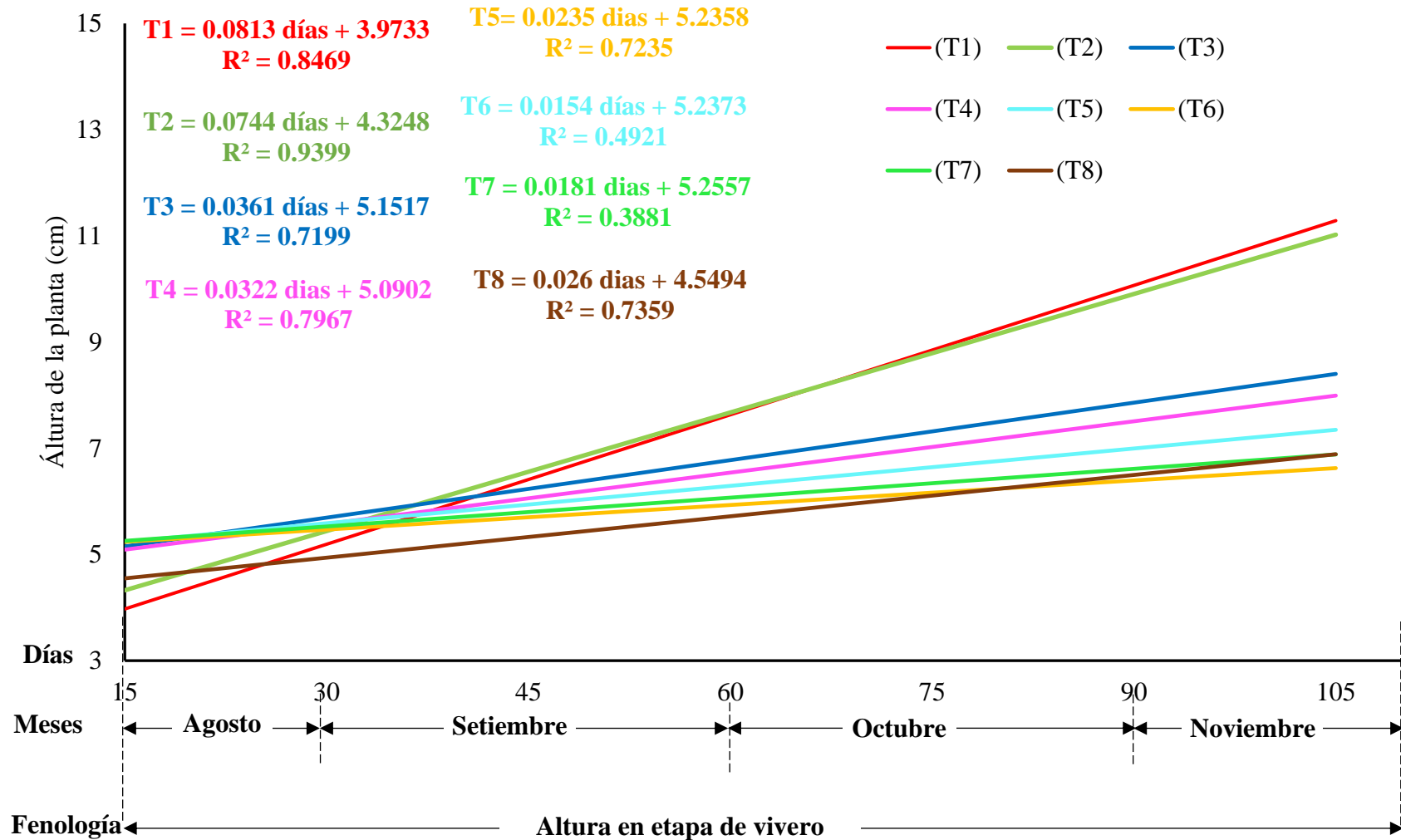
De acuerdo con la prueba de medias del análisis de suelo (Tabla 11), el contenido de fósforo lo obtuvo el T<sub>1</sub>, corroborando así lo mencionado por Tavera et al. (2017), quienes indican que el suelo agrícola con *Trichoderma*, apoya a solubilizar nutrientes inorgánicos en el suelo, como el fósforo, y los convierte en formas más disponibles para las plantas. Un suministro adecuado de nutrientes es esencial para el crecimiento foliar saludable y así puede mejorar la disponibilidad de estos nutrientes, lo que contribuye a un aumento en el área foliar.

En los tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, los valores se mantienen bajos debido a la falta de un sustrato adecuado, lo cual afecta negativamente la capacidad del sistema foliar, teniendo como resultado plantas con una baja vigorosidad, además la presencia constante de precipitación y humedad relativa media a alta durante los meses de evaluación (Tabla 3) reveló problemas fitosanitarios como la presencia de *Mycosphaerella coffeicola* (Figura 20b).

#### **e. Ecuación lineal**

Con los resultados obtenidos de las evaluaciones (Anexo: Tabla 27 y 28), se obtuvo el incremento y la ecuación lineal de primer grado de la altura de la planta (Figura 38), diámetro de tallo (Figura 39) y el número de hojas (Figura 40).

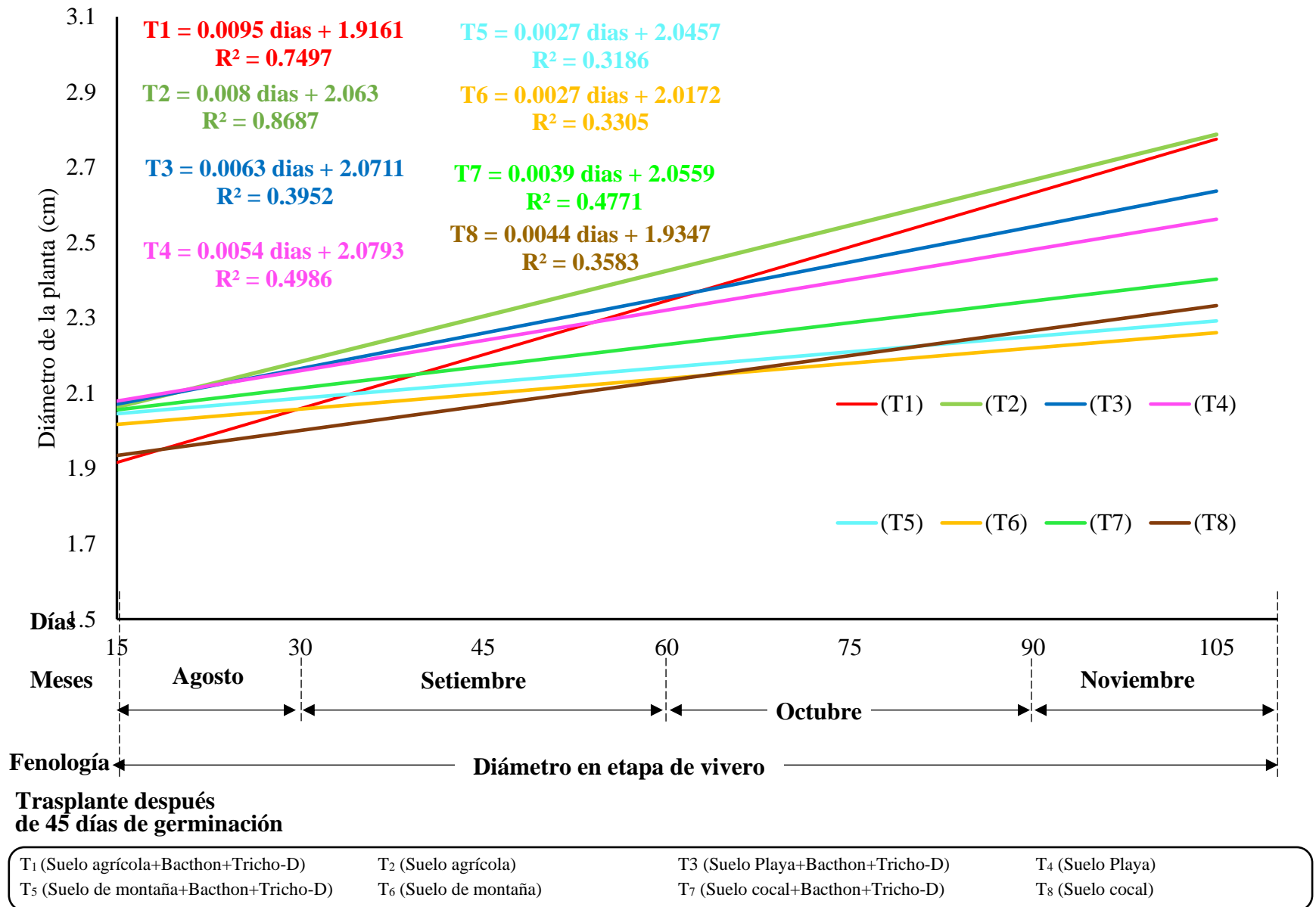
**Figura 38.** Dinámica de altura (cm/día) cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022



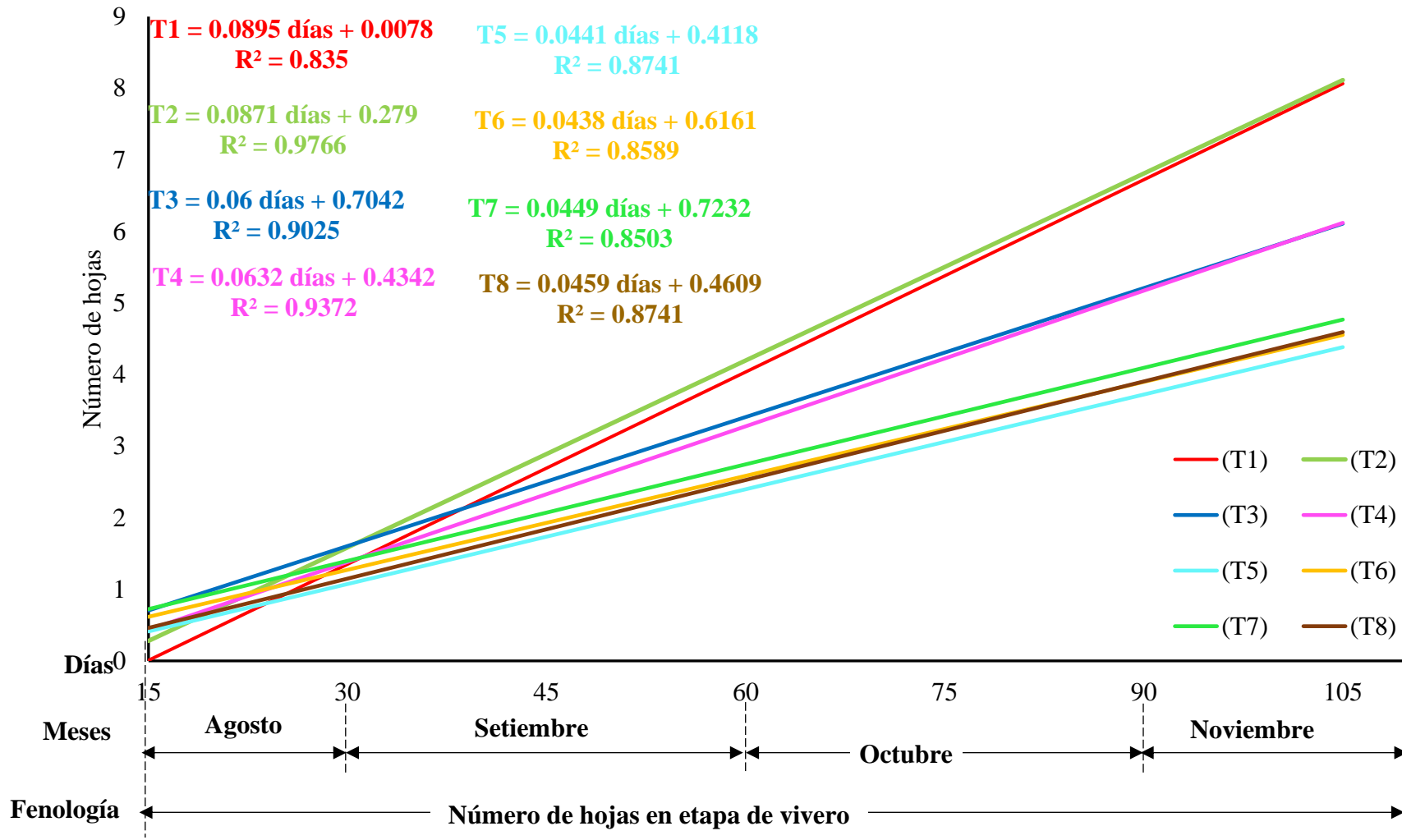
**Trasplante después de 45 días de germinación**

T1 (Suelo agrícola+Bachthon+Tricho-D)	T2 (Suelo agrícola)	T3 (Suelo Playa+Bachthon+Tricho-D)	T4 (Suelo Playa)
T5 (Suelo de montaña+Bachthon+Tricho-D)	T6 (Suelo de montaña)	T7 (Suelo cocal+Bachthon+Tricho-D)	T8 (Suelo cocal)

**Figura 39.** Dinámica de diámetro (cm/día) cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022



**Figura 40.** Dinámica del número de hojas/día cada 15 días en los tratamientos en estudio de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

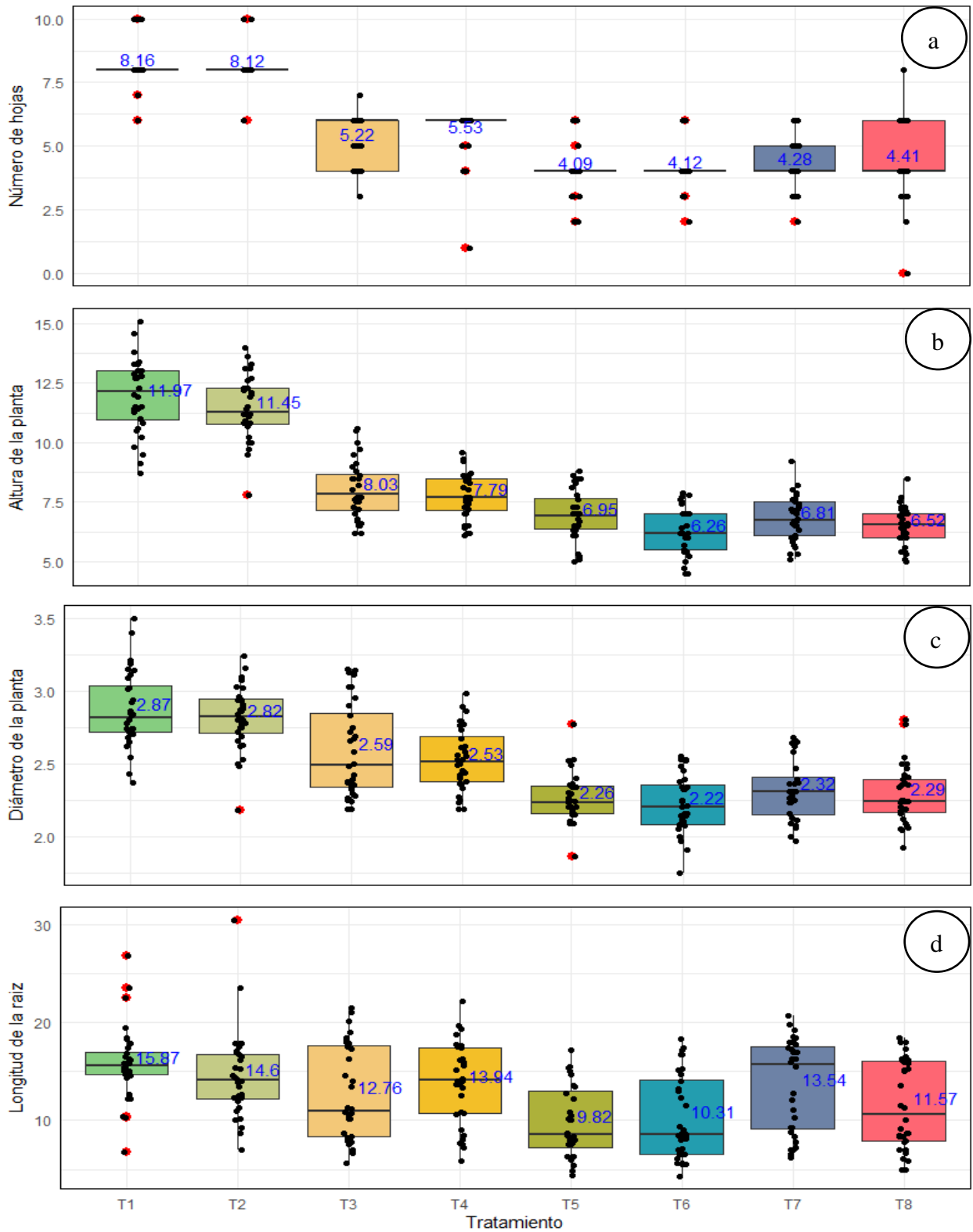


**Trasplante después de 45 días de germinación**

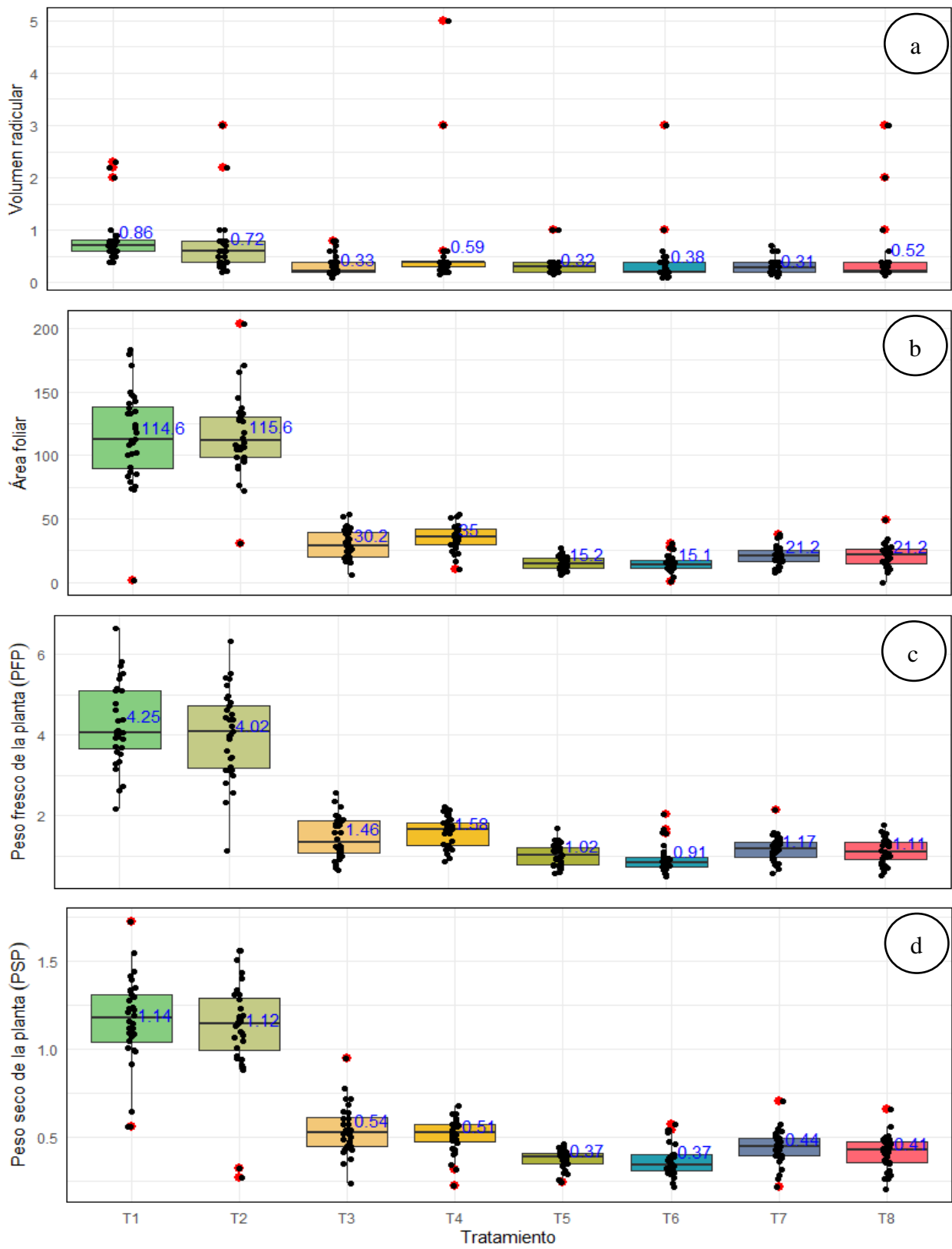
T <sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bachthon+Tricho-D)	T <sub>2</sub> (Suelo agrícola)	T <sub>3</sub> (Suelo Playa+Bachthon+Tricho-D)	T <sub>4</sub> (Suelo Playa)
T <sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bachthon+Tricho-D)	T <sub>6</sub> (Suelo de montaña)	T <sub>7</sub> (Suelo cocal+Bachthon+Tricho-D)	T <sub>8</sub> (Suelo cocal)

Los tratamientos mostraron incrementos significativos en las características agronómicas evaluadas. En cuanto, a la altura de planta, se observó el mayor aumento diario en el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con una tasa de 0,0813 cm/día y el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) con 0,0744 cm/día, con aumentos cada quince días de 1,219 cm para el T<sub>1</sub> y 1,116 cm para el T<sub>2</sub> (Figura 38). En cuanto, al diámetro de la planta, los mayores incrementos diarios se registraron en el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con una tasa de 0,0095 cm/día y T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) con 0,008 cm/día, con aumentos quincenales de 0,143 cm para el T<sub>1</sub> y 0,12 cm para el T<sub>2</sub> (Figura 39). En relación con el número de hojas, el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) también mostraron incrementos diarios significativos, con una tasa de 0,089 cm/día y 0,087 cm/día, respectivamente, y aumentos cada quince días de 1,3425 cm para T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) y 1,3007 cm para T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) (Figura 40).

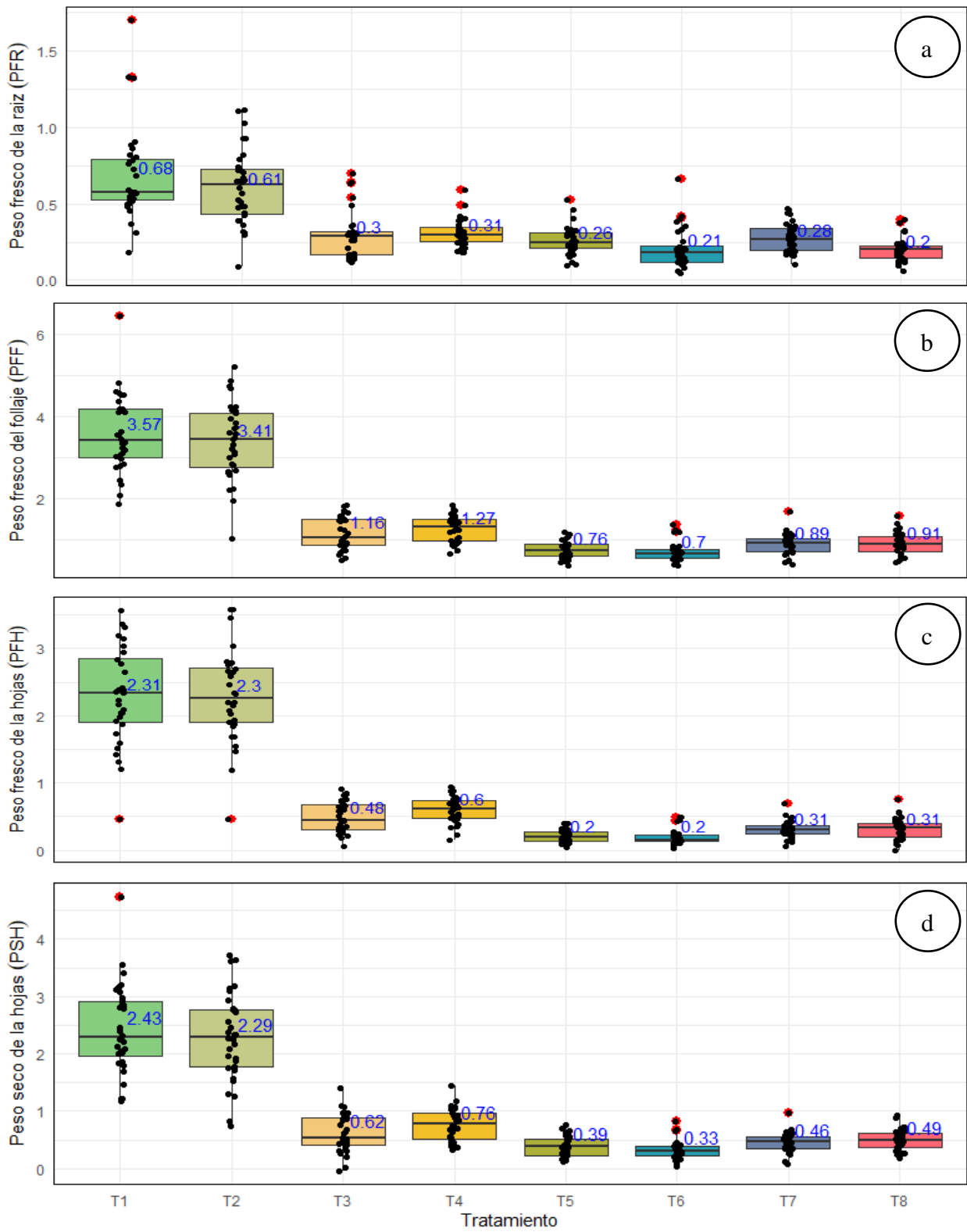
De acuerdo a la línea de progresión de las características biométricas (altura de planta, diámetro de la planta y número de hojas) a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después del trasplante de chapolas a bolsas de vivero en los tratamientos analizados, se ajustan a la ecuación lineal que permite predecir los futuros resultados de cada característica agronómica por planta respecto al número de días después del trasplante, ya que los valores de los coeficientes de determinación “R<sup>2</sup>” o coeficiente de regresión “r” son mayor igual a 0,7, lo cual indican que los datos obtenidos tienen un comportamiento muy aceptable y uniforme, además, los coeficientes de regresión al aproximarse a 1 indican que existe una correlación positiva perfecta entre ambas variables de los tratamientos; en ese sentido, Díaz y Fernández (2000), afirman que el valor de regresión lineal cercana a la unidad nos confirman una curva de comportamiento lineal, mientras que Burbano y Melo (2015) destacan que a mayor sea el valor de R<sup>2</sup>, mejor será el ajuste y más útil resulta la recta de regresión como herramienta de predicción, por su parte, Rodríguez (2005) afirma que el valor de R<sup>2</sup> también miden la proporción de la variabilidad en los datos que explica el modelo de regresión.



**Figura 41.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas de los plantones: a. Número de hojas, b. Altura, c. Diámetro y d. Longitud de la raíz



**Figura 42.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas: a. Volumen radicular, b. Área foliar, c. Peso fresco total y d. Peso seco total



**Figura 43.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos de las características biométricas: a. Peso fresco de la raíz, b. Peso fresco del follaje, c. Peso fresco de la hoja y d. Peso seco de la hoja

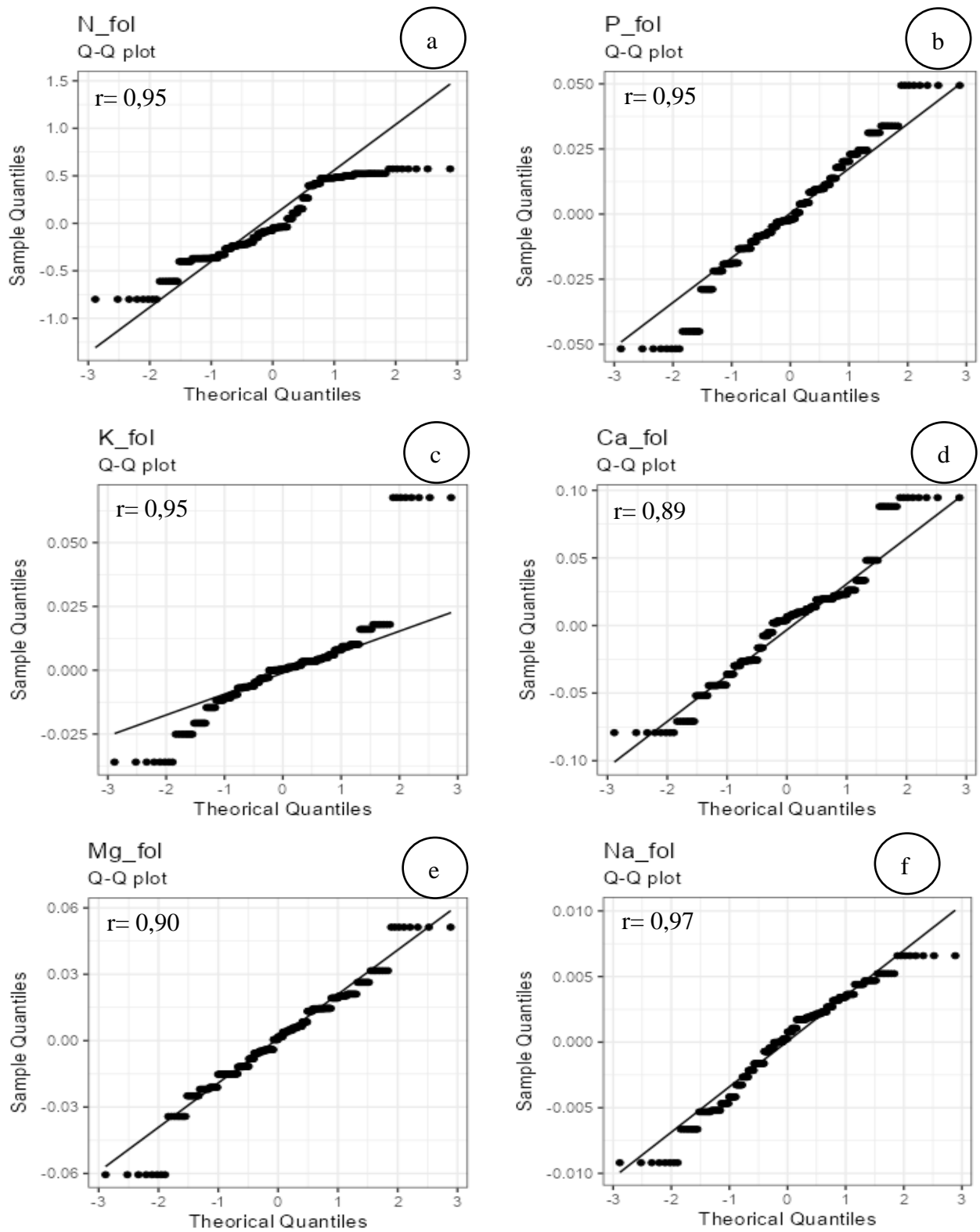
### **4.3. Características fisicoquímicas de los plántones**

#### **4.3.1. Determinación de análisis foliar**

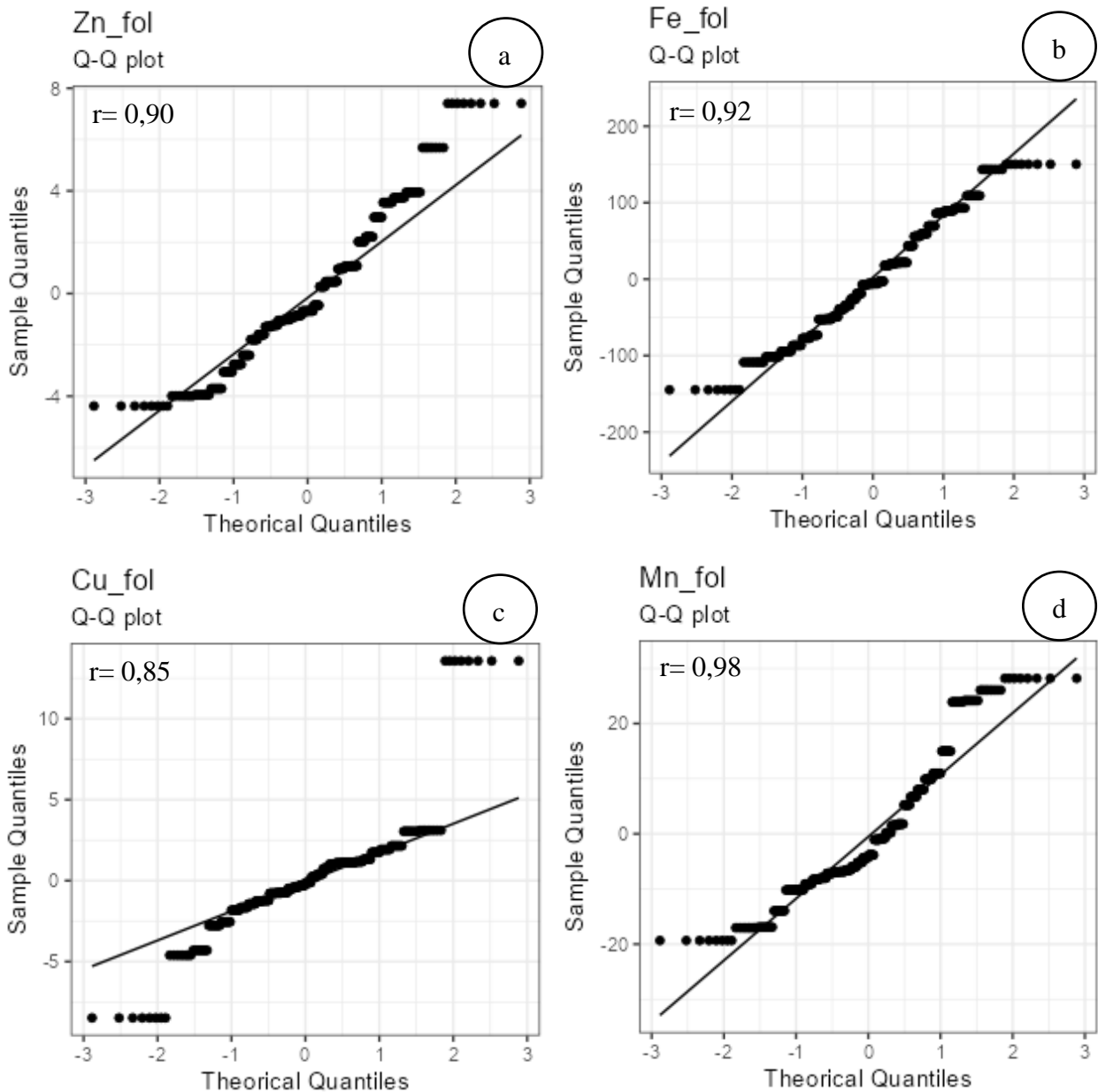
##### **a. Prueba de normalidad**

Cabe destacar que, para este análisis, se optó por utilizar gráficos Q-Q (Quantile-Quantile) en lugar de pruebas convencionales de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk. Esto se debe a que, en muestras grandes, dichas pruebas tienden a detectar desviaciones mínimas de la normalidad que carecen de relevancia práctica, lo que con frecuencia conduce al rechazo de la hipótesis de normalidad. Además, pruebas como Shapiro-Wilk fueron originalmente diseñadas para tamaños muestrales pequeños, generalmente no superiores a 50–100 observaciones. Por el contrario, los gráficos Q-Q permiten una evaluación visual más robusta de la distribución de los datos, facilitando la detección de asimetrías, colas pesadas, valores atípicos o curvaturas (Kozak & Piepho, 2018). Dado que el tamaño muestral en este experimento fue de 256 observaciones, se consideró más apropiado utilizar gráficos Q-Q para evaluar la normalidad de los residuos, obteniendo:

Los niveles foliares de nutrientes evidenciaron un comportamiento fisiológico dentro de los rangos considerados normales. No obstante, esta estabilidad se ve respaldada y a la vez contrastada por los altos coeficientes de correlación observados en cada caso: nitrógeno ( $r = 0,95$ ) (Figura 44a), fósforo ( $r = 0,95$ ) (Figura 44b), potasio ( $r = 0,95$ ) (Figura 44c), calcio ( $r = 0,89$ ) (Figura 44d) y magnesio ( $r = 0,90$ ) (Figura 44e). De igual modo, el sodio ( $r = 0,97$ ) (Figura 44f), zinc ( $r = 0,90$ ) (Figura 45a), hierro ( $r = 0,92$ ) (Figura 45b), cobre ( $r = 0,85$ ) (Figura 45c) y manganeso ( $r = 0,98$ ) (Figura 45d) mostraron patrones regulares en su concentración foliar, sustentados por una correlación significativa, lo que sugiere una coherencia funcional en el metabolismo nutricional de las plantas analizadas.



**Figura 44.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis foliar: a. Nitrógeno, b. Fósforo, c. Potasio, d. Cálcio, e. Magnesio y f. Sodio



**Figura 45.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot de análisis foliar: a. Zinc, b. Hierro, c. Cobre y d. Manganeso

### b. Prueba de homogeneidad de varianza

Se desarrolló esta prueba para analizar el comportamiento de la varianza entre los tratamientos de estudio, para lo cual La prueba de Levene evidenció una diferencia significativa en las varianzas entre los grupos ( $p = <0.001$ ), lo cual indica que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido por el ANOVA tradicional. Por esta razón, se

optó por aplicar el ANOVA de análisis de submuestreo, que es más específico frente a la desigualdad de varianzas.

**Tabla 20.** Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido nutricional (N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn) del análisis foliar, realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Variable evaluada	Grupo comparado	Estadístico de Levene	Grados de libertad (gl1 / gl2)	Valor p	Conclusión
Nitrógeno	Tratamientos	16.54	-7 / 248	< 0,001	NHV
Fósforo	Tratamientos	94.13	-7 / 248	< 0,001	NHV
Potasio	Tratamientos	43.76	-7 / 248	< 0,001	NHV
Calcio	Tratamientos	38.04	-7 / 248	< 0,001	NHV
Magnesio	Tratamientos	23.14	-7 / 248	< 0,001	NHV
Sodio	Tratamientos	31.23	-7 / 248	< 0,001	NHV
Zinc	Tratamientos	26.07	-7 / 248	< 0,001	NHV
Hierro	Tratamientos	41.21	-7 / 248	< 0,001	NHV
Cobre	Tratamientos	43.95	-7 / 248	< 0,001	NHV
Manganeso	Tratamientos	20.15	-7 / 248	< 0,001	NHV

NHV: No existe homogeneidad de varianzas

### c. Análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ )

Los resultados del análisis foliar al concluir el experimento (Tabla 21) fueron utilizados para llevar a cabo el análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 21), donde se evaluó el contenido de Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), Sodio (Na), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Manganeso (Mn) en el tejido foliar de las plántas de café. De acuerdo con la prueba p valor del ANVA se encontró diferencias estadísticas significativas entre bloques (Tabla 21), según Calzada (1982) los resultados obtenidos estuvieron influenciados por los bloques, sugiriendo que la homogeneidad del área de terreno utilizada para el experimento fue limitada y, en consecuencia, las unidades experimentales resultaron heterogéneas, en tal sentido se consideró necesario utilizar el DBCA para este parámetro, en concordancia con la recomendación de Tejedor (2003), quien sugiere su uso cuando las unidades experimentales son heterogéneas.

Con respecto a los tratamientos se encontró diferencias estadísticas significativas para el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn al finalizar el experimento, esto quiere decir que uno o algunos de los tratamientos es diferente al resto (Calzada, 1982).

El coeficiente de variabilidad (CV) se sitúa en el 16,26; 16,03; 18,26; 18,09; 11,04; 12,03; 9,53; 9,28; 13,85 y 11,23 % para N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn

respectivamente (Tabla 24). De acuerdo con Calzada (1982) el CV < 30 % indica que hay una notable homogeneidad en los niveles N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn, es decir el contenido de estos nutrientes tuvo muy buena y excelente similaridad entre las repeticiones de cada tratamiento.

**Tabla 21.** Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) del análisis de tejido foliar de las plantas de café evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Fuente de variación		Bloque	Tratamiento	Error muestral	Error experimental	CV (%)	R <sup>2</sup>
GL		3	7	56	189		
N	Promedio	17,12 S	4,10 S	0,00	0,18	16,26	0,70
	p-valor	0,0001	0,0001				
P	Promedio	0,01 S	0,61 S	0,00	0,00061	16,03	0,97
	p-valor	0,0001	0,0001				
K	Promedio	0,01 S	0,03 S	0,00	0,00036	18,26	0,76
	p-valor	0,0001	0,0001				
Ca	Promedio	0,07 S	0,39 S	0,00	0,002	18,09	0,89
	p-valor	0,0001	0,0001				
Mg	CM	0,03 S	0,36 S	0,00	0,00059	11,04	0,96
	p-valor	0,0001	0,0001				
Na	CM	0,0012 S	0,01 S	0,00	0,000018	12,03	0,97
	p-valor	0,0001	0,0001				
Zn	CM	178,69 S	21 994,63 S	1,10E-12	10,66	9,53	0,99
	p-valor	0,0001	0,0001				
Fe	CM	147 913,2 S	6 205 467,6 S	7,90E-11	7 482,56	9,28	0,97
	p-valor	0,0001	0,0001				
Cu	CM	248,18 S	12 057,16 S	0,00	15,34	13,85	0,97
	p-valor	0,0001	0,0001				
Mn	CM	1 181,84 S	12 4491,03 S	1,00E-11	214,64	11,23	0,96
	p-valor	0,0012	0,0001				

S : Significativo  
 NS : No significativo  
 DDT : Días después del trasplante  
 GL : Grados de libertad  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza

#### **d. Prueba de DGC ( $\alpha= 0,05$ )**

Al llevar a cabo el análisis de la prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) con un nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 22), se encontró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos en relación con el parámetro que evalúa el contenido tejido foliar, abarcando N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu y Mn.

En cuanto al contenido de Nitrógeno foliar (N) (Tabla 22), en la evaluación final del experimento se observó que el T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D) con 2,97 % y el T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) con 2,96 % tuvieron mayor contenido de nitrógeno, siendo estadísticamente superiores a los demás tratamientos, estos niveles están por encima del rango crítico o de suficiencia según lo indicado Sadeghian, (2020), quien establece que el nivel adecuado del nitrógeno foliar está entre 2,36 y 2,78 %, además, recomienda que los análisis foliares se recomiendan seis meses antes de la cosecha en el momento que inicia la mayor demanda de nutrientes pro parte del fruto. De acuerdo con Sadeghian, (2020) se puede observar cantidades por debajo del rango crítico para el caso del calcio y potasio (Tabla 22), el exceso de la cantidad de N pude causar deficiencia en esto nutrientes, tal como lo señala Múnera (2012), además, excesivos de este nutriente influye en la absorción de otros como fósforo o potasio (Garza et al., 2020).

Respecto al contenido de Fósforo foliar (P) (Tabla 22), en la evaluación final del experimento se observó que el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) con 0,43 % y el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) con 0,30 % tuvieron mayor contenido de fósforo, siendo estadísticamente superiores a los demás tratamientos, además los contenidos de ambos tratamientos están por encima del rango críticos tal como lo menciona Sadeghian (2020). Estos resultados estarían causando la bajo disponibilidad del calcio tanto para el T<sub>1</sub> y el T<sub>2</sub>, tal como lo menciona (Múnera, 2012).

En relación al contenido de Potásio (K) foliar (Tabla 22), en la evaluación final del experimento se observó que el T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) con 0,16 % y el T<sub>1</sub> (Suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D) con 0,12 % tuvieron mayor contenido de potásio, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, sin embargo están por debajo de los rangos críticos (Sadeghian, 2020), además el elevado contenido del nitrógeno foliar estaría influyendo para que los niveles del K sea deficiente.

Para el contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) foliar (Tabla 22), se observó que el T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) mostró valores superiores estadísticamente con 0,39 y 0,33 %, respectivamente, en comparación con los demás tratamientos, seguido por el T<sub>6</sub> (Suelo de montaña) con 0,33 y 0,31 %, respectivamente, en cuanto al contenido del calcio, los niveles están por debajo del rango

crítico, mientras que los niveles del magnesio están dentro del rango crítico (Sadeghian, 2020). Los altos niveles de N y P serían los que estarían causando una deficiencia en el contenido del calcio.

Contenido de Sodio (Na) y (Cu) foliar (Tabla 22), se observó que el T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) mostró valores superiores estadísticamente con 0,08 % y 8,59 ppm, respectivamente, en comparación con los demás tratamientos, seguido por el T<sub>7</sub> (Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D) con 0,05 % y 7,37 ppm, respectivamente tuvieron mayor contenido de sodio que los demás tratamientos, en cuanto al contenido de Cu, ambos tratamientos están del rango crítico establecido (Sadeghian, 2020).

En relación al contenido de Zinc (Zn) foliar (Tabla 22), se observó que el T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) y T<sub>6</sub> (Suelo de montaña) con 95,09 y 41,02 ppm tuvieron mayor contenido de zinc que los demás tratamientos, encontrándose por encima de los rangos críticos (Sadeghian, 2020).

Para el contenido de Hierro (Fe) foliar (Tabla 22), se observó que el T<sub>7</sub> (Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D) y T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D) con 1568,85 ppm y 1313,01 ppm tuvieron mayor contenido de hierro, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, encontrándose por encima de los rangos críticos (Sadeghian, 2020). Las actividades asociadas con el cultivo de coca, como la aplicación de agroquímicos y la disposición inadecuada de residuos, pueden contaminar el suelo con sodio y hierro, especialmente si se utilizan fertilizantes y pesticidas que contienen estos elementos como ingredientes activos o contaminantes secundarios (López et al., 2021).

En relación al contenido de Manganeseo (Mn) foliar (Tabla 22), en la evaluación final del experimento se observó que el T<sub>7</sub> (Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D) y T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D) con 205,74 y 199,45 ppm tuvieron mayor contenido de manganeseo, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos., mismos que están dentro del rango crítico (Sadeghian, 2020), contribuyendo así a la regulación del hierro en su estado ferroso y disminuyendo la toxicidad (Múnera, 2012).

En lo que respecta al tratamiento T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal), se esperaba que presentara valores inferiores en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, esta diferencia no fue tan marcada en los resultados obtenidos. Esto podría deberse a que, como se indicó en la metodología, al momento de recolectar las muestras foliares para el análisis en laboratorio, se seleccionaron preferentemente hojas más frondosas y de mayor tamaño. Esta decisión metodológica pudo haber influido en la homogeneidad de los resultados, disminuyendo la variabilidad esperada entre tratamientos.

**Tabla 22.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de tejido foliar de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

	<b>V. Opt</b>	<b>Tratamiento</b>	T <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>
<b>N (%)</b>	<b>2,5</b>	<b>Promedio</b>	2,97	2,96	2,90	2,68	2,61	2,45	2,37	1,93
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>6</sub>
<b>P (%)</b>	<b>0,12 - 0,15</b>	<b>Promedio</b>	0,43	0,30	0,13	0,13	0,10	0,07	0,04	0,04
		<b>Sig.</b>	a	b	c	c	d	e	f	f
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>
<b>K (%)</b>	<b>1,5 - 2</b>	<b>Promedio</b>	0,16	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07
		<b>Sig.</b>	a	b	b	c	d	e	e	f
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Ca (%)</b>	<b>0,25 - 0,3</b>	<b>Promedio</b>	0,39	0,33	0,31	0,28	0,27	0,20	0,09	0,08
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Mg (%)</b>	<b>0,25 - 0,3</b>	<b>Promedio</b>	0,33	0,31	0,30	0,28	0,25	0,18	0,07	0,06
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Na (ppm)</b>	<b>-</b>	<b>Promedio</b>	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01
		<b>Sig.</b>	a	b	c	c	d	d	e	e
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Zn (ppm)</b>	<b>10 - 15</b>	<b>Promedio</b>	95,09	41,02	31,81	31,19	24,19	20,80	17,90	11,90
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>7</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Fe (ppm)</b>	<b>100</b>	<b>Promedio</b>	1568,85	1313,01	1238,07	994,44	751,77	746,79	665,91	176,01
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>5</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>Cu (ppm)</b>	<b>14 - 20</b>	<b>Promedio</b>	8,59	7,37	5,31	5,29	4,93	4,26	4,22	3,93
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h
		<b>Tratamiento</b>	T <sub>7</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>
<b>Mn (ppm)</b>	<b>60 - 150</b>	<b>Promedio</b>	205,74	199,45	176,00	168,74	83,59	73,98	72,72	63,04
		<b>Sig.</b>	a	b	c	d	e	f	g	h

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

V.Opt : Valor óptimo

$\bar{X}$  : Promedio

Sig : Significancia

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bachthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bachthon+Tricho-D)

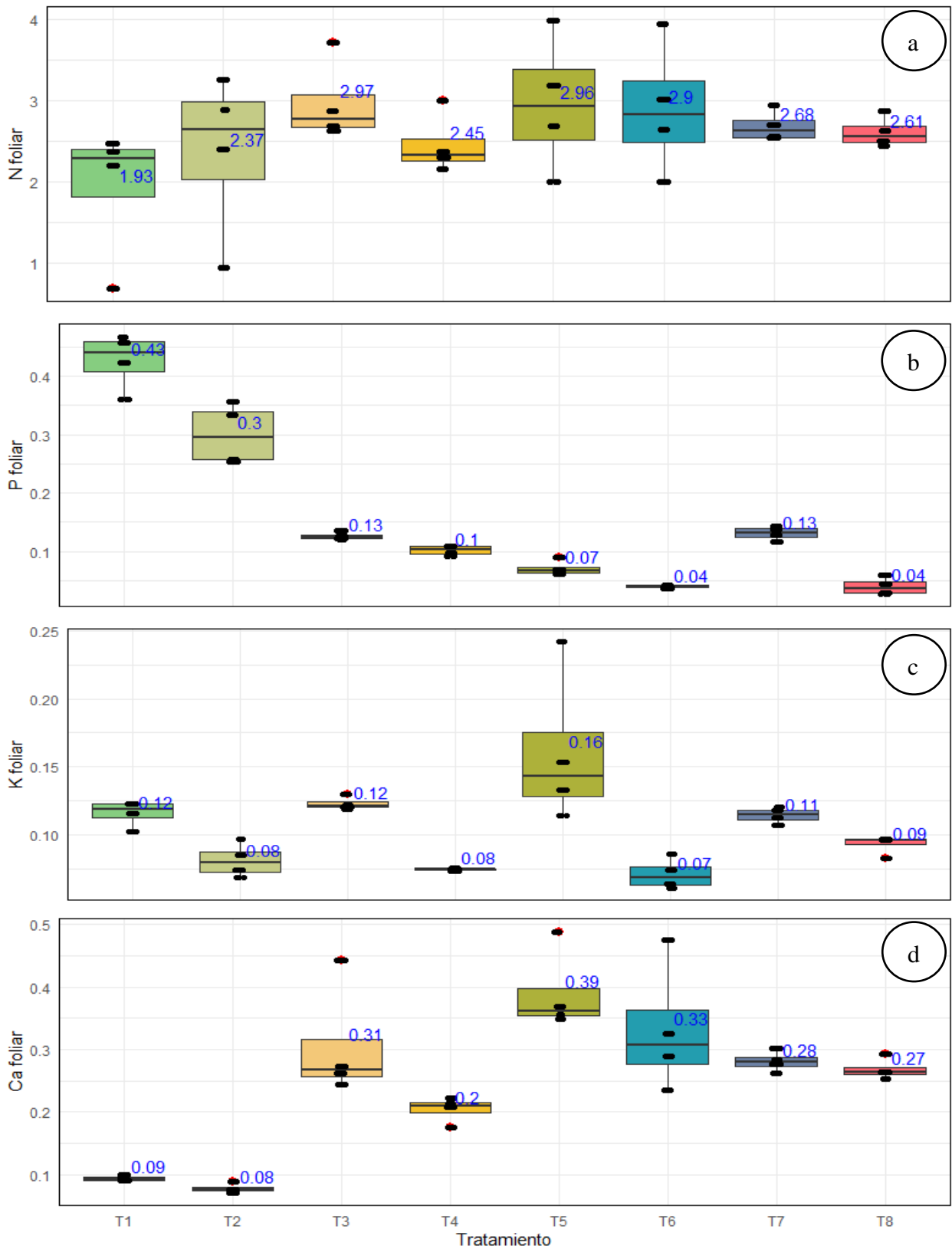
T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bachthon+Tricho-D)

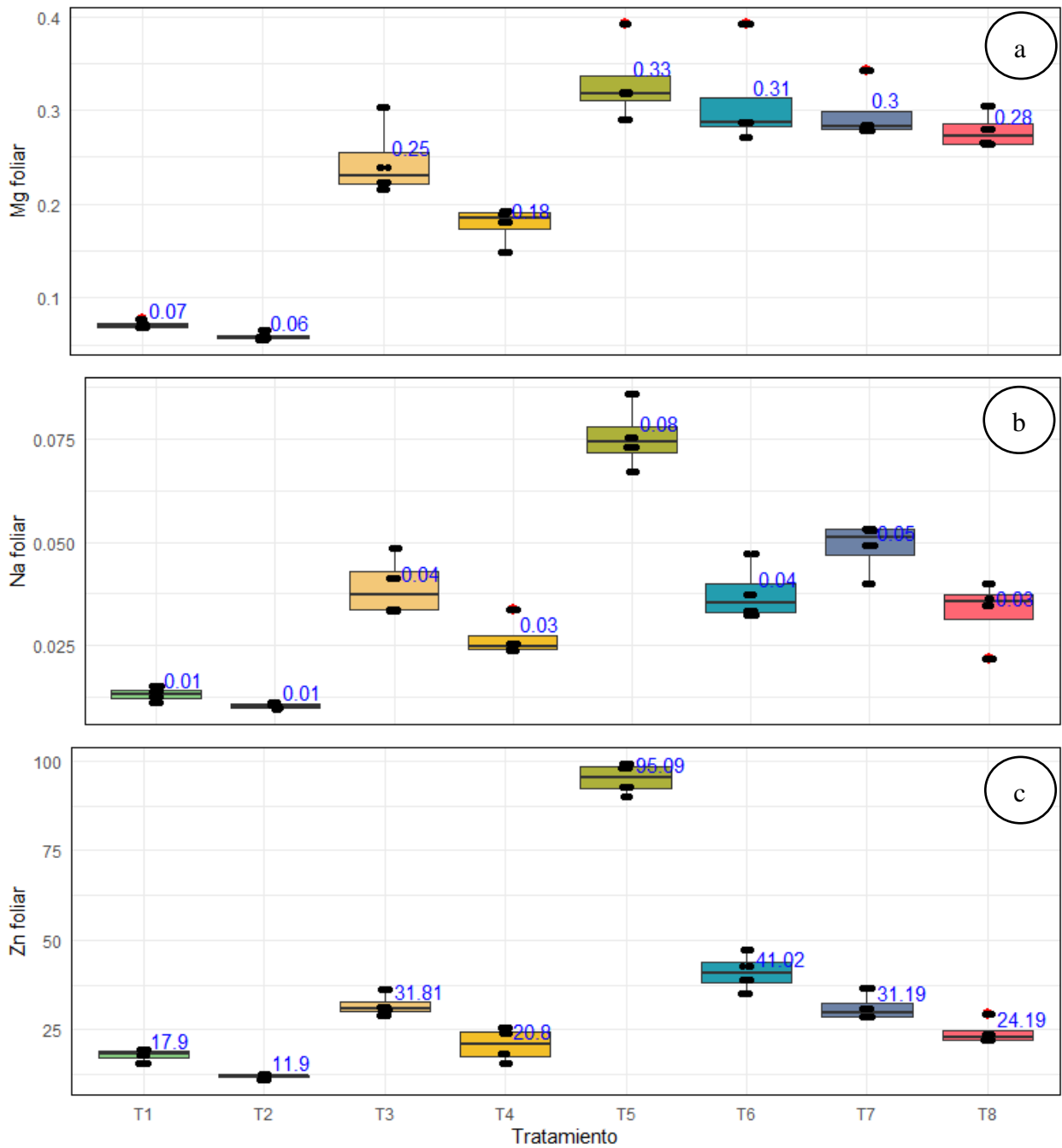
T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>7</sub> (Suelo ex cocal+Bachthon+Tricho-D)

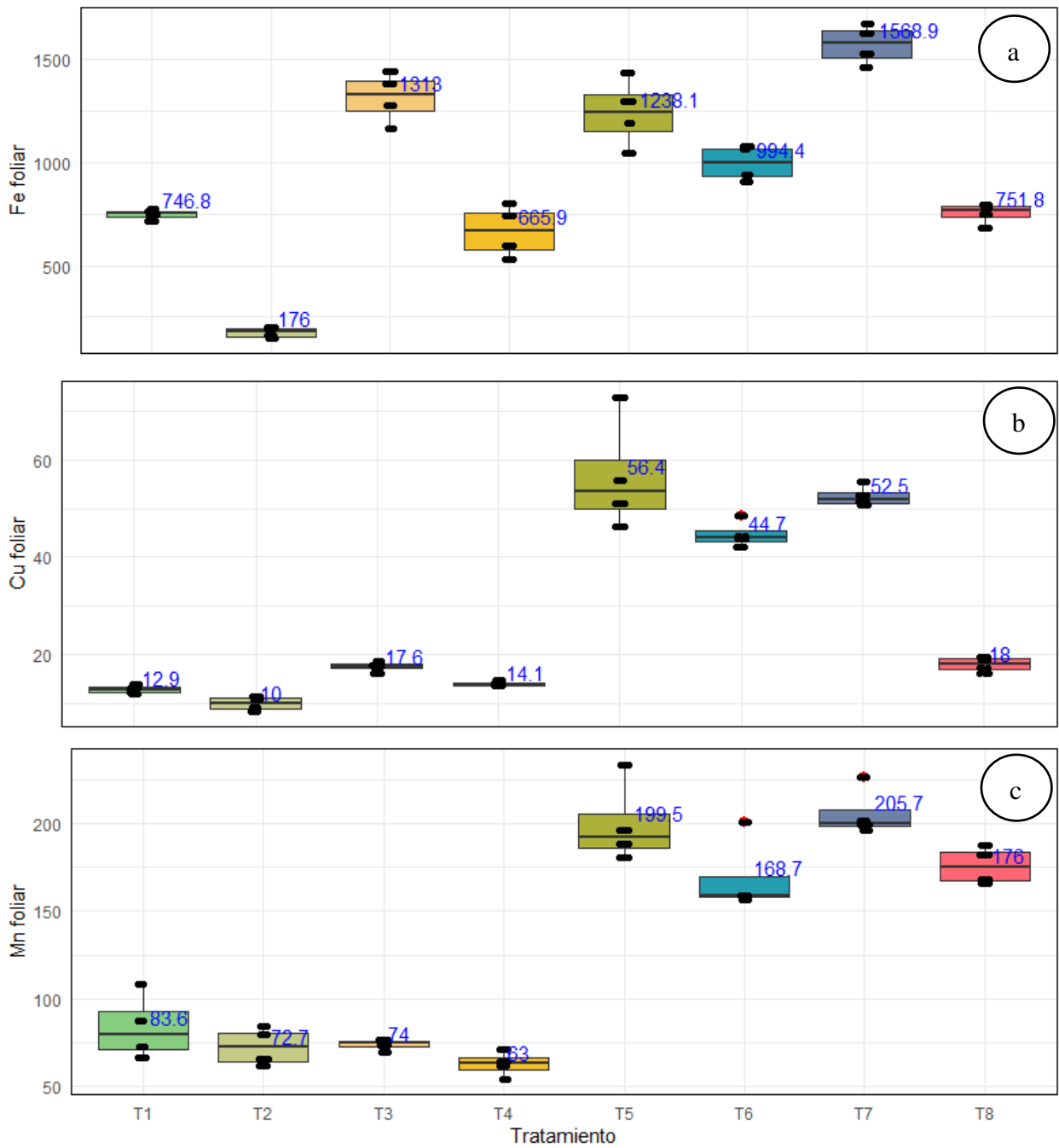
T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal)



**Figura 46.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar: a. Nitrógeno, b. Fósforo, c. Potasio y d. Calcio



**Figura 47.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar de los plantones de café: a. Magnesio (Mg), b. Sodio (Na) y c. Zinc (Zn)



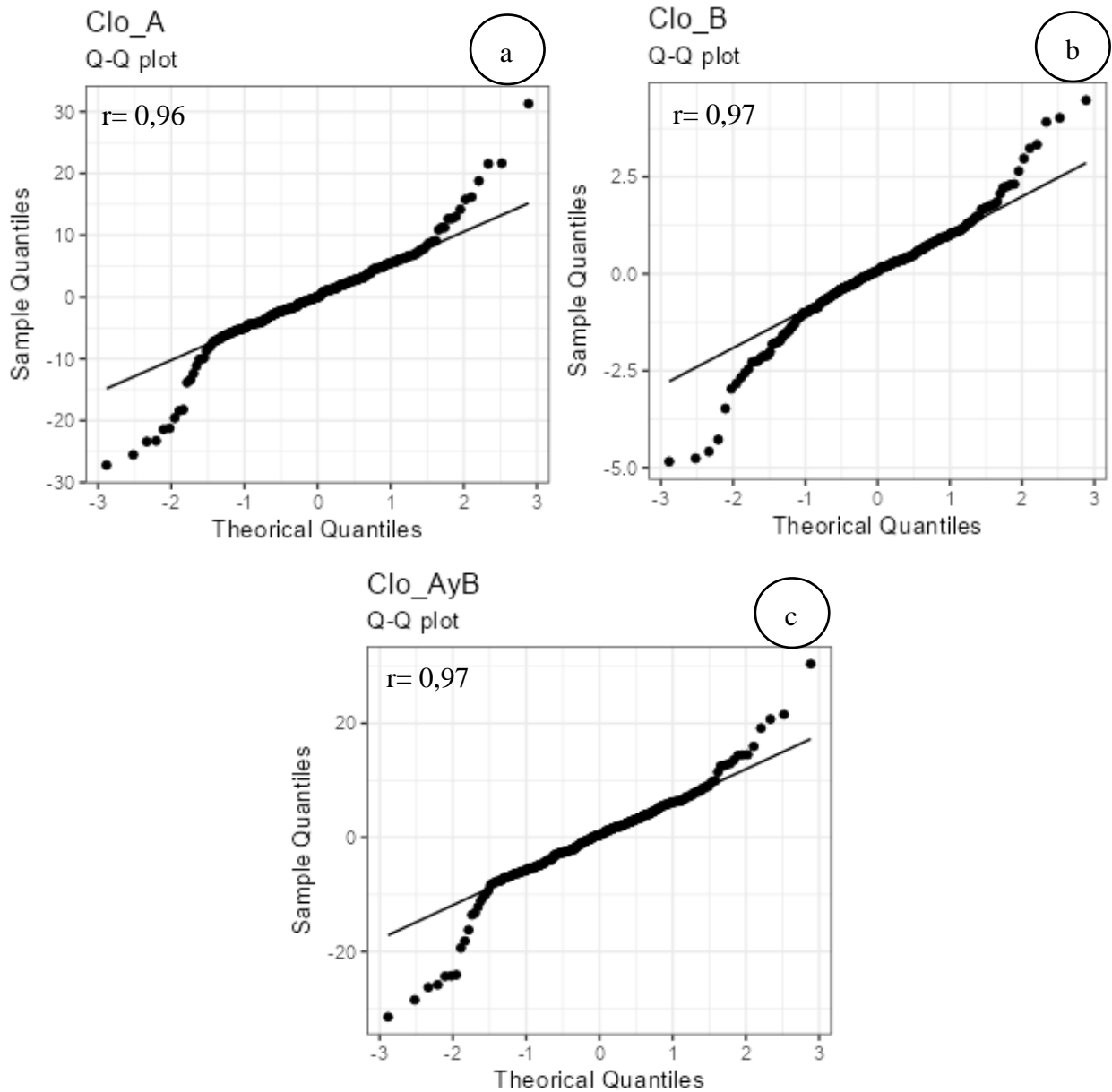
**Figura 48.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis foliar de los plantones de café: a. Hierro (Fe), b. Fósforo (P), c. Potasio (K) y d. Calcio (Ca)

### **4.3.2. Determinación de clorofila**

#### **a. Prueba de normalidad**

Cabe destacar que, para este análisis, se optó por utilizar gráficos Q-Q (Quantile-Quantile) en lugar de pruebas convencionales de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk. Esto se debe a que, en muestras grandes, dichas pruebas tienden a detectar desviaciones mínimas de la normalidad que carecen de relevancia práctica, lo que con frecuencia conduce al rechazo de la hipótesis de normalidad. Además, pruebas como Shapiro-Wilk fueron originalmente diseñadas para tamaños muestrales pequeños, generalmente no superiores a 50–100 observaciones. Por el contrario, los gráficos Q-Q permiten una evaluación visual más robusta de la distribución de los datos, facilitando la detección de asimetrías, colas pesadas, valores atípicos o curvaturas (Kozak & Piepho, 2018). Dado que el tamaño muestral en este experimento fue de 256 observaciones, se consideró más apropiado utilizar gráficos Q-Q para evaluar la normalidad de los residuos, obteniendo:

Las concentraciones de clorofila A, clorofila B y la combinación total (A+B) mostraron un comportamiento normal en su distribución, respaldado por altos coeficientes de correlación ( $r$ ), que evidencian consistencia en los datos:  $r=0,96$  para clorofila A (Figura 49a),  $r=0,97$  para clorofila B (Figura 49b) y  $r=0,97$  para clorofila A+B (Figura 49c).



**Figura 49.** Gráfico de normalidad Q-Q Plot del análisis de clorofilas: a. Clorofila A, b. Clorofila B y c. Clorofila A+B

### **b. Prueba de homogeneidad de varianza**

Se desarrolló esta prueba para analizar el comportamiento de la varianza entre los tratamientos de estudio, para lo cual La prueba de Levene evidenció una diferencia significativa en las varianzas entre los grupos ( $p = <0.001$ ), lo cual indica que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido por el ANOVA tradicional. Por esta razón, se optó por aplicar el ANOVA de análisis de submuestreo, que es más específico frente a la desigualdad de varianzas (Tabla 23).

**Tabla 23.** Prueba de homogeneidad de varianzas del contenido de clorofila A, B y A+B realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en diciembre del 2022

Variable evaluada	Grupo comparado	Estadístico de Levene	Grados de libertad (g1 / g2)	Valor p	Conclusión
Clorofila A	Tratamientos	1.70	-7 / 248	0.109	EHV
Clorofila B	Tratamientos	2.66	-7 / 248	0.011	NHV
Clorofila A+B	Tratamientos	1.46	-7 / 248	0.183	EHV

HV: Existe Homogeneidad de varianzas

NHV: No existe homogeneidad de varianzas

### c. Análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ )

Los resultados del análisis de tejido al concluir el experimento (Anexo: Tabla 33) fueron utilizados para llevar a cabo el análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 24), donde se evaluó el contenido clorofila a, b y a+b en el tejido foliar de las plantas de café. De acuerdo con la prueba p valor del ANVA se encontró diferencias estadísticas significativas entre bloques (Tabla 24), esto quiere decir, que según Calzada (1982) los resultados obtenidos estuvieron influenciados por los bloques, sugiriendo que la homogeneidad del área de terreno utilizada para el experimento fue limitada y, en consecuencia, las unidades experimentales resultaron heterogéneas, en tal sentido se consideró necesario utilizar el Diseño de Bloques completamente aleatorizados (DBCA) para este parámetro, en concordancia con la recomendación de González et al. (2024), quien sugiere su uso cuando las unidades experimentales son heterogéneas.

Con respecto a los tratamientos se encontró diferencias estadísticas significativas para el contenido de clorofila a, b y a+b al finalizar el experimento, al analizar los diferentes parámetros evaluados, esto quiere decir que uno o algunos de los tratamientos es diferente al resto (Calzada, 1982).

El coeficiente de variabilidad (CV) se sitúa en el 25,38; 24,54; 23,33 % para a,b y a+b respectivamente (Tabla 24). De acuerdo con Calzada (1982) el  $CV < 30\%$  indica que hay una notable homogeneidad en los niveles a, b y a+b es decir el contenido de estos nutrientes tuvo muy buena y excelente similaridad entre las repeticiones de cada tratamiento

**Tabla 24.** Análisis de variancia (ANVA) ( $\alpha= 0,05$ ) del análisis de clorofila a, b y a+b de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	Clorofila					
		a		b		a+b	
		Promedio	p valor	Promedio	p valor	Promedio	p valor
Bloque	3	5831,59 S	0,0001	5,38 S	0,0298	5812,84 S	0,0001
Tratamiento	7	541,44 S	0,0001	45,43 S	0,0001	886,92 S	0,0001
Error muestral	56	27,26		1,85		35,55	
Error experimental	189	60,47		1,76		70,78	
Total	255						
CV (%)		25,38		24,54		23,33	
R <sup>2</sup>		0,67		0,77		0,76	

#### d. Prueba de DGC ( $\alpha= 0.05$ )

Al realizar la prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha = 0,05$ ) (Tabla 25) se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en los parámetros de clorofila a, b y a+b.

**Tabla 25.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) la clorofila a, b y a+b de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Clorofila a			Clorofila b			Clorofila (a+b)		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>2</sub>	37,70	a	T <sub>2</sub>	7,33	a	T <sub>2</sub>	45,03	a
T <sub>1</sub>	36,13	a	T <sub>1</sub>	7,22	a	T <sub>1</sub>	43,35	a
T <sub>4</sub>	29,73	b	T <sub>5</sub>	5,18	b	T <sub>5</sub>	34,65	b
T <sub>5</sub>	29,47	b	T <sub>8</sub>	5,10	b	T <sub>4</sub>	34,29	b
T <sub>7</sub>	29,46	b	T <sub>3</sub>	4,92	b	T <sub>7</sub>	34,24	b
T <sub>3</sub>	29,28	b	T <sub>7</sub>	4,78	b	T <sub>3</sub>	34,21	b
T <sub>8</sub>	27,63	b	T <sub>4</sub>	4,56	b	T <sub>8</sub>	32,73	b
T <sub>6</sub>	25,75	c	T <sub>6</sub>	4,19	c	T <sub>6</sub>	29,94	c

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

Sig : Significancia

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

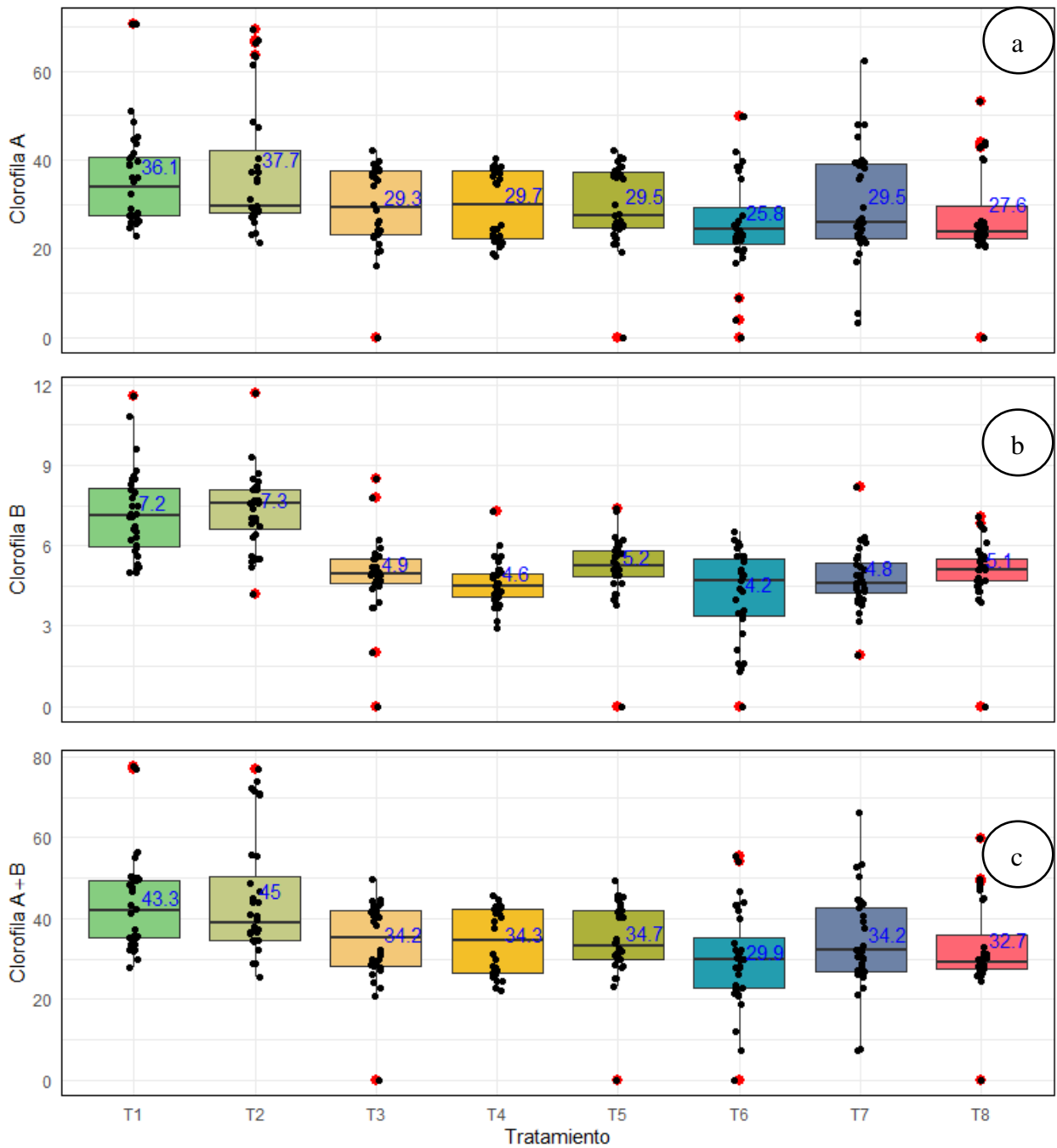
T<sub>7</sub> (Suelo ex cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal)

En relación con el contenido de clorofila a, b y el total de clorofila (a+b), (Tabla 25), se observó que los tratamientos T<sub>2</sub> (suelo agrícola) y T<sub>1</sub> (suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D) registraron los valores más altos con 37,70, 7,33 y 45,03 Índice de Clorofila Falker (ICF) respectivamente, seguidos muy de cerca por el tratamiento T<sub>1</sub>, que mostró valores de 36,13, 7,22 y 43,35 ICF para los mismos parámetros. Así como lo menciona Falker. (2018) que el área foliar guarda relación los datos de clorofila, corroborando así la relación directa que existe en ambos parámetros, lo que finalmente se traduce en un crecimiento y desarrollo óptimo de la planta (mayores promedios de altura, diámetro y número de hojas) (Tabla 18).

Además, es relevante señalar que estos niveles elevados de clorofila se encuentran en concordancia con los datos de área foliar, lo cual respalda la estrecha relación funcional que existe entre ambos indicadores fisiológicos. Esta correlación sugiere que un mayor contenido de clorofila favorece procesos fotosintéticos más eficientes, lo que se traduce finalmente en un mejor crecimiento y desarrollo de la planta. Este hecho se evidencia en los promedios superiores de altura, diámetro del tallo y número de hojas (Tabla 18), lo cual coincide con lo reportado por (Campostrini y Yamanishi, 2000), quienes afirman que existe una relación directa entre el contenido de clorofila y el rendimiento vegetativo de las plantas.

En cuanto a los distintos tipos de clorofila, se pudo observar que la clorofila a presentó concentraciones superiores a las de la clorofila b, fenómeno que podría atribuirse a la mayor influencia de la radiación lumínica sobre la síntesis de este pigmento fotosintético. Esta observación coincide con los hallazgos de Casierra et al. (2012), quienes en su estudio sobre caléndula cultivada bajo sombra, determinaron que se produce una mayor cantidad de clorofila a en comparación con la clorofila b. Asimismo, investigaciones de Cisneros et al. (2017) realizadas en plantas de café indican que, cuando estas se encuentran en condiciones óptimas de luminosidad y buen estado fisiológico, se incrementa la densidad estomática, lo que favorece una mayor acumulación de clorofila total. Este fenómeno podría estar vinculado con un aumento en la cantidad y organización de estructuras internas del cloroplasto, como los grana y tilacoides, que son esenciales para la captación eficiente de la luz y su conversión en energía química útil para la planta.



**Figura 50.** Diagrama de puntos y cola de los datos obtenidos a partir del análisis de clorofilas: a. Clorofila A, b. Clorofila B y c. Clorofila A+B

#### **4.4. Análisis de correlación entre las variables de estudio**

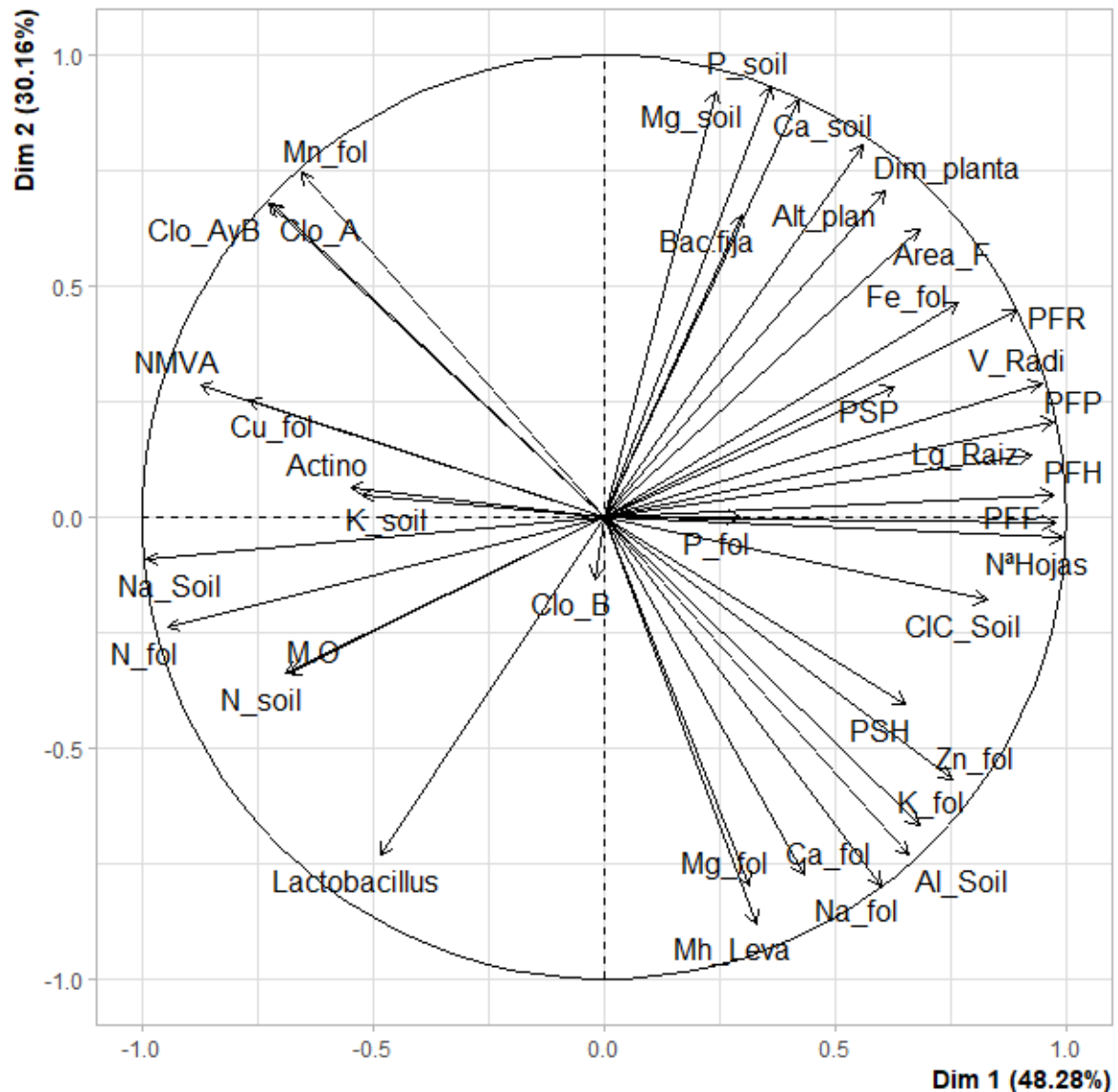
A partir del total de 40 variables consideradas en el estudio, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con el objetivo de identificar patrones y relaciones entre múltiples variables de forma simultánea. Esta técnica permitió visualizar cuáles variables presentan comportamientos similares y están estrechamente relacionadas entre sí y cómo, en conjunto, influyen en los tratamientos evaluados. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de correlación multivariada de Pearson sobre aquellas variables que mostraron algún grado de asociación, con el fin de profundizar en la interpretación de sus interacciones:

##### **4.4.1. Tratamiento 1 (Suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D)**

###### **a. Análisis de PCA**

Se observa que el eje horizontal (Dim 1) representa el 48.28 % de la información total, mientras que el eje vertical (Dim 2) explica el 30.16 %. En conjunto, ambos componentes principales capturan el 78.44 % de la variabilidad total de los datos, lo que significa que más del 78 % de la información puede interpretarse a partir de este gráfico. Esta representación permite visualizar de forma clara la relación entre los factores del suelo, los nutrientes foliares, las características de la planta y la presencia de microorganismos (Figura 51).

En el análisis PCA, variables como Fosforo de suelo, calcio de suelo, peso fresco de la raíz, volumen radicular y peso fresco de la planta, se agrupan en el cuadrante positivo de Dim1 y Dim2, sugiriendo una sinergia entre estos nutrientes foliares y el crecimiento vegetal. Por el contrario, Número de hojas y calcio foliar, se agrupan en correlación en el cuadrante dos, Así mismo, el sodio de suelo se agrupa en correlación en el cuadrante tres y finalmente la clorofila A, clorofila A+B y Manganeso foliar se agrupan en correlación en el cuadrante cuatro (Figura 51).



pH : Potencial de hidrógeno  
M.O : Materia orgánica  
N\_soil : Nitrógeno de suelo  
P\_soil : Fósforo de suelo  
K\_soil : Potasio de suelo  
Ca\_soil : Calcio de suelo  
Mg\_soil : Magnesio de suelo  
Na\_Soil : Sodio de suelo  
Al\_Soil : Aluminio de suelo  
CIC\_Soil : Capacidad de intercambio catiónico  
NMVA : Numero de Microorganismos aeróbicos viables  
Lactobacillus : Colonias de lactobacillus  
Bac.fija : Bacterias Fijadoras de Nitrógeno  
Mh\_Leva : Mohos y levaduras  
Actino : Actinomycetos  
NºHojas : Número de hojas  
Alt\_plan : Altura de la planta  
Dim\_planta : Diámetro de planta  
Lg\_Raiz : Longitud de la raíz  
V\_Radi : Volumen radicular

Area\_F : Área foliar  
PFP : Peso fresco total de la planta  
PSP : Peso Seco total de la planta  
PFR : Peso fresco de la raíz  
PFF : Peso fresco del follaje  
PFH : Peso fresco de la hoja  
PSH : Peso seco de la hoja  
N\_fol : Nitrógeno foliar  
P\_fol : Fósforo foliar  
K\_fol : Potasio foliar  
Ca\_fol : Calcio foliar  
Mg\_fol : Magnesio foliar  
Na\_fol : Sodio foliar  
Zn\_fol : Zinc foliar  
Fe\_fol : Hierro foliar  
Cu\_fol : Cobre foliar  
Mn\_fol : Manganeso foliar  
Clo\_A : Clorofila A  
Clo\_B : Clorofila B  
Clo\_AyB : Clorofila A y B

**Figura 51.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento uno

### **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones (Figura 52), se observa que:

**Clorofila A:** El valor de clorofila A se ve que tiene una correlación positiva alta con la clorofila A+B y Manganese foliar (1.00\*, 1.00\*). Así mismo, se observa una correlación negativa alta con Potasio y zinc foliares (-0.99\*, -0.98\*). Coincidiendo con Lichtenthaler y Buschmann (2001) en estudios espectrofotométricos. Sin embargo, la relación directa con manganese foliar (Mn) contradice con Hosseini et al. (2022) quienes demostraron que altas concentraciones de Mn (>300 ppm) en hojas inhiben la biosíntesis de clorofila en plantas sensibles, sugiriendo que esta correlación podría ser específica de ciertos rangos de concentración o especies vegetales. En cuanto a la correlación negativa con potasio (K) (-0.99\*) y zinc (Zn) (-0.98\*), se podría asimilar que ambos son cofactores enzimáticos clave para la fotosíntesis (Yingqi et al., 2022). Esto se podría explicarse por: 1) antagonismos iónicos en la absorción radicular (ej. exceso de Mn inhibiendo el ingreso de K/Zn), como propone Mathur y Chauhan (2020) en suelos ácidos; o 2) variabilidad fenológica no controlada, dado que etapas de senescencia muestran simultáneamente degradación de clorofilas y movilización de nutrientes.

**Manganese foliar:** El valor de manganese foliar se ve que tiene una correlación negativa alta con el potasio y zinc foliares (-0.98\* y -0.96\*). Lo que sugiere un posible antagonismo en la absorción o translocación de estos elementos. Este patrón coincide con lo reportado por Analin et al. (2020) que menciona que las plantas bajo estrés por exceso de Mn, donde altas concentraciones de Mn redujeron significativamente la acumulación de K y Zn en tejidos foliares, atribuyéndolo a competencia por sitios de transporte iónico. Sin embargo, Lončarić et al. (2024) menciona que no se observó interferencia significativa entre Mn y K/Zn en condiciones óptimas de pH, sugiriendo que el supuesto antagonismo podría estar mediado por factores edáficos (como acidez del suelo) más que por interacciones fisiológicas directas.

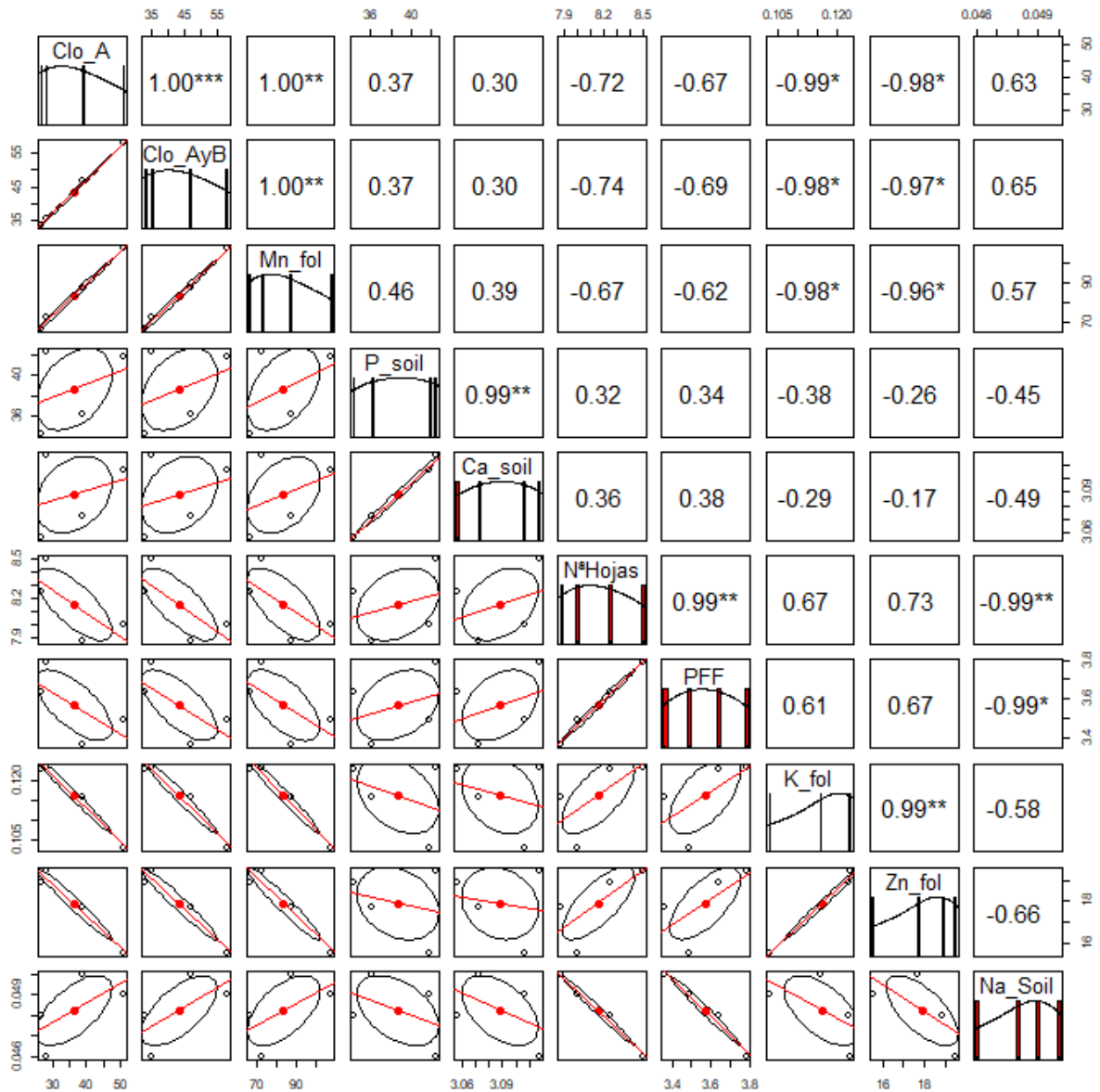
**Fosforo de suelo:** El valor de fosforo de suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con el calcio del suelo (0.99\*). Lo que sugiere una posible interacción sinérgica en su disponibilidad o mecanismos compartidos de retención en el complejo arcillo-húmico. Sin embargo, en sistemas edáficos pueden deberse a factores externos no considerados, como el pH del suelo o la presencia de coloides orgánicos (Bulmer et al., 2018). Así mismo, Ma et al. (2020) observaron que la baja disponibilidad de fósforo con calcio solo ocurre en rangos

específicos de pH (>6.5), mientras que en condiciones ácidas predominan interacciones competitivas con aluminio.

Número de hojas: El valor de número de hojas se ve que tiene una correlación positiva alta con el Peso fresco del follaje (0.99\*) y una correlación negativa alta con el sodio de suelo (-0.99\*). Lo que sugiere que la biomasa foliar está directamente vinculada al desarrollo vegetativo, pero severamente limitada por condiciones salinas. Esta relación coincide con lo reportado por Gupta y Huang (2014), quienes demostraron que el estrés por sodio reduce la expansión celular en hojas, afectando tanto su número como su tamaño. Sin embargo, Taiz et al. (2015) mencionan que factores como la edad de la planta o la disponibilidad hídrica pueden modular estos efectos.

Peso fresco del follaje: El valor de peso fresco del follaje se ve que tiene una correlación negativa alta con el sodio de suelo (-0.99\*). Lo que sugiere que la acumulación de sodio en el perfil edáfico podría estar limitando significativamente el desarrollo vegetativo. Esto concuerda con Munns y Tester (2008), quienes demostraron que el estrés salino reduce la turgencia celular y la expansión foliar en plantas glicófitas. Sin embargo, Liu et al. (2015), menciona que ciertos genotipos tolerantes mantuvieron su biomasa aérea incluso con altos niveles de Na<sup>+</sup> en suelo, gracias a mecanismos de exclusión radical.

Potasio foliar: El valor de potasio foliar se ve que tiene una correlación positiva alta con el zinc foliar (0.99\*). Lo que podría deberse a mecanismos compartidos de transporte, como la regulación de canales iónicos dependientes de ATPasas (Stanton et al., 2021). Sin embargo, estudios previos en cultivos similares no han reportado asociaciones tan estrechas ( $r > 0.90$ ) entre K y Zn, como Renzaglia et al. (2020), encontraron  $r = 0.62$  en arroz.



Clo\_A : Clorofila A  
 Clo\_AyB : Clorofila A y B  
 Mn\_fol : Manganeso foliar  
 P\_soil : Fósforo de suelo  
 Ca\_soil : Calcio de suelo  
 N°Hojas : Número de hojas  
 PFF : Peso fresco del follaje  
 K\_fol : Potasio foliar  
 Zn\_fol : Zinc foliar  
 Na\_Soil : Sodio de suelo

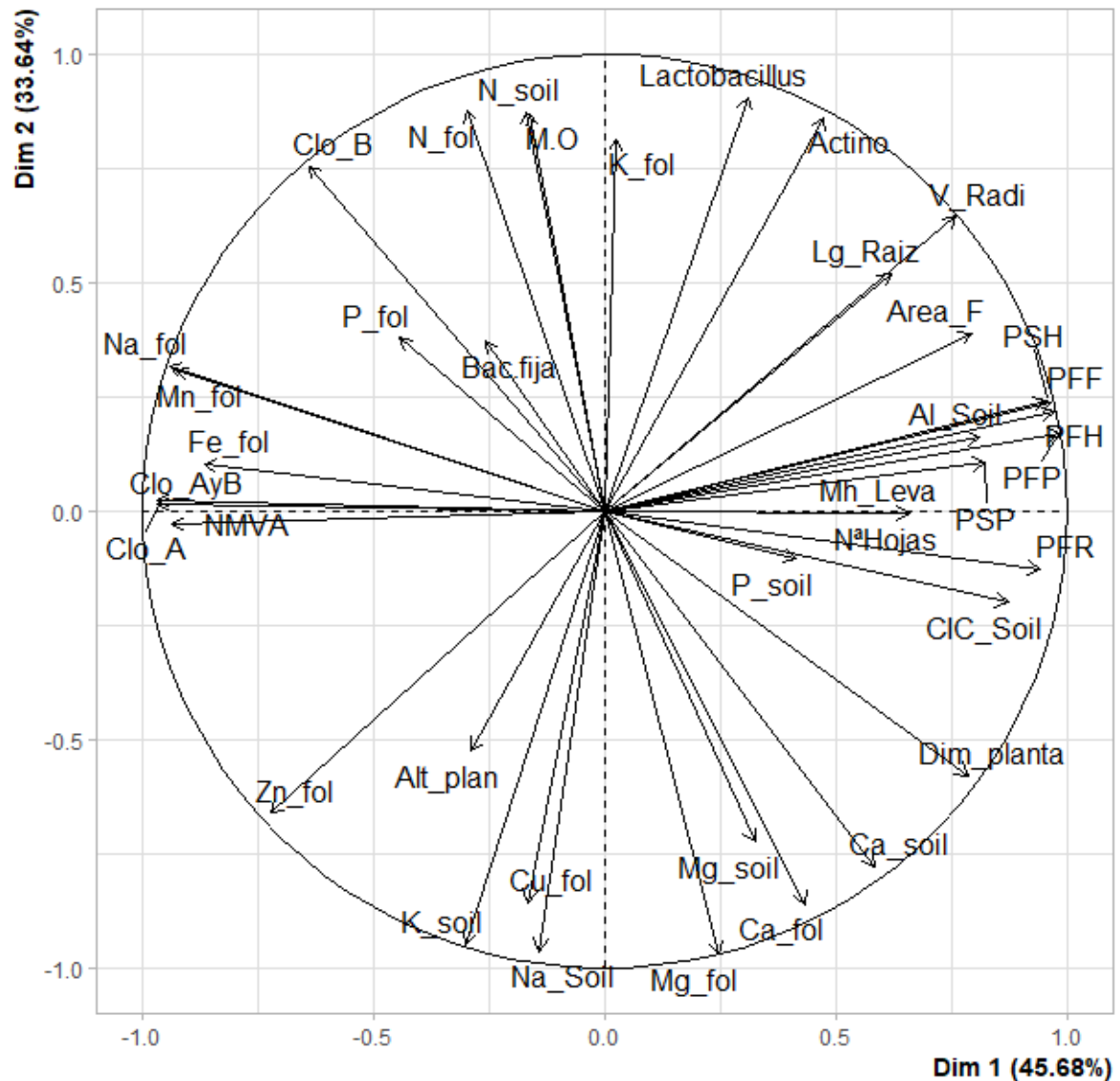
**Figura 52.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento uno

#### 4.4.2. Tratamiento 2 (Suelo agrícola)

##### a. Análisis de PCA

Se aprecia que el eje horizontal, correspondiente a la Dimensión 1 (Dim 1), representa el 45.68 % de la información total contenida en el conjunto de datos analizados, mientras que el eje vertical, que corresponde a la Dimensión 2 (Dim 2), explica un 33.64 % adicional de la variabilidad. En conjunto, ambos ejes —que constituyen los dos primeros componentes principales del Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés)— logran capturar un 79.32 % de la variabilidad total de los datos. Esto significa que una proporción significativa, superior al 79 %, de la estructura subyacente de los datos puede interpretarse visualmente a partir de este gráfico bidimensional. Esta representación resulta altamente útil, ya que permite observar de manera clara y comprensible las interrelaciones existentes entre diversos factores relevantes, como las propiedades del suelo, el contenido de nutrientes foliares, características morfofisiológicas de la planta, así como la abundancia de determinados grupos de microorganismos asociados al sistema (Figura 53).

En este análisis multivariado, se observa que ciertas variables se agrupan en zonas específicas del gráfico, lo que permite inferir posibles asociaciones o comportamientos similares entre ellas. En el primer cuadrante (positivo en Dim 1 y Dim 2), se agrupan variables como Actinomycetos, volumen radicular, peso seco de hoja, peso fresco del follaje y peso fresco de hoja, lo cual sugiere una relación positiva o sinérgica entre el desarrollo radicular y foliar de la planta y la presencia de microorganismos beneficiosos en el suelo. Esta agrupación podría indicar un ambiente edáfico propicio para el crecimiento vegetal cuando estos factores coexisten. En el segundo cuadrante, se observa la asociación entre variables como el diámetro de la planta, magnesio foliar, calcio foliar y calcio del suelo, lo que sugiere una correlación entre el estado nutricional en cuanto a cationes divalentes y el desarrollo estructural de la planta. Por otro lado, en el tercer cuadrante, las variables sodio del suelo y potasio del suelo se agrupan de forma conjunta, indicando un posible patrón de comportamiento entre estos elementos, que podrían estar actuando en competencia iónica o reflejando condiciones particulares del sustrato. Finalmente, en el cuarto cuadrante, se encuentran agrupadas las variables manganeso foliar, sodio foliar y clorofila B, lo que podría sugerir una influencia de estos elementos sobre la capacidad fotosintética o el estado fisiológico del tejido foliar. Esta distribución evidencia cómo el análisis PCA permite detectar patrones complejos de correlación entre múltiples variables, facilitando una interpretación más holística de los factores que influyen en el desempeño agronómico de las plantas en estudio (Figura 53).



pH	: Potencial de hidrógeno	Area_F	: Área foliar
M.O	: Materia orgánica	PFF	: Peso fresco total de la planta
N_soil	: Nitrógeno de suelo	PSP	: Peso Seco total de la planta
P_soil	: Fósforo de suelo	PFR	: Peso fresco de la raíz
K_soil	: Potasio de suelo	PFF	: Peso fresco del follaje
Ca_soil	: Calcio de suelo	PFH	: Peso fresco de la hoja
Mg_soil	: Magnesio de suelo	PSH	: Peso seco de la hoja
Na_Soil	: Sodio de suelo	N_fol	: Nitrógeno foliar
Al_Soil	: Aluminio de suelo	P_fol	: Fósforo foliar
CIC_Soil	: Capacidad de intercambio catiónico	K_fol	: Potasio foliar
NMVA	: Numero de Microorganismos aeróbicos viables	Ca_fol	: Calcio foliar
Lactobacillus	: Colonias de lactobacillus	Mg_fol	: Magnesio foliar
Bac.fija	: Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Na_fol	: Sodio foliar
Mh_Leva	: Mohos y levaduras	Zn_fol	: Zinc foliar
Actino	: Actinomycetos	Fe_fol	: Hierro foliar
NºHojas	: Número de hojas	Cu_fol	: Cobre foliar
Alt_plan	: Altura de la planta	Mn_fol	: Manganese foliar
Dim_planta	: Diámetro de planta	Clo_A	: Clorofila A
Lg_Raiz	: Longitud de la raíz	Clo_B	: Clorofila B
V_Radi	: Volumen radicular	Clo_AyB	: Clorofila A y B

**Figura 53.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento dos

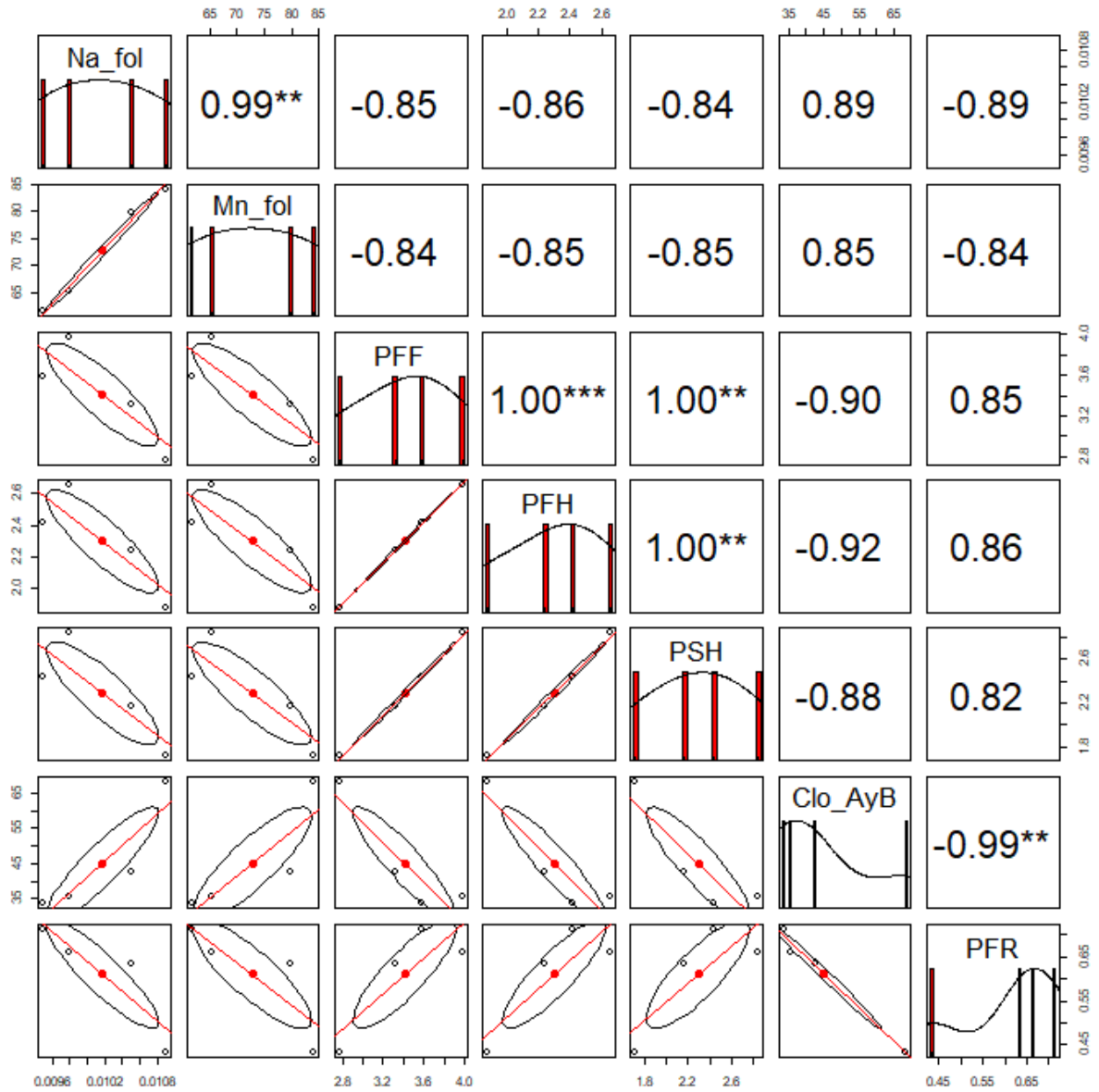
### b. Análisis de correlación con Pearson

Al analizar estas correlaciones, se observa que:

Na foliar: El valor de Sodio se ve que tiene una correlación alta con el Manganeseo (Mn) (0.99<sup>\*\*\*</sup>). Esto sugiere que podría estar funcionando como un indicador de estrés salino en determinadas condiciones, pero también como un posible nutriente beneficioso en otros contextos (Gupta & Huang, 2014).

Peso fresco foliar (PFF): El valor de PFF se ve que tiene una alta correlación con el Peso fresco de las hojas (PFH) y Peso seco de las hojas (PSH) (1.00<sup>\*\*\*</sup> y 1.00<sup>\*\*\*</sup>). Lo que sugiere una estrecha relación entre este indicador fisiológico y la acumulación de biomasa, como menciona Fajardo y Siefert (2016) que este tipo de asociaciones pueden estar influenciadas por la edad foliar o el estado hídrico del tejido. Por ejemplo, en trabajos con *Vitis vinifera*, Weerasinghe et al. (2014) encontraron que correlaciones altas ( $r > 0.90$ ) entre parámetros fisiológicos y peso foliar controlaban variables como la posición del canopeo o el estrés por radiación UV, coincidiendo parcialmente con los hallazgos de Fathi et al. (2015) en cultivos de soja, donde mecanismos como la eficiencia en el uso de agua explicarían dicha covariación entre la biomasa

Clorofila A+B: El valor de Clorofila A+B se ve que tiene una alta correlación con el Peso fresco de la raíz (PFR) (0.99<sup>\*\*</sup>). Lo que sugiere una posible compensación energética entre la actividad fotosintética y el desarrollo radical, esto contrasta con lo reportado por Lambers y Oliveira (2019), quienes en condiciones de estrés hídrico moderado observaron una correlación positiva entre ambas variables en *Arabidopsis thaliana*, atribuida a una mayor asignación de fotoasimilados hacia las raíces. Asimismo, Liao et al. (2021), propone que sistemas radicales extensos en suelos pobres redujeron la inversión foliar en pigmentos fotosintéticos. Una explicación alternativa podría vincularse al tipo de estrés evaluado, mientras Lambers y Oliveira (2019) trabajaron con déficit hídrico, nuestros datos podrían reflejar condiciones de baja disponibilidad de nutrientes, donde la prioridad metabólica favorece estructuras de absorción sobre la retención de clorofila.



- Na\_fol : Sodio foliar
- Mn\_fol : Manganeso foliar
- Mn\_fol : Manganeso foliar
- PFF : Peso fresco del follaje
- PFH : Peso fresco de la hoja
- PSH : Peso seco de la hoja
- PFF : Peso fresco del follaje
- Clo\_AyB : Clorofila A y B
- PFR : Peso fresco de la raíz

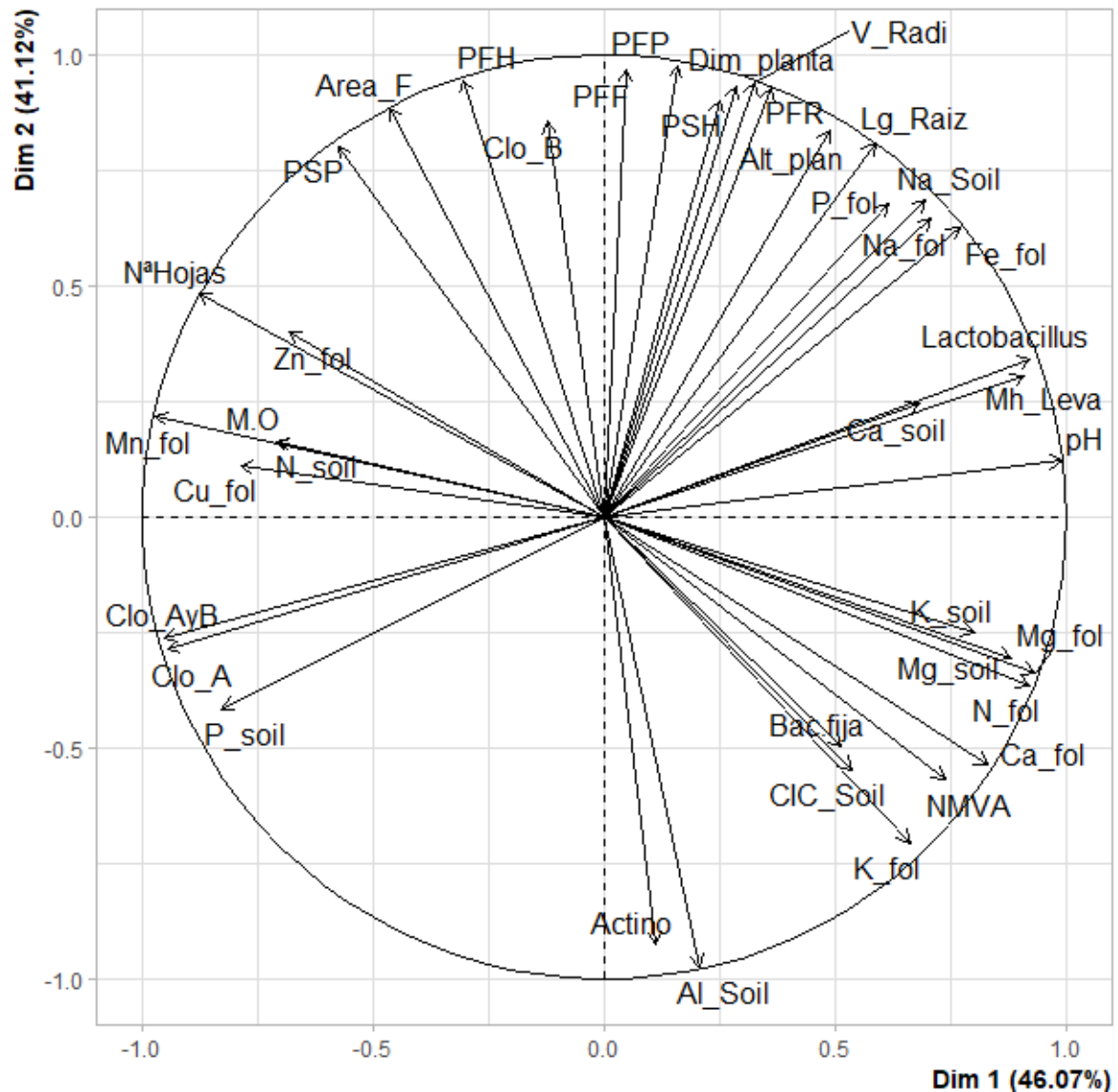
**Figura 54.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento dos

### **4.4.3. Tratamiento 3 (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)**

#### **a. Análisis de PCA**

Se observa que el eje horizontal, correspondiente a la Dimensión 1 (Dim 1), representa un 46.07 % de la información total contenida en los datos evaluados, mientras que el eje vertical, identificado como Dimensión 2 (Dim 2), explica un 41.12 % adicional. En conjunto, ambos ejes principales del análisis de componentes principales (PCA) logran capturar y condensar el 87.19 % de la variabilidad total del sistema analizado, lo que implica que más del 87 % de la información relevante puede interpretarse de manera visual y comprensible a partir de esta representación gráfica bidimensional. Esta alta capacidad de explicación permite una interpretación fiable de la relación multivariada existente entre los distintos factores edáficos, los nutrientes presentes a nivel foliar, las características morfológicas y fisiológicas de la planta, así como la influencia de ciertos grupos de microorganismos beneficiosos o limitantes (Figura 55).

En el plano factorial generado por el PCA, se evidencia que variables tales como el diámetro del tallo, el volumen radicular, el peso fresco de la raíz, la longitud de la raíz, el contenido de hierro a nivel foliar y el pH del suelo se agrupan conjuntamente en el cuadrante positivo tanto de Dim 1 como de Dim 2. Esta agrupación indica una posible sinergia o asociación positiva entre estos indicadores de nutrición y morfología vegetal, lo que sugiere que podrían actuar de forma complementaria en la promoción del desarrollo radicular y la absorción eficiente de nutrientes. Por otro lado, se observa que elementos como el magnesio del suelo, el nitrógeno foliar, el calcio foliar y el aluminio del suelo tienden a agruparse en el segundo cuadrante, mostrando una correlación particular que podría estar asociada con procesos de antagonismo o efectos limitantes en el crecimiento. Asimismo, las variables relacionadas con la clorofila, específicamente clorofila A y clorofila A+B, se agrupan en el tercer cuadrante, lo cual podría interpretarse como una respuesta fisiológica específica en condiciones determinadas. Finalmente, el cuarto cuadrante reúne variables como el contenido de manganeso foliar, el número de hojas, el área foliar total y el peso fresco de las hojas, lo que refleja una posible interacción positiva relacionada con la expansión foliar y la eficiencia fotosintética de las plantas analizadas (Figura 55).



pH : Potencial de hidrógeno  
 M.O : Materia orgánica  
 N\_soil : Nitrógeno de suelo  
 P\_soil : Fósforo de suelo  
 K\_soil : Potasio de suelo  
 Ca\_soil : Calcio de suelo  
 Mg\_soil : Magnesio de suelo  
 Na\_Soil : Sodio de suelo  
 Al\_Soil : Aluminio de suelo  
 CIC\_Soil : Capacidad de intercambio catiónico  
 NMVA : Numero de Microorganismos aeróbicos viables  
 Lactobacillus : Colonias de lactobacillus  
 Bac.fija : Bacterias Fijadoras de Nitrógeno  
 Mh\_Leva : Mohos y levaduras  
 Actino : Actinomycetos  
 N°Hojas : Número de hojas  
 Alt\_plan : Altura de la planta  
 Dim\_planta : Diámetro de planta  
 Lg\_Raiz : Longitud de la raíz  
 V\_Radi : Volumen radicular

Area\_F : Área foliar  
 PFP : Peso fresco total de la planta  
 PSP : Peso Seco total de la planta  
 PFR : Peso fresco de la raíz  
 PFF : Peso fresco del follaje  
 PFH : Peso fresco de la hoja  
 PSH : Peso seco de la hoja  
 N\_fol : Nitrógeno foliar  
 P\_fol : Fósforo foliar  
 K\_fol : Potasio foliar  
 Ca\_fol : Calcio foliar  
 Mg\_fol : Magnesio foliar  
 Na\_fol : Sodio foliar  
 Zn\_fol : Zinc foliar  
 Fe\_fol : Hierro foliar  
 Cu\_fol : Cobre foliar  
 Mn\_fol : Manganese foliar  
 Clo\_A : Clorofila A  
 Clo\_B : Clorofila B  
 Clo\_AyB : Clorofila A y B

**Figura 55.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento tres

## **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones, se observa que:

**Diámetro de la planta:** El valor se ve que tiene una correlación alta con el Volumen radicular y Peso fresco de la raíz (0.99\*\* y 0.99\*). Esto se puede analizar con estudios previos como Ferguson et al. (2021) que demuestran correlaciones elevadas entre parámetros morfológicos radicales pueden deberse al contenido de lignina o actividad microbiana rizosférica. Adicionalmente, Burroughs et al. (2023) encontraron que los mecanismos como genotipos pueden influir en el diámetro de las plantas, enfatizando perfiles transcriptómicos o ensayos de inhibición selectiva.

**Volumen radicular:** El valor de volumen radicular se ve que tiene una alta correlación con el Peso fresco de la raíz (PFR) y longitud de la raíz (1.00\*\*\* y 0.96\*). Lo que sugiere que estas variables podrían estar fisiológicamente interconectadas en el desarrollo del sistema radical. Esto coincide con lo reportado por Rojas et al. (2022), quienes demostraron que el volumen radical en maíz está directamente asociado a la biomasa fresca y la extensión de raíces laterales bajo condiciones óptimas de crecimiento. Así mismo, Bonmatí et al. (2021), quienes argumentan que, en suelos compactados, la longitud radical puede aumentar sin un incremento proporcional en el volumen, debido a estrategias de evitación mecánica.

**Longitud de la raíz:** El valor de longitud de la raíz se ve que tiene una alta correlación con el hierro foliar (Fe) (0.95\*). Lo que podría sugerir que el desarrollo del sistema radicular está estrechamente vinculado a la absorción y translocación de este micronutriente. Sin embargo, Bienfait et al. (1985) demuestran que la eficiencia en la absorción de Fe depende más de mecanismos específicos de reducción radical (como la liberación de fitosideróforos en gramíneas). Por otro lado, Schmidt et al. (2020) encontraron que, en suelos con alta disponibilidad de Fe, la longitud radical puede incluso disminuir debido a la regulación homeostática de la planta.

**pH:** El valor de potencial de hidrógeno se ve que tiene una baja correlación con la clorofila A y la clorofila A+B (-0.98\* y -0.98\*). lo que sugiere que, en las condiciones evaluadas, la acidez o alcalinidad del medio no sería un factor que favorece en la concentración de estos pigmentos fotosintéticos. Esto se contraresta con lo reportado por Zhang et al. (2018), quienes observaron que valores extremos de pH (<5.0 o >8.0) reducían significativamente la síntesis de clorofila debido a alteraciones en la disponibilidad de

micronutrientes como el hierro. Así mismo, coincide con el estudio de Tadayon (2020), que señalan que el pH del suelo (4.5–6.5) no mostró relación lineal con los niveles de clorofila, atribuyendo esto a mecanismos de homeostasis foliar.

**Magnesio de suelo:** El valor de magnesio de suelo se ve que tiene alta correlación con el Nitrógeno y Manganese foliares (0.98\* y -0.96\*). Lo que sugiere un posible efecto sinérgico en la absorción y translocación de estos nutrientes, sabiendo que la dinámica de disponibilidad de Mg en el suelo puede variar significativamente según el pH, la textura y la presencia de otros cationes competidores como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$  (White & Broadley, 2009). Sin embargo, esto se contrasta con Rengel (2015), quien reportó antagonismos entre Mg y Mn en condiciones de alta salinidad, donde el exceso de  $\text{Na}^{+}$  inhibiría la absorción de ambos micronutrientes.

**Nitrógeno foliar:** El valor de nitrógeno foliar se ve que tiene alta correlación con el Calcio foliar (0.98\*) y negativa con el Manganese foliar y Número de hojas (-0.99\* y -0.98\*). Lo que podría sugerir una sinergia en la absorción o compartimentalización de estos nutrientes, esta aparente complementariedad contrasta con Dussarrat et al. (2022), quienes argumentan que altas relaciones N/Ca en tejidos suelen inducir desbalances iónicos en dicotiledóneas. Por otro lado, las correlaciones negativas entre N foliar y manganeso plantean escenarios fisiológicos complejos, mientras la antagonismo N-Mn coincidiría con los mecanismos de exclusión competitiva (Sharma et al., 2021),

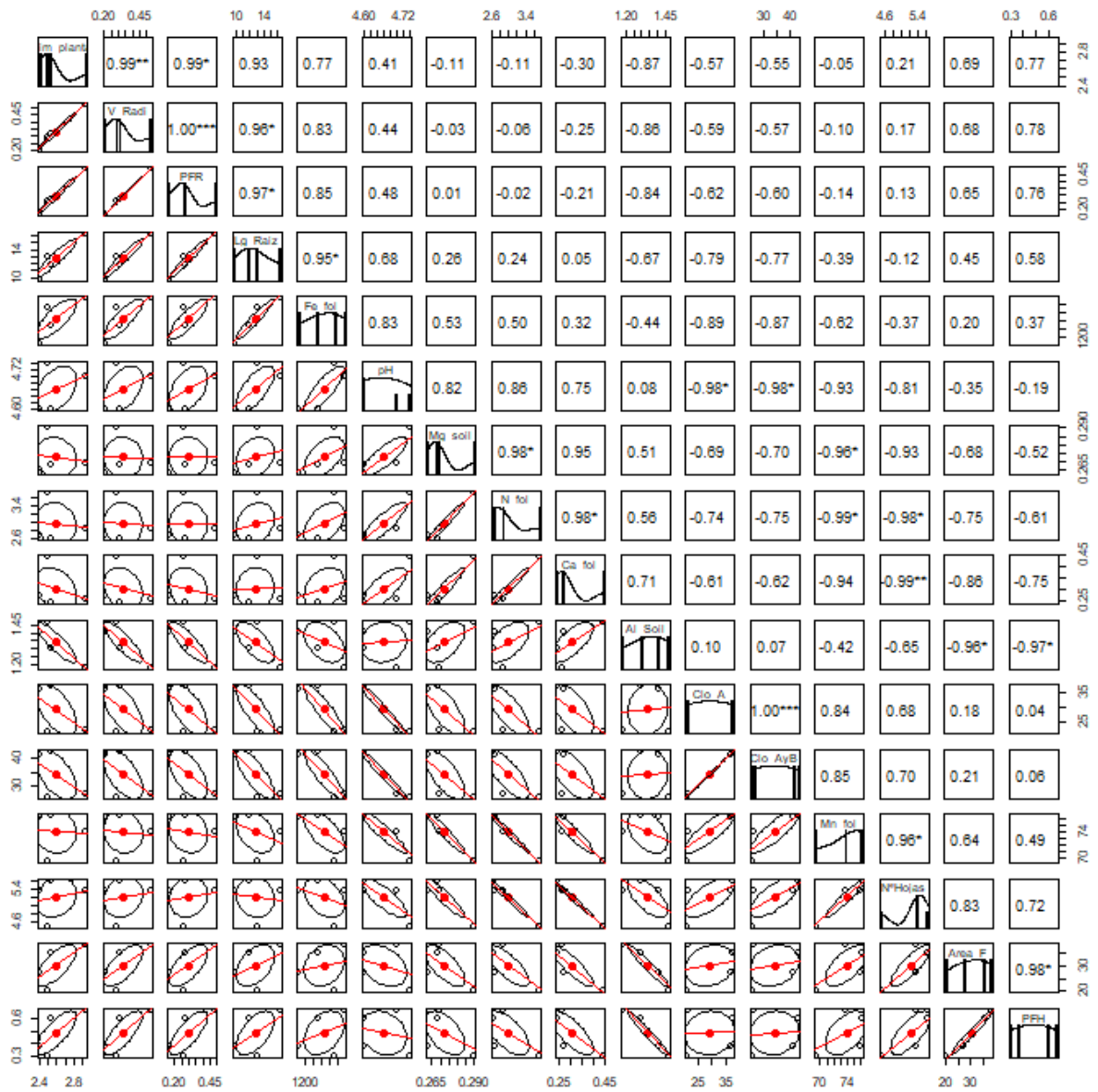
**Aluminio de suelo:** El valor de Aluminio de suelo se ve que tiene baja correlación con el Área foliar y el Peso fresco de la hoja (-0.96\* y -0.97\*) lo que sugiere un efecto fitotóxico significativo. Esto concuerda con lo reportado por Kochian et al. (2005), quienes demostraron que el  $\text{Al}^{3+}$  inhibe la elongación radicular y reduce la absorción de nutrientes, limitando así el desarrollo foliar. Sin embargo, Srivastava et al. (2018) observaron que ciertos genotipos mantienen su biomasa foliar incluso en suelos con alta saturación de Al, gracias a mecanismos de exclusión o detoxificación interna.

**Clorofila A:** El valor de Clorofila A se ve que tiene una alta correlación con la clorofila A+B (1.00\*\*). Lo que sugiere que, en las condiciones evaluadas, la clorofila A podría ser el principal determinante del contenido total de Clorofila total. Sin embargo, se han demostrado que la proporción entre clorofila A y B puede variar significativamente bajo distintos regímenes lumínicos o condiciones de estrés (Lichtenthaler & Buschmann, 2001). Por

ejemplo, en situaciones de sombreado, la clorofila B suele incrementarse para optimizar la captación de luz (J. Evans, 1987).

Manganeso foliar: El valor de manganeso foliar se ve que tiene alta correlación con el Número de hojas (0.96\*). Lo que sugiere que la disponibilidad de este nutriente podría estar favoreciendo el desarrollo foliar. Sin embargo, se demuestra que el Mn, aunque esencial para la fotosíntesis y la activación enzimática, presenta respuestas bifásicas dependiendo de su concentración. Por ejemplo, Pittman (2005) encontró que, si bien el Mn promueve el crecimiento inicial en dosis óptimas, su acumulación excesiva induce toxicidad, reduciendo la expansión foliar en especies sensibles. Esta coincide con observaciones de Fernando y Lynch (2015), quienes reportaron que la correlación positiva entre Mn y biomasa foliar solo se mantiene hasta umbrales críticos (200–500 ppm), tras los cuales aparece clorosis y necrosis.

Área foliar: El valor de área foliar se ve que tiene alta correlación con el Peso fresco de las hojas (0.98\*). Lo que sugiere una relación directa entre la expansión foliar y la acumulación de biomasa húmeda. Esto coincide con lo reportado por Poorter et al. (2012), quienes demostraron que el área foliar es un determinante clave del peso fresco en especies de rápido crecimiento, ya que una mayor superficie foliar favorece la captación de recursos y la síntesis de fotoasimilados. Sin embargo, Shipley (2006) advierte que correlaciones tan estrechas pueden variar significativamente según la ontogenia de la planta, el ambiente lumínico o el estrés hídrico. De hecho, Wright et al. (2017) encontraron que en condiciones de sequía, la relación área foliar-peso fresco puede debilitarse ( $r < 0.7$ ) debido a mecanismos de ajuste osmótico que reducen el contenido hídrico tisular sin afectar proporcionalmente el área.



- Dim\_planta : Diámetro de planta
- V\_Radi : Volumen radicular
- Mn\_fol : Manganeso foliar
- PFR : Peso fresco de la raíz
- Lg\_Raiz : Longitud de la raíz
- Fe\_fol : Hierro foliar
- pH : Potencial de hidrógeno
- Mg\_soil : Magnesio de suelo
- N\_fol : Nitrógeno foliar
- Ca\_fol : Calcio foliar
- Al\_Soil : Aluminio de suelo
- Clo\_A : Clorofila A
- Clo\_AyB : Clorofila A y B
- Mn\_fol : Manganeso foliar
- N°Hojas : Número de hojas
- Area\_F : Área foliar
- PFH : Peso fresco de la hoja

**Figura 56.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento tres

#### **4.4.4. Tratamiento 4 (Suelo Playa)**

##### **a. Análisis de PCA**

Se observa que el eje horizontal correspondiente a la Dimensión 1 (Dim 1) representa un 48.66 % de la información total contenida en el conjunto de datos analizados, mientras que el eje vertical, correspondiente a la Dimensión 2 (Dim 2), explica un 28.40 % adicional. En conjunto, ambos componentes principales logran capturar un 77.06 % de la variabilidad total, lo cual es un valor considerablemente alto y significa que más del 77 % de la estructura de los datos puede ser interpretada únicamente a partir de esta proyección bidimensional. Este nivel de explicación permite una visualización clara, directa y bastante informativa de las posibles asociaciones y agrupaciones entre las variables evaluadas, facilitando la interpretación de relaciones complejas entre los diferentes factores edáficos, los nutrientes foliares, las características morfofisiológicas de las plantas, así como la presencia relativa de ciertos grupos de microorganismos asociados al sistema (Figura 57).

Durante el análisis de Componentes Principales (PCA), se observó que algunas variables tienden a agruparse en función de sus similitudes o asociaciones estadísticas. Por ejemplo, el calcio presente en el suelo se ubicó en el primer cuadrante (positivo para Dim 1 y Dim 2), lo que sugiere una fuerte sinergia con otras variables asociadas al crecimiento vegetal y al buen desempeño fisiológico de las plantas. En contraste, el magnesio del suelo mostró una distribución hacia el segundo cuadrante, lo cual podría implicar una relación distinta, posiblemente condicionada por otras variables del entorno. Por otro lado, parámetros como el peso seco de la planta y el peso fresco del follaje se agrupan con una alta correlación en el tercer cuadrante, indicando su asociación directa con determinadas condiciones edáficas o prácticas de manejo. Finalmente, variables como el nitrógeno foliar, el hierro foliar y el peso seco de la hoja se encuentran estrechamente relacionadas en el cuarto cuadrante, lo que podría evidenciar una interacción conjunta entre estos elementos en el metabolismo y la estructura foliar de las plantas evaluadas (Figura 57).



### **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones (Figura 58), se observa que:

**Cobre foliar:** El valor de cobre foliar se ve que tiene una correlación negativa alta con el Peso seco de la planta (-1.00\*\*). Este resultado contrasta con Yruela (2009), quien reporta que el cobre, en concentraciones óptimas (5–30 ppm), actúa como cofactor esencial en enzimas fotosintéticas sin afectar negativamente el crecimiento. Así mismo, esto concuerda con Adrees et al. (2015), quienes demostraron que concentraciones superiores a 50 ppm de Cu en tejidos foliares inhiben la división celular y reducen la biomasa en cultivos debido a estrés oxidativo y daño a membranas celulares.

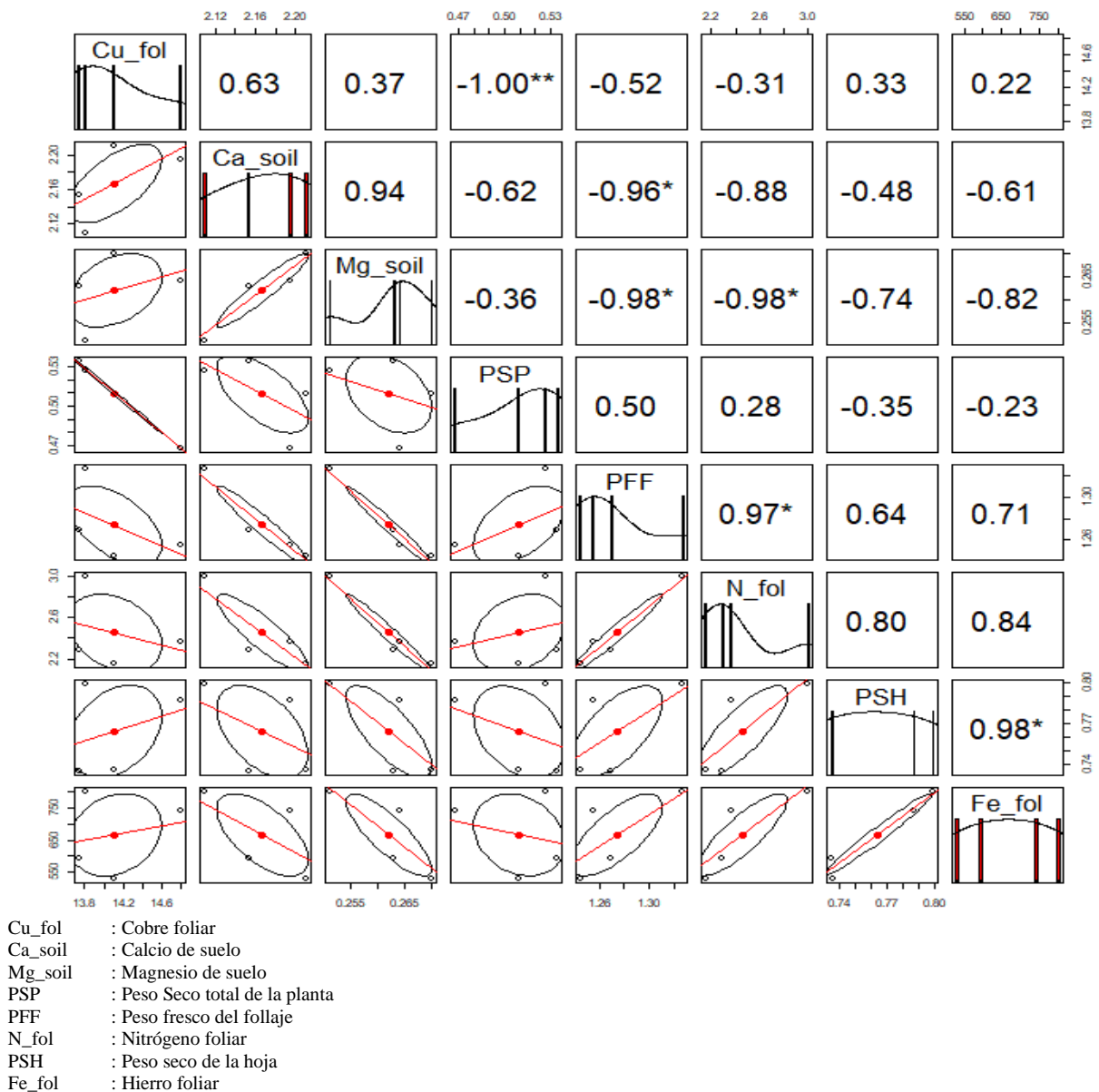
**Calcio de suelo:** El valor de calcio del suelo se ve que tiene una correlación alta negativa con el Peso fresco del follaje (-0.96\*). Lo que sugiere una relación inversa que contradice lo reportado en la literatura para la mayoría de los cultivos. Mientras White y Broadley (2003) destacan el rol del Ca como regulador positivo de la turgencia celular y, por ende, del crecimiento foliar, nuestros resultados podrían explicarse por un exceso de Ca en el suelo que induce desbalances iónicos. Esto concuerda con Mazza et al. (2021), que en suelos calcáreos, donde altas concentraciones de Ca intercambiable compiten con la absorción de K y Mg, limitando la expansión celular.

**Magnesio de suelo:** El valor de magnesio del suelo se ve que tiene una correlación alta negativa con el Peso fresco del follaje y Nitrógeno foliar (-0.98\* y -0.98\*). Lo que sugiere que altos niveles de Mg en el suelo podrían estar asociados con una reducción en la biomasa vegetal y el contenido de N en tejidos. Esta relación contradictoria, pues el Mg es un nutriente esencial para la fotosíntesis y la activación enzimática y podría explicarse por un desbalance en la disponibilidad de otros cationes como el Ca o K (White & Broadley, 2009). Sin embargo, Gransee y Führs (2013), quienes observaron que el Mg mejora la eficiencia del uso de N en plantas bajo condiciones controladas, sugiriendo que la correlación negativa.

**Peso fresco del follaje:** El valor de peso fresco del follaje se ve que tiene una correlación alta positiva con el Nitrógeno foliar (0.97\*). Lo que sugiere que la disponibilidad de nitrógeno podría ser un factor determinante en la acumulación de biomasa vegetal. Esto concuerda con Marschner (2012), quien destaca el papel fundamental del nitrógeno en la síntesis de aminoácidos y, en consecuencia, en el desarrollo de tejidos foliares. Sin embargo, Zhou y Von (2020), señalan que estas correlaciones pueden estar sobredimensionadas en condiciones controladas, ya que en ambientes

naturales otros factores como la disponibilidad hídrica o la presencia de micorrizas pueden modular esta relación.

**Peso seco de la hoja:** El valor de peso seco de la hoja se ve que tiene una correlación alta positiva con el Hierro foliar (0.98\*). Lo que sugiere una relación estrecha entre la acumulación de biomasa y la disponibilidad de este micronutriente, posiblemente vinculada a su papel en la síntesis de clorofila y la actividad enzimática (Marschner, 2012). Sin embargo, Valentine et al. (2017) demuestran que, en condiciones de estrés por sequía, el hierro puede acumularse en tejidos sin mejorar significativamente el peso seco, debido a limitaciones en su transporte o utilización metabólica.



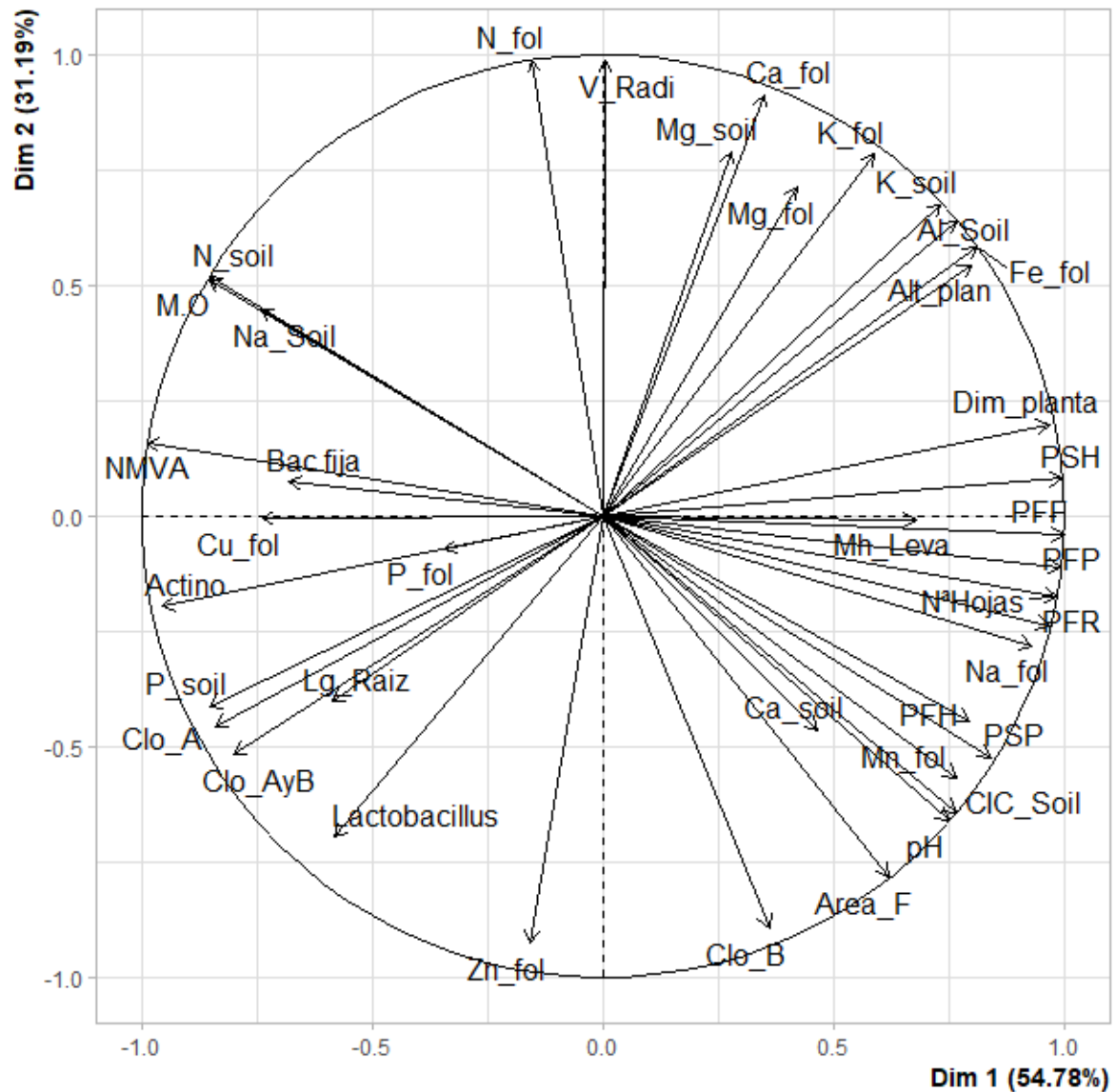
**Figura 58.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento cuatro

#### **4.4.5. Tratamiento 5 (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)**

##### **a. Análisis de PCA**

Se observa que el eje horizontal, correspondiente a la Dimensión 1 (Dim 1), representa el 54.78 % de la información total contenida en el conjunto de datos analizados, mientras que el eje vertical, correspondiente a la Dimensión 2 (Dim 2), explica el 31.19 % adicional. En conjunto, ambos componentes principales logran capturar un acumulado del 85.97 % de la variabilidad total presente en las variables estudiadas, lo cual indica que más del 85 % de la información original puede ser interpretada y visualizada a través de este gráfico bidimensional, lo que refuerza su utilidad para comprender la estructura de los datos. Esta representación gráfica permite analizar de manera clara, sintética y visualmente accesible las relaciones existentes entre múltiples factores agrobiológicos, tales como las propiedades físico-químicas del suelo, los niveles de nutrientes foliares, las características morfológicas de la planta y la presencia de microorganismos benéficos o indicadores del suelo (Figura 59).

En el análisis de Componentes Principales (PCA), se identificó que variables como el contenido de Potasio en el suelo, la concentración de Aluminio en el suelo, los niveles de Hierro en tejido foliar, el diámetro del tallo de la planta y el peso seco de las hojas, se agrupan predominantemente en el primer cuadrante, correspondiente a las regiones positivas de Dim 1 y Dim 2. Esta agrupación sugiere una posible asociación sinérgica entre estos nutrientes y parámetros morfológicos, lo que podría indicar que influyen conjuntamente en el desarrollo estructural del cultivo. En contraste, variables como el peso fresco total de la planta, el peso fresco del follaje, el peso fresco de la raíz, el peso seco total de la planta, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y el pH del suelo, se localizan agrupadas en el segundo cuadrante, lo que indica una correlación interna entre ellas, posiblemente relacionada con la capacidad del suelo para sostener biomasa vegetal. Asimismo, en el cuarto cuadrante se observa una asociación entre el número de microorganismos aeróbicos viables, el contenido de materia orgánica y los niveles de nitrógeno en el suelo, lo que podría reflejar la interacción entre la actividad microbiana y la fertilidad del suelo en términos de reciclaje de nutrientes y disponibilidad nitrogenada (Figura 59).



pH	: Potencial de hidrógeno	Area_F	: Área foliar
M.O	: Materia orgánica	PFF	: Peso fresco total de la planta
N_soil	: Nitrógeno de suelo	PSP	: Peso Seco total de la planta
P_soil	: Fósforo de suelo	PFR	: Peso fresco de la raíz
K_soil	: Potasio de suelo	PFH	: Peso fresco de la hoja
Ca_soil	: Calcio de suelo	PSH	: Peso seco de la hoja
Mg_soil	: Magnesio de suelo	N_fol	: Nitrógeno foliar
Na_Soil	: Sodio de suelo	P_fol	: Fósforo foliar
Al_Soil	: Aluminio de suelo	K_fol	: Potasio foliar
CIC_Soil	: Capacidad de intercambio catiónico	Ca_fol	: Calcio foliar
NMVA	: Numero de Microorganismos aeróbicos viables	Mg_fol	: Magnesio foliar
Lactobacillus	: Colonias de lactobacillus	Na_fol	: Sodio foliar
Bac.fija	: Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Zn_fol	: Zinc foliar
Mh_Leva	: Mohos y levaduras	Fe_fol	: Hierro foliar
Actino	: Actinomycetos	Cu_fol	: Cobre foliar
NºHojas	: Número de hojas	Mn_fol	: Manganeso foliar
Alt_plan	: Altura de la planta	Clo_A	: Clorofila A
Dim_planta	: Diámetro de planta	Clo_B	: Clorofila B
Lg_Raiz	: Longitud de la raíz	Clo_AyB	: Clorofila A y B
V_Radi	: Volumen radicular		

**Figura 59.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento cinco

### **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones (Figura 60), se observa que:

**Potasio de suelo:** El valor de Potasio de suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con el Aluminio del suelo y Hierro foliar (0.99\* y 0.98\*). lo que sugiere una posible sinergia inesperada entre estos elementos. Similar a lo reportado por Van et al. (2020), quienes encontraron que altos niveles de Al en suelos ácidos suelen inhibir la disponibilidad de  $K^+$  debido a la competencia por sitios de intercambio catiónico. Por otro lado, la correlación con Fe podría explicarse con lo mencionado por Conte y Walker (2011), quienes mencionan que las plantas bajo estrés por aluminio activan mecanismos de absorción mejorada de micronutrientes como hierro, aunque esto no necesariamente implica un beneficio fisiológico

**Aluminio de suelo:** El valor de Aluminio de suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con el Hierro foliar (1.00\*\*). lo que sugiere una posible sinergia en la absorción de estos elementos bajo las condiciones estudiadas. Sin embargo, esta aparente relación contrasta con lo reportado por Kochian et al. (2005), quienes demostraron que altas concentraciones de aluminio en suelos ácidos generalmente inducen toxicidad radicular, limitando la absorción de nutrientes como el hierro debido a la inhibición del crecimiento de raíces. Una posible explicación para esta discrepancia podría radicar en diferencias en el pH del suelo o en la presencia de quelantes orgánicos que modifiquen la disponibilidad de ambos metales, (Poschenrieder et al., 2008).

**Diámetro de la planta:** El valor de Diámetro de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el Peso seco de las hojas (0.97\*), lo que sugiere una estrecha relación entre el crecimiento vegetativo y la acumulación de biomasa, vinculada a una mayor capacidad fotosintética en plantas (Tabla 25). Según Hung et al. (2023), mencionan que esto podrían reflejar su respuestas paralelas como la disponibilidad de nutrientes o condiciones ambientales óptimas.

**Peso seco de la hoja:** El valor de peso seco de la hoja se ve que tiene una correlación positiva alta con el Peso fresco de la planta y Número de hojas (0.98\* y 0.96\*) y una correlación negativa alta con el número de microorganismos aeróbicos viables (-0.97\*), lo que sugiere una relación directa entre el crecimiento vegetativo y la biomasa acumulada en suelos francos. Este patrón coincide con lo reportado por Poorter et al. (2012) en estudios alométricos, donde el diámetro del tallo se asocia significativamente con la expansión foliar y la asignación de

recursos en etapas tempranas de desarrollo. Sin embargo, la alta correlación negativa con microorganismos aeróbicos viables (-0.97\*) contradice hallazgos como los de Berg et al. (2014), quienes proponen que la rizosfera en suelos francos generalmente estimula la actividad microbiana beneficiosa.

**Peso fresco de la planta:** El valor de peso fresco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el número de hojas (1.00\*\*) y una correlación negativa alta con el número de microorganismos aeróbicos viables (-1.00\*\*) lo que sugiere una relación directa entre la biomasa vegetal y la capacidad fotosintética. Esto coincide con Poorter et al., (2012), quienes demostraron que el aumento en el número de hojas está directamente vinculado a una mayor acumulación de biomasa en condiciones de suelo óptimas. Sin embargo, la correlación negativa perfecta (-1.00) con microorganismos aeróbicos viables resulta controvertida, ya que estudios como los de Berg et al. (2014) indican que, en suelos francos, la actividad microbiana suele favorecer la disponibilidad de nutrientes y, por ende, el crecimiento vegetal. Esta aparente contradicción podría deberse a un exceso de microorganismos competidores por recursos, tal como observaron Jizhong et al. (2010) en suelos con desequilibrios en la relación carbono-nitrógeno, donde una alta densidad microbiana redujo la eficiencia en la absorción de nutrientes.

**Número de hojas:** El valor de número de hojas se ve que tiene una correlación negativa alta con el número de microorganismos aeróbicos viables (-1.00\*\*), lo que sugiere una posible relación inversa entre el desarrollo foliar y la actividad microbiana en este tipo de suelo. Sin embargo, Nannipieri et al. (2003) encontraron que, en suelos franco-arcillosos, una mayor cobertura foliar puede generar mayor deposición de materia orgánica, favoreciendo el crecimiento microbiano a largo plazo ( $r = 0.72$ ,  $p < 0.05$ ), lo que contradice parcialmente nuestros hallazgos. Por otro lado, Steinauer et al. (2023) demostraron que ciertas comunidades microbianas específicas (ej., Actinobacterias) pueden inhibirse temporalmente por exudados radicales en plantas con rápido crecimiento foliar, lo que coincidiría con nuestros resultados.

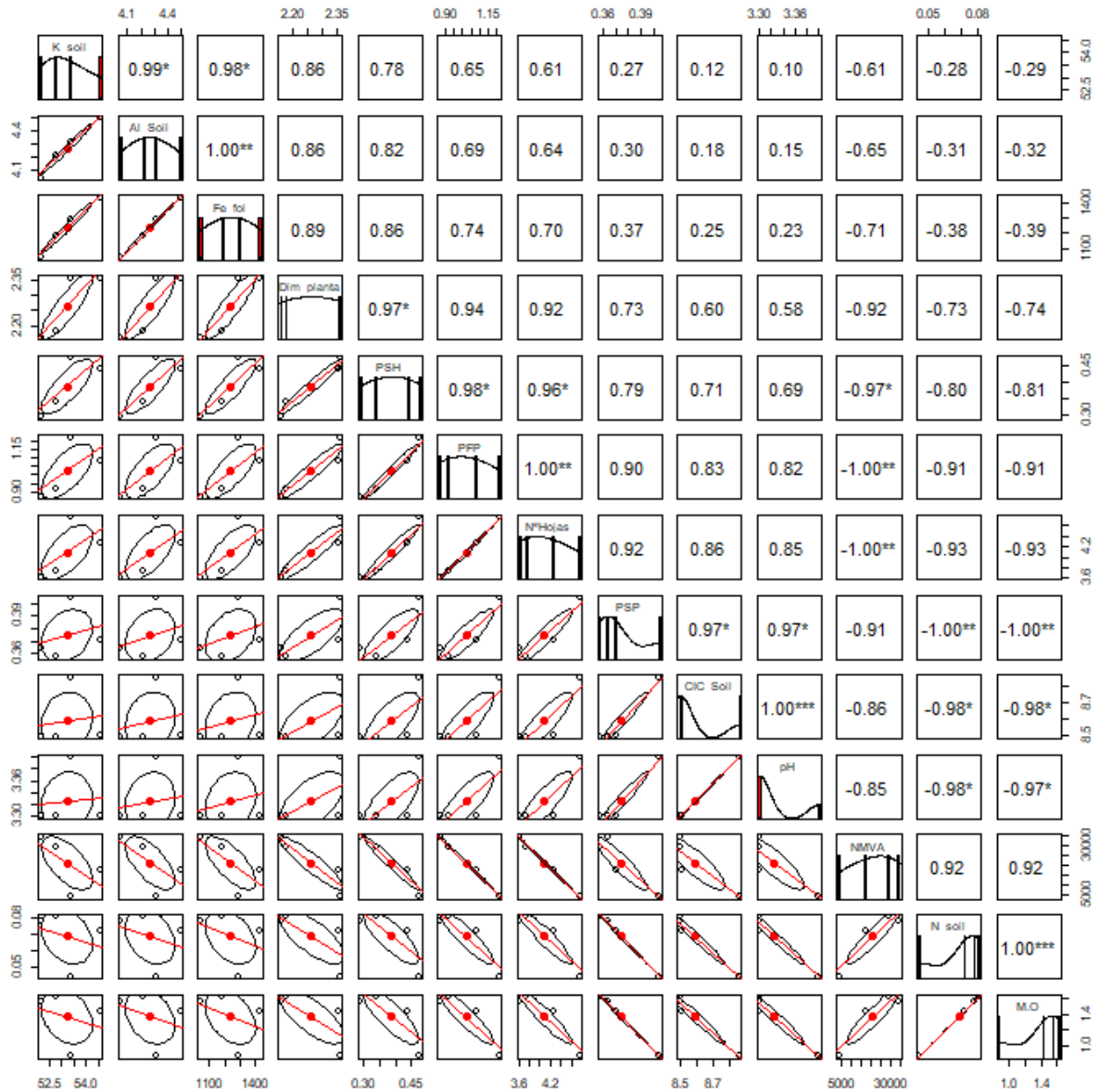
**Peso seco de la planta:** El valor de peso seco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el CIC del suelo y pH (0.97\* y 0.97\*) y una correlación negativa alta con el nitrógeno de suelo y Materia orgánica (-1.00\*\* y -1.00\*\*), lo que sugiere que suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico y pH más alto favorecen la acumulación de biomasa. Sin embargo, la correlación negativa perfecta con nitrógeno del suelo y materia orgánica ( $r = -1.00$ \*\*) resulta contradictoria a primera vista, ya que estos parámetros suelen asociarse con

una mejor fertilidad edáfica (Van Groenigen et al., 2015). Esta discrepancia podría explicarse por un exceso de nitrógeno disponible que, en suelos francos con alta retención de humedad, induce desbalances nutricionales y estrés osmótico (Mehdiniyaafra et al., 2020).

CIC del suelo: El valor de CIC del suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con el pH (1.00\*\*\*) y una correlación negativa alta con el nitrógeno de suelo y Materia orgánica (-0.98\* y -0.98\*), lo que sugiere una fuerte dependencia de la capacidad de intercambio catiónico con la alcalinidad del suelo. Esto concuerda con Sposito (2008), quien destaca que, en suelos minerales, el aumento de pH favorece la disociación de grupos funcionales en arcillas y materia orgánica, incrementando así la CIC. Sin embargo, las fuertes correlaciones negativas observadas entre la CIC y el nitrógeno del suelo (-0.98\*) así como con la materia orgánica (-0.98\*) contradicen parcialmente lo propuesto por Brady y Weil (2016), quienes sostienen que la materia orgánica es uno de los principales contribuyentes a la CIC, especialmente en suelos francos.

pH: El valor de pH del suelo se ve que tiene una correlación negativa con el Nitrógeno de suelo y Materia orgánica (-0.98\* y -0.97\*), lo que sugiere que condiciones ácidas podrían favorecer la acumulación de estos componentes. Esto se contradice con Brady y Weil (2016), quienes reportan que suelos ácidos (pH <5.5) típicamente presentan menor disponibilidad de nitrógeno debido a la inhibición de la actividad microbiana nitrificante.

Nitrógeno de suelo: El valor de nitrógeno de suelo se ve que tiene una correlación positiva con la Materia orgánica (1.00\*), lo que sugiere una estrecha dependencia de las reservas de nitrógeno con el contenido de carbono orgánico en este tipo de textura. Esto se según Tiemann y Grandy (2015) en suelos francos reporta que la mineralización del N orgánico puede verse limitada por la calidad molecular de la MO y una existente base fisicoquímica que explica la asociación entre estas moléculas.



K\_soil : Potasio de suelo  
 Al\_Soil : Aluminio de suelo  
 Fe\_fol : Hierro foliar  
 Dim\_planta : Diámetro de planta  
 PSH : Peso seco de la hoja  
 PFP : Peso fresco total de la planta  
 N°Hojas : Número de hojas  
 PSP : Peso Seco total de la planta  
 CIC\_Soil : Capacidad de intercambio catiónico  
 pH : Potencial de hidrógeno  
 NMVA : Numero de Microorganismos aeróbicos viables  
 N\_soil : Nitrógeno de suelo  
 M.O : Materia orgánica

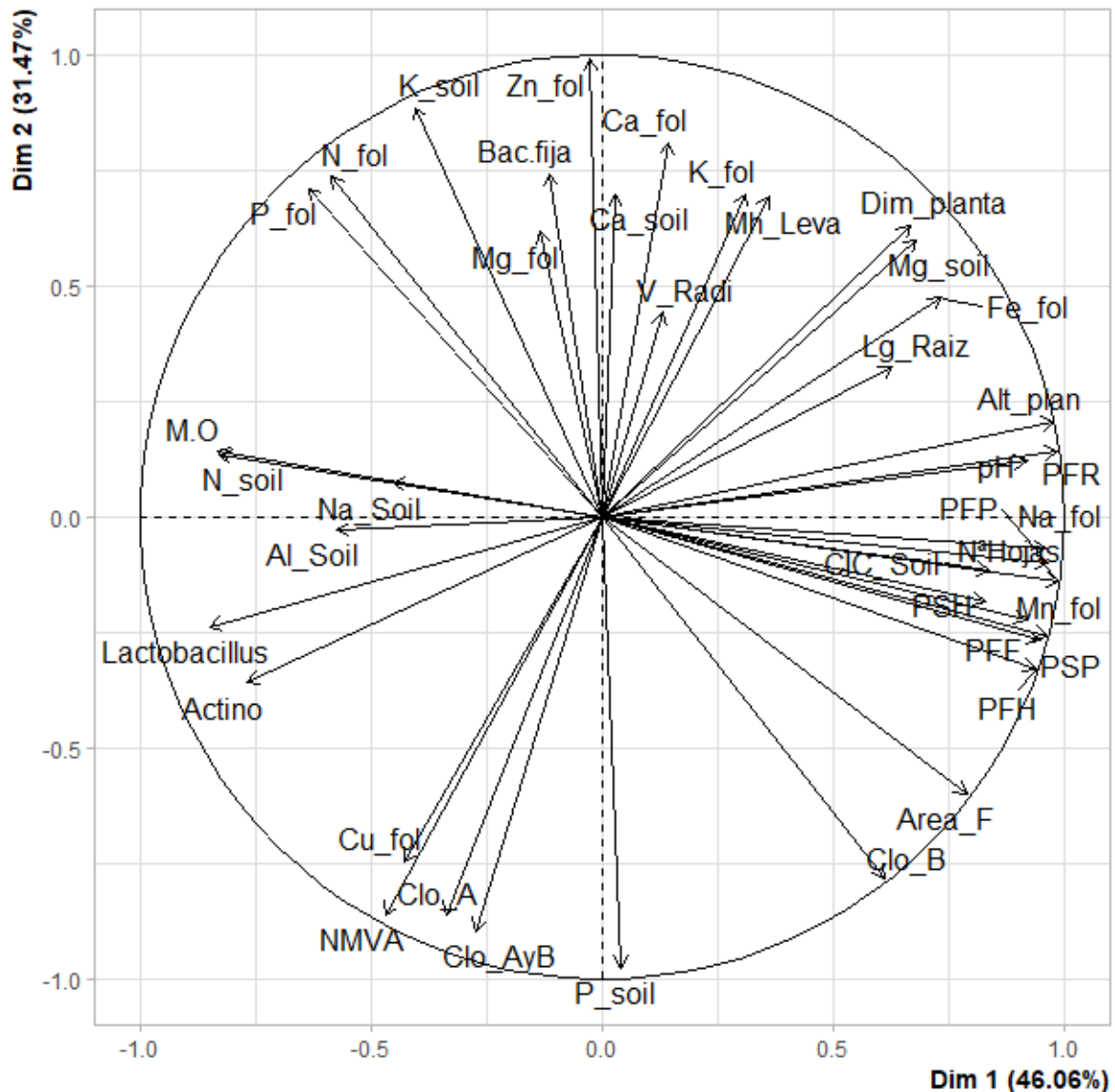
**Figura 60.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento cinco

#### **4.4.6. Tratamiento 6 (Suelo de montaña)**

##### **a. Análisis de PCA**

Se puede observar que el eje horizontal, correspondiente al primer componente principal (Dim 1), representa el 46.06 % de la información total contenida en el conjunto de datos analizados. Por su parte, el eje vertical (Dim 2), que representa el segundo componente principal, explica el 31.47 % de dicha información. En conjunto, ambos componentes principales logran capturar un 77.53 % de la variabilidad total, lo cual indica que más del 77 % del comportamiento de las variables estudiadas puede ser comprendido y analizado únicamente con la ayuda de este gráfico bidimensional. Esta alta proporción sugiere que la reducción de dimensiones realizada mediante el análisis de componentes principales (PCA) ha sido eficiente, permitiendo visualizar de forma clara y comprensible las relaciones existentes entre los diferentes factores evaluados, tales como las propiedades del suelo, los niveles de nutrientes foliares, las características morfológicas de la planta y la presencia de determinados grupos microbianos (Figura 61).

Durante este análisis multivariado, se identificó que variables como Altura de la planta, Peso fresco de la raíz y Número de hojas tienden a agruparse en el primer cuadrante (positivo en ambos ejes Dim 1 y Dim 2), lo que sugiere una posible sinergia o asociación positiva entre estas variables y ciertos nutrientes foliares, reflejando un vínculo directo con el crecimiento vegetativo saludable de las plantas. En contraste, otras variables como el Peso fresco del follaje, Peso seco de la planta, Peso fresco de la hoja, Área foliar y Clorofila B se agrupan predominantemente en el segundo cuadrante, evidenciando otro patrón de correlación que podría estar influenciado por diferentes mecanismos fisiológicos. Finalmente, se observa que el Zinc foliar se posiciona de manera aislada en el cuadrante cuatro, indicando una relación particular que podría estar actuando de forma independiente o tener un comportamiento opuesto a las variables del primer grupo (Figura 61).



pH	: Potencial de hidrógeno	Area_F	: Área foliar
M.O	: Materia orgánica	PFP	: Peso fresco total de la planta
N_soil	: Nitrógeno de suelo	PSP	: Peso Seco total de la planta
P_soil	: Fósforo de suelo	PFR	: Peso fresco de la raíz
K_soil	: Potasio de suelo	PFF	: Peso fresco del follaje
Ca_soil	: Calcio de suelo	PFH	: Peso fresco de la hoja
Mg_soil	: Magnesio de suelo	PSH	: Peso seco de la hoja
Na_Soil	: Sodio de suelo	N_fol	: Nitrógeno foliar
Al_Soil	: Aluminio de suelo	P_fol	: Fósforo foliar
CIC_Soil	: Capacidad de intercambio catiónico	K_fol	: Potasio foliar
NMVA	: Numero de Microorganismos aeróbicos viables	Ca_fol	: Calcio foliar
Lactobacillus	: Colonias de lactobacillus	Mg_fol	: Magnesio foliar
Bac.fija	: Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Na_fol	: Sodio foliar
Mh_Leva	: Mohos y levaduras	Zn_fol	: Zinc foliar
Actino	: Actinomycetos	Fe_fol	: Hierro foliar
NºHojas	: Número de hojas	Cu_fol	: Cobre foliar
Alt_plan	: Altura de la planta	Mn_fol	: Manganese foliar
Dim_planta	: Diámetro de planta	Clo_A	: Clorofila A
Lg_Raiz	: Longitud de la raíz	Clo_B	: Clorofila B
V_Radi	: Volumen radicular	Clo_AyB	: Clorofila A y B

**Figura 61.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento seis

### **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones (Figura 62), se observa que:

**Altura de la planta:** El valor de altura de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el Peso fresco de la raíz (0.99\*\*). Lo que sugiere una estrecha relación entre el crecimiento y el desarrollo radicular. Esto coincide con Poorter et al. (2012), quienes demostraron que, en condiciones óptimas, la asignación de fotoasimilados sigue un patrón coordinado entre órganos, favoreciendo tanto el crecimiento vertical como la expansión del sistema radical. Sin embargo, Lynch (2019) argumenta que, bajo estrés hídrico o nutricional, la planta prioriza el desarrollo radicular en detrimento del crecimiento en altura.

**Peso fresco de la raíz:** El valor de peso fresco de la raíz se ve que tiene una correlación positiva alta con el número de hojas (0.96\*). Esto concuerda con lo reportado por Vandoorn et al. (2011), quienes demostraron que una mayor biomasa radical favorece la absorción de nutrientes y agua, promoviendo así la formación de nuevos órganos aéreos. Sin embargo, Wei et al. (2014) plantean que factores como la eficiencia fotosintética y la partición de asimilados pueden mediar esta correlación, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico.

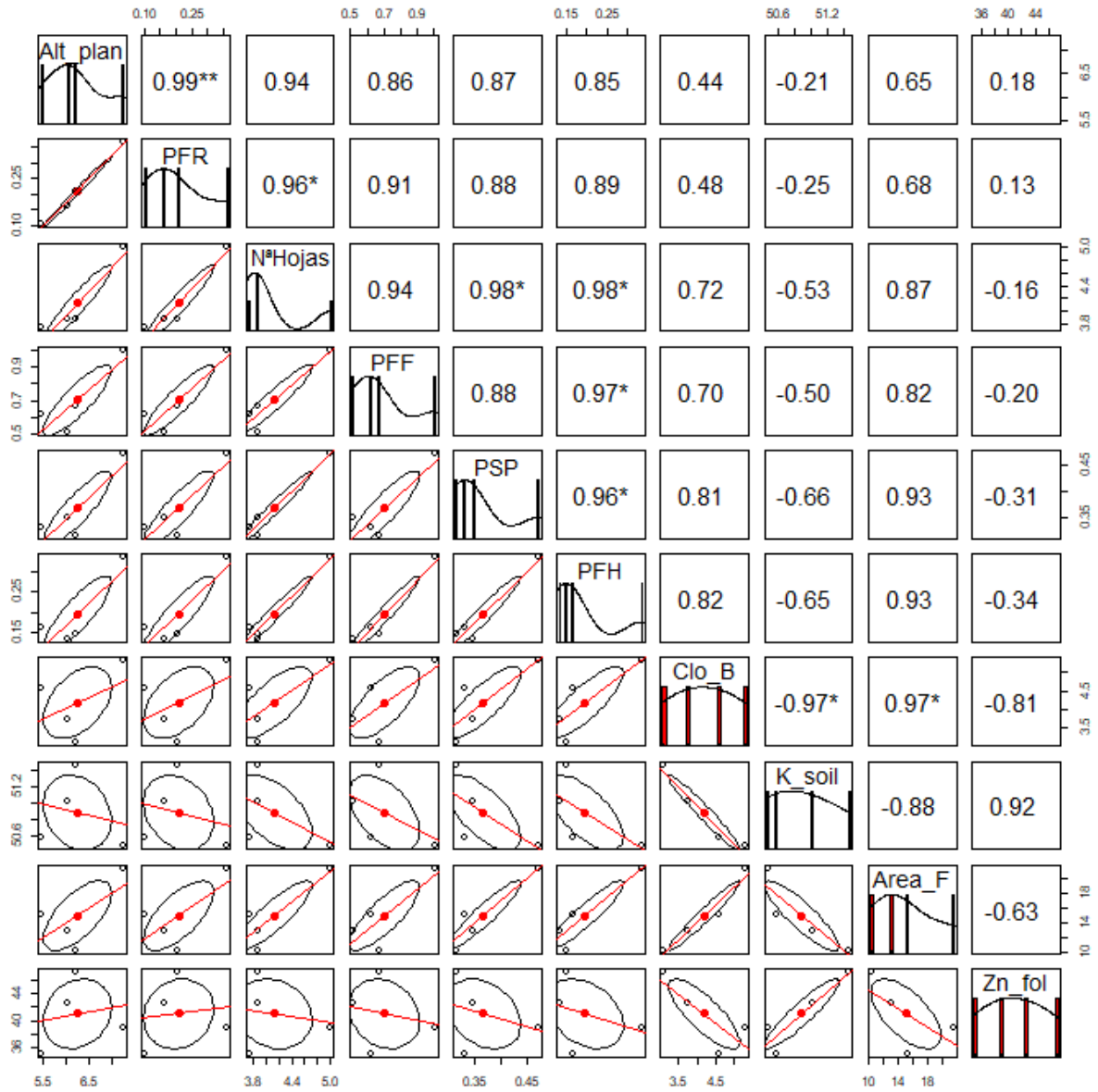
**Número de hojas:** El valor de número de hojas se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso seco de la planta y peso fresco de las hojas (0.98\* y 0.98\*). Lo que sugiere que la producción de nuevas hojas está estrechamente vinculada al crecimiento vegetativo en esta especie. Esto coinciden con Poorter et al. (2012) en su estudio de alometría vegetal, donde demuestran que el número de hojas es un predictor confiable de la productividad en etapas juveniles de angiospermas. Sin embargo, Shipley (2006), advierte que pueden reflejar efectos de escala más que relaciones funcionales, especialmente cuando se miden variables interdependientes área foliar total y biomasa.

**Peso fresco del follaje:** El valor de peso fresco del follaje se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso fresco de la hoja (0.97\*). Lo que sugiere una estrecha relación entre estas variables morfométricas. Esto coincide con Vuosku et al. (2018) que, aunque existe una relación general entre ambas variables en plantas jóvenes, esta se debilita en etapas de senescencia debido a cambios en la distribución de biomasa. Además, Huan et al. (2020) argumentan que correlaciones en parámetros de crecimiento foliar suelen reflejar metodologías de muestreo no estandarizadas, como la inclusión exclusiva de hojas completamente expandidas sin considerar su posición en el tallo..

Peso seco de la planta: El valor de peso seco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso fresco de la hoja (0.96\*). Lo que sugiere una relación directa entre la biomasa acumulada y la turgencia tisular. Sin embargo, Poorter et al. (2012) demuestran que correlaciones elevadas entre estas variables pueden estar influenciadas por factores ontogénicos no controlados, como la edad fisiológica de las hojas o el contenido relativo de agua.

Clorofila B: El valor de clorofila B se ve que tiene una correlación negativa alta con el Potasio de suelo (-0.97\*) y una correlación positiva alta con el área foliar (0.97\*). Esto sugiere que altos niveles de potasio en el suelo podrían estar inhibiendo la síntesis de clorofila B, posiblemente debido a un desbalance en la absorción de otros cationes como magnesio, elemento central en la estructura molecular de los pigmentos fotosintéticos (Vallejo & Barrett, 2009). Sin embargo, Romero et al. (2020), quienes reportaron que el potasio favorece indirectamente la producción de clorofila al mejorar la eficiencia del transporte electrónico en condiciones de estrés lumínico.

Peso seco de la planta: El valor de número de hojas se ve que tiene una correlación positiva alta con el CIC del suelo y pH (0.97\* y 0.97\*) y una correlación negativa alta con el nitrógeno de suelo y Materia orgánica (-1.00\*\* y -1.00\*\*). Lo que sugeriría que la disponibilidad de sitios de intercambio catiónico y condiciones menos ácidas favorecerían el desarrollo foliar. Sin embargo, con lo reportado por Niki y Kuwatsuka (1976) en suelos tropicales, donde demostraron que valores extremadamente altos de CIC (>25 cmol+/kg) pueden limitar la disponibilidad de micronutrientes. Además, la correlación negativa perfecta ( $r = -1.00^{**}$ ) con nitrógeno del suelo y materia orgánica, resultado que contradice múltiples estudios como el de Fan et al. (2020), quienes encontraron que niveles moderados de materia orgánica (2-4%) incrementan significativamente el área foliar en cultivos anuales. Esto podría deberse a: 1) un efecto de dilución por mayor biomasa total, 2) condiciones de saturación hídrica que inducen pérdida de N por lixiviación, o 3) artefactos metodológicos en la cuantificación de la materia orgánica, como señala Zhao et al. (2019) que esto sucede en suelos con alto contenido de arcillas.



Alt\_plan : Altura de la planta  
 PFR : Peso fresco de la raíz  
 N°Hojas : Número de hojas  
 PFF : Peso fresco del follaje  
 PSP : Peso Seco total de la planta  
 PFH : Peso fresco de la hoja  
 Clo\_B : Clorofila B  
 K\_soil : Potasio de suelo  
 Area\_F : Área foliar  
 Zn\_fol : Zinc foliar

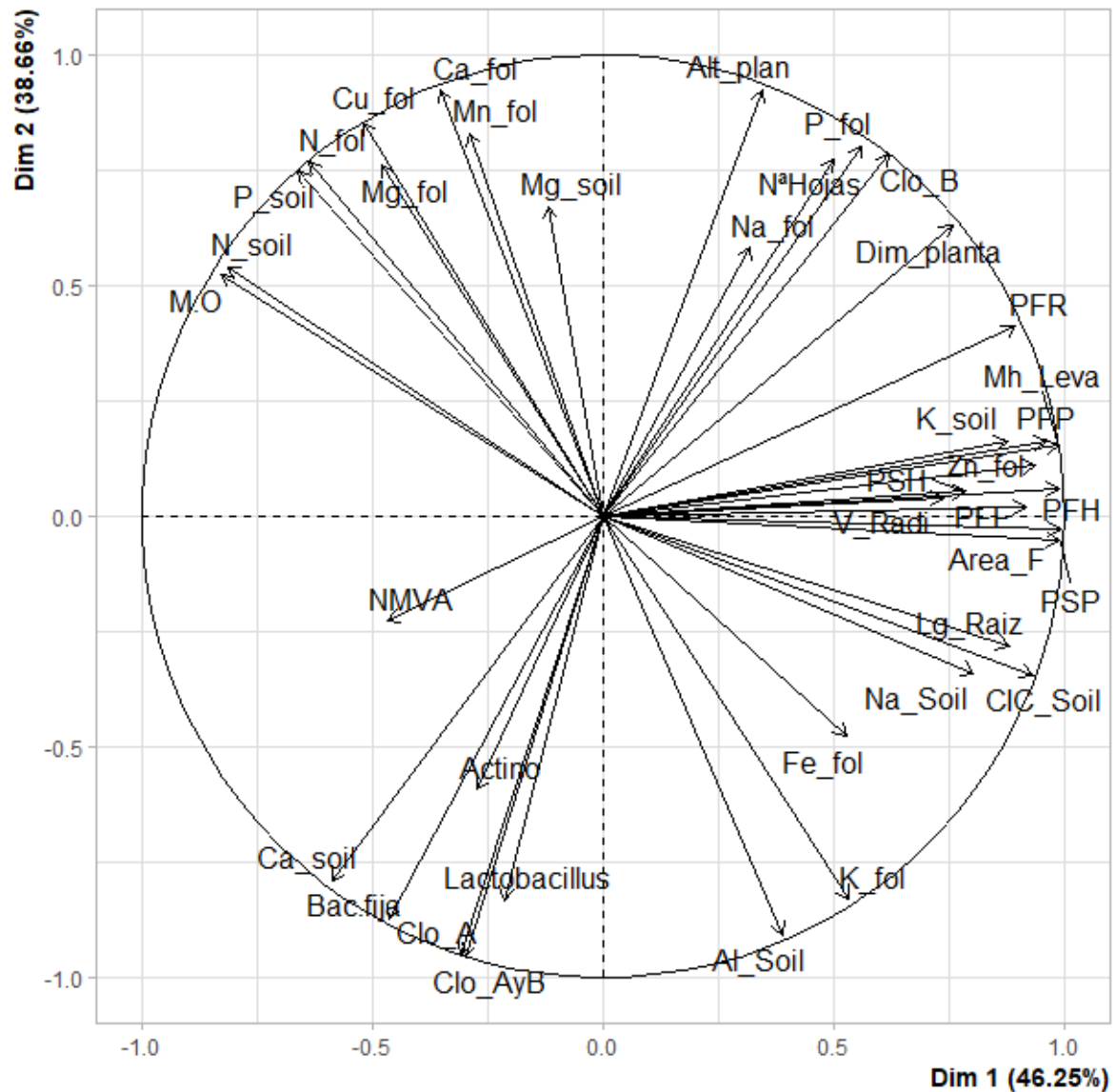
**Figura 62.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento seis

#### 4.4.7. Tratamiento 7 (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

##### a. Análisis de PCA

Se observa que el eje horizontal, correspondiente a la Dimensión 1 (Dim 1), representa el 46.25 % de la información total del sistema, mientras que el eje vertical, identificado como Dimensión 2 (Dim 2), explica un 38.66 % adicional de dicha información. En conjunto, ambos componentes principales logran capturar un total acumulado del 84.71 % de la variabilidad presente en los datos analizados, lo que implica que más del 84 % de la información contenida en las variables evaluadas puede ser interpretada y comprendida visualmente a través de este gráfico bidimensional. Esta representación gráfica, basada en un Análisis de Componentes Principales (PCA), constituye una herramienta eficaz para facilitar la identificación de patrones, agrupamientos y correlaciones entre las distintas variables del estudio. Asimismo, permite observar de manera clara y estructurada las interrelaciones existentes entre los factores del suelo, los nutrientes foliares, las características morfológicas de la planta y la presencia de microorganismos beneficiosos o perjudiciales en el sistema (Figura 63).

En cuanto a la distribución de las variables dentro del espacio factorial, se destaca que parámetros como la altura de la planta, el contenido de clorofila B, el peso fresco de la raíz, la población de mohos y levaduras, el peso fresco total de la planta y el peso fresco de las hojas, se agrupan en el primer cuadrante, el cual se sitúa en la intersección positiva de Dim 1 y Dim 2. Esta agrupación sugiere una posible sinergia o asociación positiva entre estos indicadores, lo cual podría estar relacionado con un mayor dinamismo en el crecimiento vegetal influenciado por la actividad microbiana y la eficiencia en la absorción de nutrientes foliares. Por otro lado, variables como el peso seco de la planta, el área foliar, la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), el potasio foliar y la concentración de aluminio en el suelo, tienden a agruparse en el segundo cuadrante, mostrando una correlación entre ellas que podría reflejar una influencia conjunta, posiblemente asociada a condiciones edáficas más específicas. De forma similar, las variables relacionadas con la clorofila A, la clorofila total (A+B) y la población de bacterias fijadoras de nitrógeno, se concentran en el tercer cuadrante, lo que indica una posible relación entre la eficiencia fotosintética y la actividad microbiológica relacionada con el ciclo del nitrógeno. Finalmente, en el cuarto cuadrante, se identifican agrupadas las variables fósforo del suelo, nitrógeno foliar, y los micronutrientes cobre y calcio foliares, lo que sugiere una posible interacción entre estos elementos esenciales en el proceso de nutrición y desarrollo vegetal (Figura 63).



pH	: Potencial de hidrógeno	Area_F	: Área foliar
M.O	: Materia orgánica	PFP	: Peso fresco total de la planta
N_soil	: Nitrógeno de suelo	PSP	: Peso Seco total de la planta
P_soil	: Fósforo de suelo	PFR	: Peso fresco de la raíz
K_soil	: Potasio de suelo	PFF	: Peso fresco del follaje
Ca_soil	: Calcio de suelo	PFH	: Peso fresco de la hoja
Mg_soil	: Magnesio de suelo	PSH	: Peso seco de la hoja
Na_Soil	: Sodio de suelo	N_fol	: Nitrógeno foliar
Al_Soil	: Aluminio de suelo	P_fol	: Fósforo foliar
CIC_Soil	: Capacidad de intercambio catiónico	K_fol	: Potasio foliar
NMVA	: Numero de Microorganismos aeróbicos viables	Ca_fol	: Calcio foliar
Lactobacillus	: Colonias de lactobacillus	Mg_fol	: Magnesio foliar
Bac.fija	: Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Na_fol	: Sodio foliar
Mh_Leva	: Mohos y levaduras	Zn_fol	: Zinc foliar
Actino	: Actinomycetos	Fe_fol	: Hierro foliar
NºHojas	: Número de hojas	Cu_fol	: Cobre foliar
Alt_plan	: Altura de la planta	Mn_fol	: Manganeso foliar
Dim_planta	: Diámetro de planta	Clo_A	: Clorofila A
Lg_Raiz	: Longitud de la raíz	Clo_B	: Clorofila B
V_Radi	: Volumen radicular	Clo_AyB	: Clorofila A y B

**Figura 63.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento siete

### **b. Análisis de correlación con Pearson**

Al analizar estas correlaciones (Figura 64), se observa que:

**Altura de la planta:** El valor de altura de la planta se ve que tiene una correlación negativa alta con la Clorofila A, Clorofila A+B y bacterias fijadoras (-0.98\*, -0.98\* y -0.99\*\*). Lo que sugiere un posible intercambio negativo entre el crecimiento vertical y la capacidad fotosintética o la actividad microbiana beneficiosa en la rizosfera. Esta relación podría explicarse por un reajuste en la asignación de recursos, donde las plantas que priorizan el crecimiento en altura reducen la inversión en pigmentos fotosintéticos y asociaciones microbianas, tal como lo observaron Chmur et al. (2020) en genotipos de arroz de rápido crecimiento. Sin embargo, esto se contrasta con López et al. (2007), quienes reportaron que, en condiciones de baja fertilidad, plantas más altas mantenían o incrementaban su contenido de clorofila para compensar la limitación de recursos.

**Mohos y levaduras:** El valor de mohos y levaduras se ve que tiene una correlación positiva alta con peso fresco de la planta, peso seco de la planta y área foliar (0.98\*, 0.97\* y 0.97\*). Lo que sugiere una posible relación simbiótica entre estos microorganismos y el desarrollo de la planta, donde la microbiota podría estar favoreciendo la disponibilidad de nutrientes o produciendo fitohormonas que estimulan el crecimiento. Según Liu et al. (2022), quienes reportaron que altas poblaciones de hongos saprófitos en la rizosfera pueden competir por nutrientes esenciales, reduciendo hasta en un 15% la biomasa vegetal en condiciones controladas. Además, según Zafar et al. (2020), ciertas cepas de microorganismos aumentan significativamente el área foliar ( $r=0.93$ ,  $p<0.05$ ) mediante la producción de auxinas, mientras que otros patógenos tienen efectos neutros o negativos.

**Peso fresco de la planta:** El valor de peso fresco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el área foliar y peso fresco del follaje (0.98\* y 0.97\*). Lo que sugiere que la biomasa vegetal está estrechamente vinculada a la capacidad fotosintética y la expansión foliar. Esto coinciden con lo reportado por Poorter et al. (2012), quienes demostraron que el área foliar es un determinante clave en la acumulación de biomasa en especies C3 debido a su papel en la interceptación lumínica. Sin embargo, Wright et al. (2017), menciona la correlación entre área foliar y peso fresco en condiciones de estrés hídrico.

**Peso seco de la planta:** El valor de peso seco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el área foliar (0.97\*). Esto sugiere una estrecha relación

entre la biomasa acumulada y la superficie fotosintética, lo que concuerda con lo reportado por Poorter et al. (2012), quienes demostraron que, en condiciones óptimas, la expansión foliar es un determinante clave del crecimiento vegetal. Sin embargo, Shipley (2006) advierten que correlaciones tan elevadas podrían estar influenciadas por efectos alométricos más que por causalidad fisiológica directa.

Área foliar: El valor de área foliar se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso fresco del follaje (0.96\*). Esto concuerda con lo reportado Poorter et al. (2012), quienes demostraron que el área foliar es un predictor robusto del peso fresco en especies herbáceas debido a su dependencia de la expansión celular y la turgencia. Sin embargo, la generalización de esta relación podría matizarse al considerar trabajos como los de Shipley (2016), donde la correlación se atenúa ( $r = 0.82-0.89$ ) en condiciones de estrés hídrico, sugiriendo que factores ambientales pueden modular esta asociación.

Aluminio de suelo: El valor de aluminio de suelo se ve que tiene una correlación negativa alta con el nitrógeno foliar, cobre y calcio foliares (-0.95\*, -0.98\* y -0.95\*). Lo que sugiere que la presencia de aluminio en el suelo podría estar limitando la disponibilidad y absorción de estos elementos esenciales. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Kochian et al. (2005), quienes demostraron que el aluminio en suelos ácidos forma complejos insolubles con nutrientes, reduciendo su movilidad y absorción radicular. Sin embargo, Vale et al. (2016), quienes argumentan que ciertas especies vegetales desarrollan mecanismos de exclusión o tolerancia al Al, minimizando su impacto en la nutrición foliar.

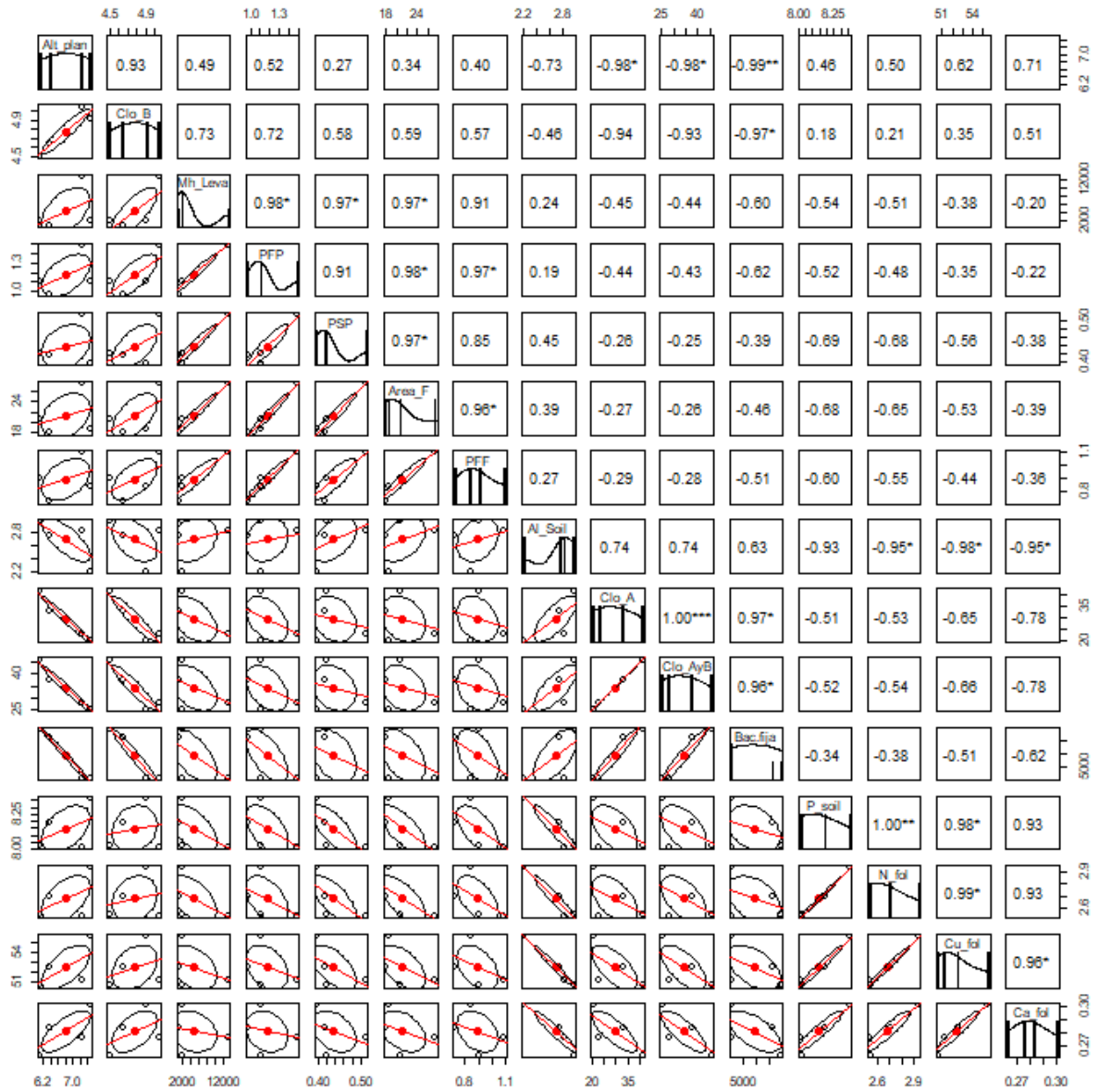
Clorofila A: El valor de clorofila A se ve que tiene una correlación positiva alta con la clorofila A+B y Bacterias fijadoras (1.00\*\*\* y 0.97\*). Lo que sugiere una posible relación sinérgica entre la actividad fotosintética y la microbiota rizosférica. Sin embargo, Wang et al. (2019) encontraron que, aunque existe una relación positiva entre clorofila A y bacterias fijadoras en condiciones controladas, esta asociación se atenúa significativamente en entornos con estrés hídrico ( $r < 0.60$ ), sugiriendo que factores ambientales pueden modular dicha interacción. Por otro lado, Huan et al. (2020) argumentan que correlaciones cercanas a 1.00 en estudios de clorofila podrían deberse a métodos de medición redundantes más que a una relación biológica directa.

Clorofila A+B: El valor de clorofila A+B se ve que tiene una correlación positiva alta con bacterias fijadoras (0.96\*). Lo sugiere una posible relación sinérgica,

donde la actividad microbiana podría estar favoreciendo la síntesis de pigmentos fotosintéticos. Tal como George et al. (2018) demostraron que cepas de *Rhizobium* incrementan hasta un 30 % los niveles de clorofila en leguminosas mediante mejoras en la disponibilidad de nitrógeno, otros trabajos como los de Hagmayer et al. (2020) advierten que correlaciones superiores a 0.90 en sistemas naturales suelen reflejar condiciones experimentales controladas más que interacciones directas.

Fosforo del suelo: El valor de fósforo de suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con nitrógeno y cobre foliares (1.00\*\* y 0.98\*). Lo que sugiere una posible sinergia en la absorción y translocación de estos nutrientes. Sin embargo, las correlaciones altas (próximas a 1.00) son poco comunes en sistemas edáfico-vegetales y podrían reflejar condiciones experimentales específicas, como un rango estrecho de disponibilidad de nutrientes o efectos de fertilización previa. Estudios como los de Wendel et al. (2022) en suelos agrícolas tropicales reportan que, aunque el fósforo favorece la asimilación de nitrógeno, esta interacción rara vez supera correlaciones de 0.85, incluso en condiciones óptimas.

Cobre foliar: El valor de cobre foliar se ve que tiene una correlación positiva alta con el calcio foliar (0.96\*). Lo que sugiere una posible sinergia en la absorción o movilización de ambos elementos en el tejido vegetal. Esta relación podría explicarse por mecanismos compartidos de transporte, como la participación de proteínas de membrana (por ejemplo, las ATPasas tipo P) que facilitan la asimilación de ambos cationes (Song et al., 2022). Sin embargo, esto se contrasta con trabajos como los de Hinai et al. (2021), quienes encontraron que altas concentraciones de Ca pueden antagonizar la absorción de Cu en suelos calcáreos debido a competencia por sitios de intercambio catiónico.



- Alt\_plan : Altura de la planta
- Clo\_B : Clorofila B
- Mh\_Leva : Mohos y levaduras
- PFP : Peso fresco total de la planta
- PSP : Peso Seco total de la planta
- Area\_F : Área foliar
- PFF : Peso fresco del follaje
- Al\_Soil : Aluminio de suelo
- Clo\_A : Clorofila A
- Clo\_AyB : Clorofila A y B
- Bac.fija : Bacterias Fijadoras de Nitrógeno
- P\_soil : Fósforo de suelo
- N\_fol : Nitrógeno foliar
- Cu\_fol : Cobre foliar
- Ca\_fol : Calcio foliar

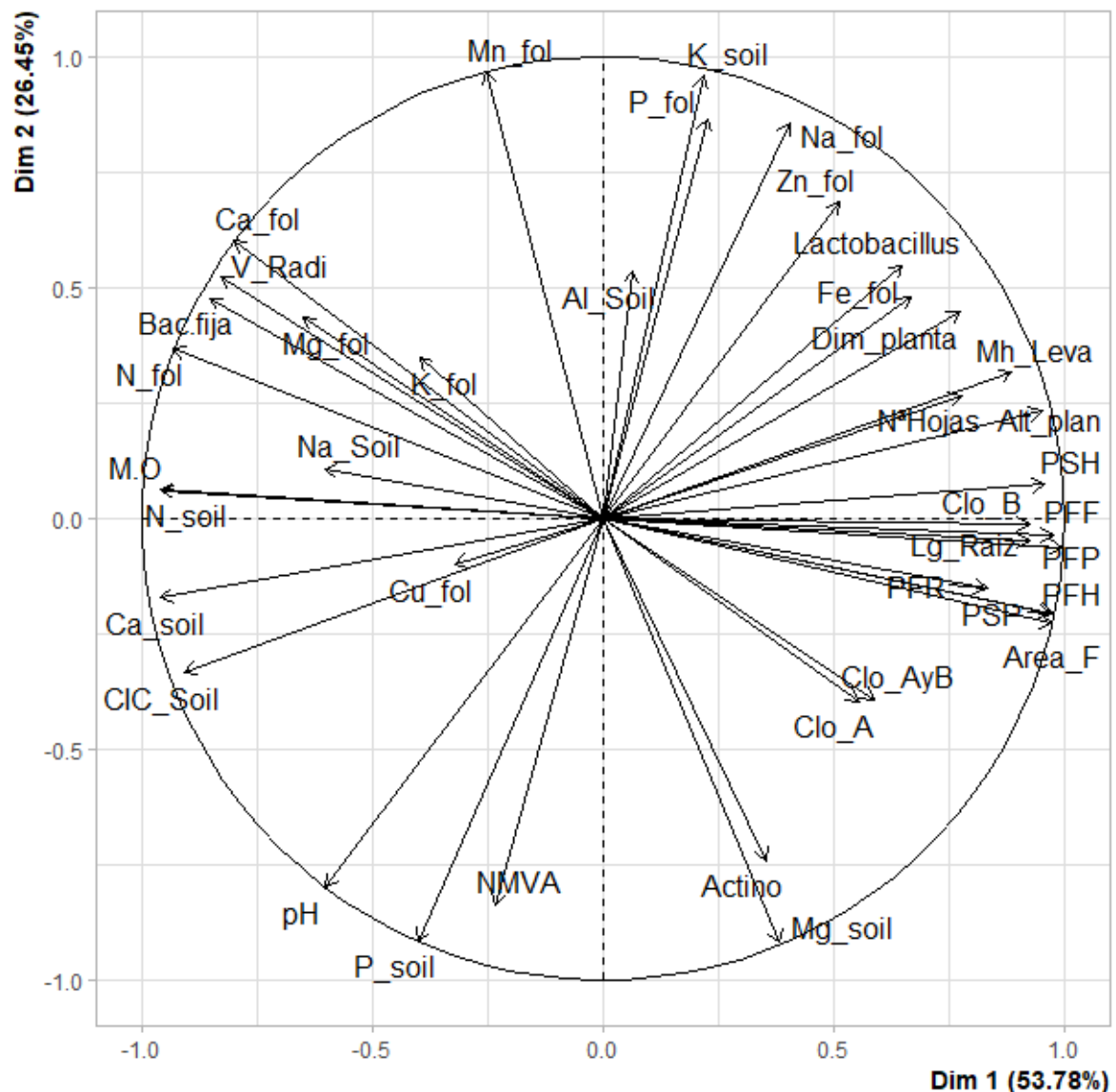
**Figura 64.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento siete

#### **4.4.8. Tratamiento 8 (Suelo cocal)**

##### **a. Análisis de PCA**

Se observa que el eje horizontal (Dimensión 1) representa el 53.78 % de la información total contenida en el conjunto de datos analizados, mientras que el eje vertical (Dimensión 2) explica el 26.45 % de la variabilidad restante. En conjunto, ambos componentes principales logran capturar un 80.33 % de la variabilidad total, lo cual es un valor considerablemente alto en este tipo de análisis multivariado, ya que indica que más del 80 % de la estructura interna de los datos puede ser visualizada e interpretada a partir de este gráfico bidimensional. Esta representación gráfica no solo facilita la comprensión de los patrones presentes en los datos, sino que también permite identificar relaciones y asociaciones significativas entre los distintos factores evaluados, tales como las propiedades fisicoquímicas del suelo, los niveles de nutrientes foliares, las características morfológicas y fisiológicas de la planta, así como la presencia y abundancia de ciertos grupos de microorganismos beneficiosos o indicadores (Figura 65).

Durante el análisis de Componentes Principales (PCA), se evidenció que variables como el contenido de potasio en el suelo, la presencia de mohos y levaduras, la altura de la planta y el peso seco de las hojas, se agruparon en el primer cuadrante, correspondiente a valores positivos tanto de Dim1 como de Dim2, lo que sugiere una posible sinergia positiva entre estos parámetros y su influencia conjunta sobre el crecimiento vegetal. En contraste, variables relacionadas con la biomasa aérea como el peso fresco del follaje, peso fresco de la planta, peso seco de la planta, área foliar y contenido de magnesio en el suelo se ubicaron correlacionadas en el segundo cuadrante, indicando otro patrón de asociación entre estas variables. Asimismo, en el tercer cuadrante se evidenció una correlación entre el fósforo disponible en el suelo y el pH, lo que podría estar relacionado con la disponibilidad de este nutriente bajo diferentes condiciones de acidez. Finalmente, el cuarto cuadrante agrupó variables como el nitrógeno foliar, las bacterias fijadoras de nitrógeno, el volumen radicular, y los niveles foliares de calcio y manganeso, indicando un posible vínculo entre la nutrición mineral, la actividad microbiana benéfica y el desarrollo del sistema radicular de las plantas (Figura 65).



pH	: Potencial de hidrógeno	Area_F	: Área foliar
M.O	: Materia orgánica	PFP	: Peso fresco total de la planta
N_soil	: Nitrógeno de suelo	PSP	: Peso Seco total de la planta
P_soil	: Fósforo de suelo	PFR	: Peso fresco de la raíz
K_soil	: Potasio de suelo	PFF	: Peso fresco del follaje
Ca_soil	: Calcio de suelo	PFH	: Peso fresco de la hoja
Mg_soil	: Magnesio de suelo	PSH	: Peso seco de la hoja
Na_Soil	: Sodio de suelo	N_fol	: Nitrógeno foliar
Al_Soil	: Aluminio de suelo	P_fol	: Fósforo foliar
CIC_Soil	: Capacidad de intercambio catiónico	K_fol	: Potasio foliar
NMVA	: Numero de Microorganismos aeróbicos viables	Ca_fol	: Calcio foliar
Lactobacillus	: Colonias de lactobacillus	Mg_fol	: Magnesio foliar
Bac.fija	: Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Na_fol	: Sodio foliar
Mh_Leva	: Mohos y levaduras	Zn_fol	: Zinc foliar
Actino	: Actinomycetos	Fe_fol	: Hierro foliar
NºHojas	: Número de hojas	Cu_fol	: Cobre foliar
Alt_plan	: Altura de la planta	Mn_fol	: Manganeseo foliar
Dim_planta	: Diámetro de planta	Clo_A	: Clorofila A
Lg_Raiz	: Longitud de la raíz	Clo_B	: Clorofila B
V_Radi	: Volumen radicular	Clo_AyB	: Clorofila A y B

**Figura 65.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) del tratamiento ocho

## b. Análisis de correlación con Pearson

Al analizar estas correlaciones (Figura 66), se observa que:

**Potasio de suelo:** El valor de potasio de suelo se ve que tiene una correlación negativa alta con fósforo de suelo (-0.95\*). Lo que podría deberse a mecanismos de competencia por sitios de adsorción en el complejo arcillo-húmico o a procesos de precipitación química en suelos con pH específicos (Rouwane et al., 2017). Esto se contrasta con los hallazgos de Lambers et al. (2021), quienes en suelos alcalinos encontraron relaciones sinérgicas entre ambos nutrientes. La discrepancia podría explicarse por diferencias edáficas, así como como demostró Abuzaid y Abdelatif (2022) que la relación K-P está modulada por el contenido de óxidos de hierro y aluminio, siendo antagonica en suelos tropicales.

**Altura de la planta:** El valor de altura de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso fresco del follaje (0.96\*). Lo que sugiere que el crecimiento vertical está estrechamente asociado con la producción de biomasa foliar. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Poorter et al. (2012), quienes demostraron que en especies de rápido crecimiento, el aumento en altura suele acompañarse de una mayor acumulación de masa foliar, debido a una asignación preferencial de fotoasimilados hacia estructuras aéreas. Sin embargo, estos se contrastan con Tan et al. (2016), quienes en condiciones de competencia por luz observaron que algunas plantas priorizan el crecimiento en altura sobre la producción foliar, generando correlaciones menos marcadas ( $r = 0.62-0.79$ ).

**Peso fresco de la planta:** El valor de peso fresco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el peso fresco de la planta, peso fresco de la hoja, peso seco de la planta y área foliar (0.99\*, 0.98\*, 0.99\* y 0.98\*), así también se tiene una correlación negativa alta con nitrógeno foliar (-0.95\*). Lo que sugiere que estos parámetros crecen de manera coordinada durante el desarrollo vegetal. Sin embargo, la fuerte correlación negativa con el nitrógeno foliar (-0.95\*) plantea algo no fiable en la fisiológica, ya que, según Lambers y Oliveira (2019), el nitrógeno suele correlacionarse positivamente con la biomasa en la mayoría de especies. Esto explicarse por un posible efecto de dilución nutricional, fenómeno documentado por Jarrell y Beverly (1981) en cultivos de rápido crecimiento, donde el aumento acelerado de biomasa supera la tasa de acumulación de nitrógeno, generando correlaciones negativas artificiales. Así como también Vargas et al. (2021) encuentra que plantas priorizan la expansión celular (aumento de peso fresco) sobre la acumulación de proteínas (nitrógeno foliar) bajo ciertas condiciones ambientales..

**Peso fresco del follaje:** El valor de peso fresco del follaje se ve que tiene una correlación positiva alta con peso seco de la planta y área foliar (0.98\* y 0.95\*). Lo que sugiere una relación estrecha entre estos parámetros de crecimiento vegetal. Sin embargo, estudios previos han demostrado que factores como la edad fisiológica del tejido, el contenido de agua y las condiciones ambientales pueden modular estas asociaciones (Kosma et al., 2009). De manera similar, Huang et al. (2020) advierten que altas correlaciones entre peso fresco y seco no siempre indican una relación directa, sino que pueden estar influenciadas por la acumulación de metabolitos secundarios o cambios en la arquitectura celular.

**Peso fresco de la hoja:** El valor de peso fresco de la hoja se ve que tiene una correlación positiva alta con el área foliar (1.00\*\*), también se mantiene una correlación negativa alta con el nitrógeno foliar (-0.98\*). Lo que sugiere una relación directa entre biomasa y expansión celular durante el desarrollo de la hoja. Este hallazgo coincide con lo reportado por Poorter et al. (2012), quienes demostraron que, en condiciones óptimas, el crecimiento foliar está altamente correlacionado con la acumulación de agua y masa fresca. Sin embargo, la marcada correlación negativa con el nitrógeno foliar (-0.98\*) resulta confusa, ya que contradice estudios clásicos como los de Evans (1989), donde se establece que el nitrógeno es un componente esencial para la síntesis de clorofila y proteínas, factores clave en la expansión foliar.

**Peso seco de la planta:** El valor de peso seco de la planta se ve que tiene una correlación positiva alta con el área foliar (0.99\*) y una correlación negativa alta con el nitrógeno foliar (-0.98\*). Lo que sugiere que un mayor desarrollo foliar podría estar directamente vinculado a la acumulación de biomasa, coincidiendo con lo reportado por Poorter et al. (2012) en estudios de relaciones alométricas en plantas C3. Sin embargo, la elevada correlación negativa con el nitrógeno foliar (-0.98\*) podría explicarse por un posible efecto de dilución del nitrógeno en tejidos debido al rápido crecimiento o por condiciones experimentales específicas donde altas tasas de crecimiento generaron un desacople temporal entre absorción de N y expansión celular.

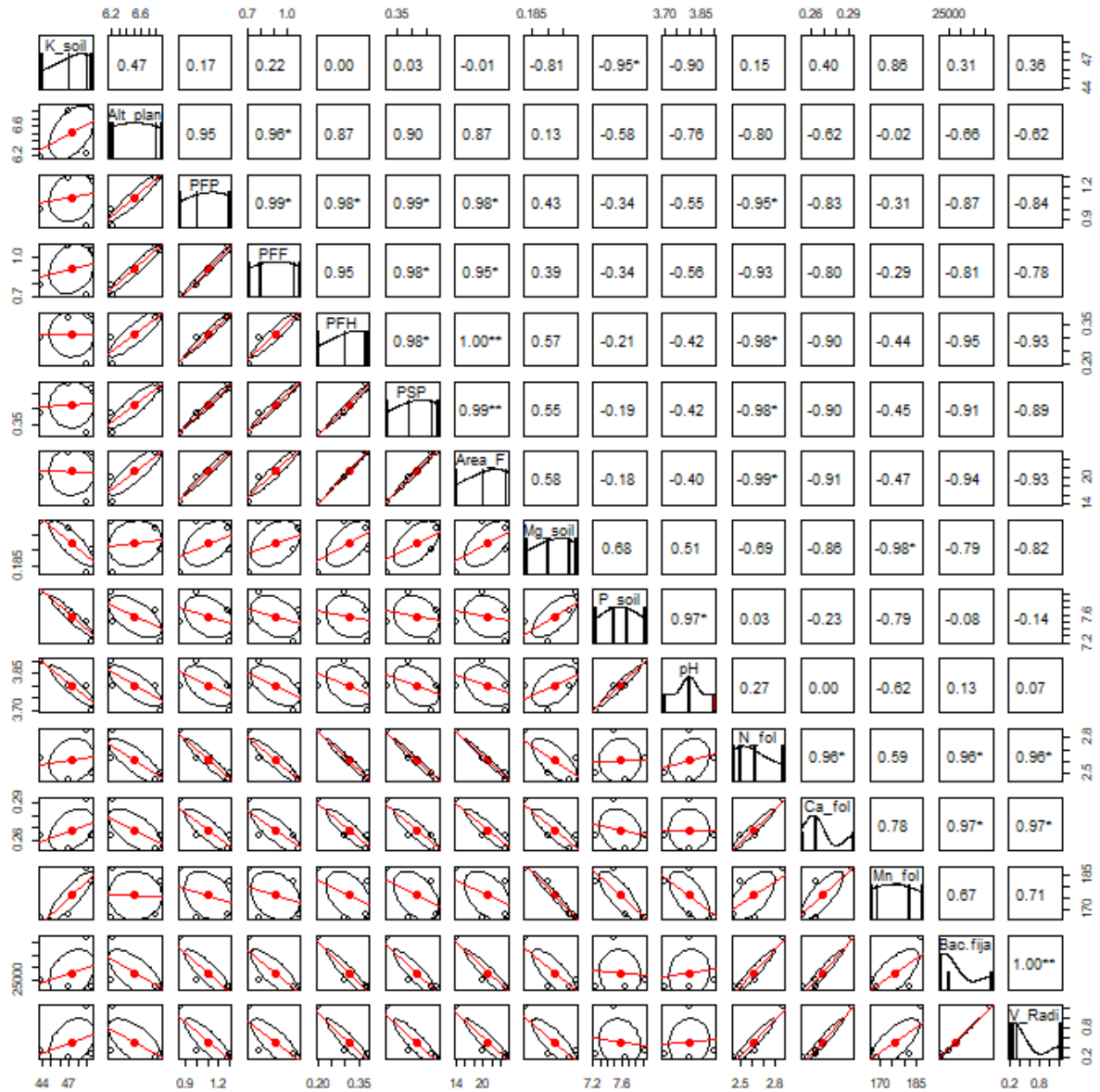
**Área foliar:** El valor de área foliar se ve que tiene una correlación negativa alta con nitrógeno foliar (-0.99\*). El hallazgo contradice la expectativa clásica de que mayores niveles de N foliar promueven la expansión celular y, por ende, el área foliar (Evans, 1989). Por ejemplo, Nerva et al. (2022) reportaron que en cultivos sometidos a estrés por nitrógeno, se activan mecanismos de redistribución de auxinas que priorizan el engrosamiento de láminas foliares sobre su expansión, reduciendo el área foliar a pesar de la acumulación de N.

**Magnesio de suelo:** El valor de magnesio de suelo se ve que tiene una correlación positiva alta con el manganeso foliar (-0.98\*). Lo que sugiere una posible relación antagonica en la absorción de estos nutrientes, donde altos niveles de Mg en el suelo podrían limitar la acumulación de Mn en los tejidos vegetales. Este se contrasta con Kabata (2010), quien afirma que en suelos ácidos (pH <5.5), el Mn suele ser más disponible independientemente de los niveles de Mg, debido a su distinto comportamiento redox. Sin embargo, el dato obtenido coincidiría parcialmente con Farzadfar et al. (2017), quienes observaron en cultivos de enmiendas con Mg redujeron la concentración foliar de Mn, posiblemente por competencia por sitios de absorción en las raíces.

**Nitrógeno foliar:** El valor de nitrógeno foliar se ve que tiene una correlación positiva alta con el calcio foliar, bacterias fijadoras y volumen radicular (0.96\*, 0.96\* y 0.96\*). Lo que sugiere una posible sinergia entre la disponibilidad de nitrógeno, la absorción de calcio y la actividad microbiana beneficiosa en la rizósfera. Por ejemplo, Chen et al. (2018) encontraron que altas correlaciones N-Ca en tejidos foliares ( $r > 0.90$ ) en cultivos de soja desaparecían al controlar el pH del suelo, indicando que esta asociación podría ser indirecta. Adicionalmente, Augusto et al. (2013) advierten que las bacterias fijadoras no siempre correlacionan con el N foliar en condiciones de suelos fértiles.

**Calcio foliar:** El valor de calcio foliar se ve que tiene una correlación positiva alta con las bacterias fijadoras y el volumen radicular (0.97\* y 0.97\*). Lo que sugiere una posible sinergia entre la nutrición mineral, la microbiota rizosférica y el desarrollo del sistema radical. Esta relación podría explicarse por el papel del calcio en la formación de paredes celulares y su influencia en la señalización simbiótica planta-microorganismo en leguminosas (Li et al., 2018). Sin embargo, Migliore et al. (2020), quienes encontraron que, aunque el Ca favorece la elongación radicular, su interacción con bacterias fijadoras depende críticamente de factores como el pH del suelo y la disponibilidad de fósforo.

**Bacterias fijadoras:** El valor de bacterias fijadoras se ve que tiene una correlación positiva alta con el volumen radicular (1.00\*\*). Este resultado coincide con lo reportado por Martínez et al. (2010), quienes demostraron que cepas de *Rhizobium* y *Azospirillum* incrementan hasta un 40% la biomasa radicular en leguminosas mediante la producción de fitohormonas.



Alt\_plan : Altura de la planta  
 Clo\_B : Clorofila B  
 Dim\_planta : Diámetro de planta  
 Mh\_Leva : Mohos y levaduras  
 PSP : Peso Seco total de la planta  
 Area\_F : Área foliar  
 PFH : Peso fresco de la hoja  
 Al\_Soil : Aluminio de suelo  
 Clo\_A : Clorofila A  
 Clo\_AyB : Clorofila A y B  
 Bac.fija : Bacterias Fijadoras de Nitrógeno  
 P\_soil : Fósforo de suelo  
 N\_fol : Nitrógeno foliar  
 Cu\_fol : Cobre foliar  
 Ca\_fol : Calcio foliar

**Figura 66.** Correlación multivariada de Pearson para variables del tratamiento ocho

#### 4.5. Análisis beneficio costo (B/C) de los tratamientos en estudio

De acuerdo con el análisis económico, se calculó este valor asumiendo el gasto de producción correspondiente a una hectárea. Para ello, se estimó la cantidad de plantones viables para la venta al finalizar el experimento, la cual se multiplicó por el precio promedio de venta (S/ 3,00), obteniendo así el valor bruto de venta. A su vez, se calculó el gasto total de producción de los plantones. La utilidad bruta de producción se obtuvo restando el gasto total de producción al valor bruto de venta. El índice de rentabilidad se determinó dividiendo la utilidad bruta entre el costo de producción, mientras que la relación beneficio/costo (B/C) se obtuvo dividiendo el valor bruto de venta entre el costo de producción (Anexos: Tablas 43, 44, 45 y 46).

Se identificó al tratamiento T<sub>2</sub> (suelo agrícola) como el más rentable, con un índice de rentabilidad de 1,61, sin registrar mortalidad en los 3 000 plantones establecidos (2,0 x 1,5 m de densidad). Este tratamiento presentó un costo de producción de S/ 3 449,00, un valor bruto de venta de S/ 9 000,00 y una utilidad neta de S/ 5 551,00, atribuida a la reducción de la mortalidad gracias al uso de un buen suelo con buenas condiciones. Según Soto (2012), un índice beneficio/costo mayor a 1 indica viabilidad económica. En este estudio, todos los tratamientos superan ese valor, destacando el T<sub>2</sub> con un B/C de 2,61, seguido del T<sub>1</sub> (suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D) con 2,55.

**Tabla 26.** Análisis de índice de rentabilidad y beneficio costo de los tratamientos en estudio, realizados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Tratamientos		Índice de Rentabilidad	Beneficio Costo (B/C)
Nº	Tipo de suelo + Tricho D + Bacthon		
T <sub>2</sub>	Suelo agrícola	1,61	2,61
T <sub>1</sub>	Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D	1,55	2,55
T <sub>5</sub>	Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D	1,48	2,48
T <sub>3</sub>	Suelo playa + Bacthon + Tricho-D	1,33	2,33
T <sub>6</sub>	Suelo de montaña	1,22	2,22
T <sub>4</sub>	Suelo de playa	1,11	2,11
T <sub>7</sub>	Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D	1,02	2,01
T <sub>8</sub>	Suelo cocal	0,88	1,88

## V. CONCLUSIONES

1. El análisis de características químicas y microbiológicas de los sustratos, el análisis de suelo reveló que los tratamientos T<sub>1</sub> (Suelo agrícola + Bacthon + Tricho-D) y T<sub>2</sub> (Suelo agrícola) presentaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de pH, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en comparación con los demás tratamientos. Para la materia orgánica (M.O.) y el nitrógeno (N), el tratamiento con mayor respuesta fue el T<sub>7</sub> (Suelo cocal + Bacthon + Tricho-D). Respecto a los niveles de sodio (Na), aluminio (Al) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), los tratamientos con mayores valores fueron T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D), T<sub>6</sub> (Suelo de montaña) y T<sub>5</sub> (Suelo montaña + Bacthon + Tricho-D), respectivamente.
2. El análisis microbiológico de los sustratos evidenció que el T<sub>3</sub> presentó la mayor concentración de microorganismos aeróbicos viables, lactobacilos y bacterias fijadoras de nitrógeno, con un promedio de 59 500, 62 750 y 54 750 ufc/g suelo respectivamente. En contraste, el T<sub>1</sub> mostró la mayor abundancia de mohos, levaduras y actinomicetos con 60 00 y 90 250 ufc/g suelo respectivamente.
3. En el análisis fisicoquímico de los plantones, el análisis foliar indicó que el T<sub>5</sub> presentó los valores más altos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu) y sodio (Na). Para hierro (Fe) y manganeso (Mn), el tratamiento con mayor acumulación fue el T<sub>7</sub>, mientras que el mayor contenido de nitrógeno (N) se registró en el T<sub>3</sub> (Suelo playa + Bacthon + Tricho-D). En cuanto a los niveles de clorofila a, b y total (a+b), los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> fueron significativamente superiores a los demás.
4. El análisis de las 40 variables evaluadas reveló patrones diferenciales en la respuesta a los bioestimulantes y enmiendas microbianas, particularmente en el tratamiento T<sub>7</sub>, se registró un efecto de correlaciones positivas en mohos y levaduras sobre peso fresco de la planta (0.98\*), peso seco de planta (0.97\*) y área foliar (0.97\*), así mismo, se observó que las bacterias fijadoras demostraron una asociación positiva con el contenido de clorofila A+B (0.96\*). Por otro lado, en el tratamiento T<sub>8</sub> se observó que la presencia de bacterias fijadoras correlacionó significativamente con mayores concentraciones foliares de calcio (0.97\*) y nitrógeno (0.95\*).
5. El análisis de beneficio costo (B/C) mostró que el tratamiento más rentable fue el T<sub>2</sub> (Suelo agrícola), con una relación beneficio/costo de 2,61, seguido por el T<sub>1</sub> con un valor de 2,55. Esto indica que, por cada sol invertido, se obtiene un retorno de 1,61 soles, posicionando al tratamiento T<sub>2</sub> como la opción más viable para la producción de plántulas de café.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Explorar otra investigación con la incorporación de materia orgánica, arena y otros materiales utilizados con frecuencia en viveros de café con la incorporación del biostimulante y enmienda microbiana.
2. Realizar investigaciones con una fertilización adecuada y probar en ello diferentes dosis de fertilizantes inorgánicos usados que le permita un desarrollo de manera eficaz.
3. Investigar el efecto del porcentaje de sombra en el contenido de clorofila a y b, en diferentes tipos de porcentajes en sombra para vivero.
4. Investigar el desarrollo de las plantas de café al sembrar en campo definitivo, para así analizar el comportamiento de los microorganismos frente a componentes ambientales.

## VII. REFERENCIAS

- Abuzaid, A. S., & Abdelatif, A. D. (2022). Assessment of desertification using modified MEDALUS model in the north Nile Delta, Egypt. *Geoderma*, 405, 115400. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2021.115400>
- Acuña Zornosa, R., & Sadeghian Khalajabadi, S. (2020). Identification of acid tolerant coffee genotypes in a coffee germplasm collection of Colombia. *Coffee Science*, 15. <https://doi.org/10.25186/V15I1.1727>
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Zia-ur-Rehman, M., Irshad, M. K., & Bharwana, S. A. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11), 8148–8162. <https://doi.org/10.1007/S11356-015-4496-5/METRICS>
- Ahmad, A., Saeed, A., Gulshan, A. B., Wali, S., Hadi, F., Ullah, S., Fazlullah, Sher, A. A., Rizwan, M., & Rafiq, M. (2023). Prediction of soil seed bank of piedmont and alluvial environments of Dera Ghazi Khan, Punjab, Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.255485>
- Al Hinai, T. Z. S., Vreeburg, R. A. M., MacKay, C. L., Murray, L., Sadler, I. H., & Fry, S. C. (2021). Fruit softening: evidence for pectate lyase action in vivo in date (*Phoenix dactylifera*) and rosaceous fruit cell walls. *Annals of Botany*, 128(5), 511–525. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCAB072>
- Alberto, N. J., Ramalho, J. C., Ribeiro Barros, A. I., Viana, A. P., Krohling, C. A., Moiane, S. S., Alberto, Z., Rodrigues, W. P., & Partelli, F. L. (2023). Diversity in *Coffea arabica* Cultivars in the Mountains of Gorongosa National Park, Mozambique, Regarding Bean and Leaf Nutrient Accumulation and Physical Fruit Traits. *Agronomy*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy13041162>
- Amoeba. (2015). *How to interpret this PCA biplot?* <https://stats.stackexchange.com/questions/137240/how-to-interpret-this-pca-biplot>
- Analin, B., Mohanan, A., Bakka, K., & Challabathula, D. (2020). Cytochrome oxidase and alternative oxidase pathways of mitochondrial electron transport chain are important for the photosynthetic performance of pea plants under salinity stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 248–259. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2020.05.022>
- Anaya, A., Lourdes, M. De, Gálvez, J., Ramos, H., Salvador, M., Vargas, M., & Teresa, C. (2011).

- Biofertilización De Café Orgánico En Etapa De Vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 417–431.
- Andrade Barreto, S. M., Martins da Silva, A. B., Prudêncio Dutra, M. da C., Costa Bastos, D., de Brito Araújo Carvalho, A. J., Cardoso Viana, A., Narain, N., & dos Santos Lima, M. (2023). Effect of commercial yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on fermentation metabolites, phenolic compounds, and bioaccessibility of Brazilian fermented oranges. *Food Chemistry*, 408(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135121>
- Arévalo Solsol, N., & Zegarra Zegarra, R. (2017). Efecto del *Azotobacter* sp. y el *Azospirillum* sp. en el rendimiento de algodón de color (*Gossypium barbadense* L.) en el fundo los pichones, tacna 2015. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*, 16(2), 11–19.
- Augusto, L., Delerue, F., Gallet-Budynek, A., & Achat, D. L. (2013). Global assessment of limitation to symbiotic nitrogen fixation by phosphorus availability in terrestrial ecosystems using a meta-analysis approach. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(3), 804–815. <https://doi.org/10.1002/GBC.20069;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Barbosa, J. C. (2010). *Experimentação Agronômica* (Primera ed). FUNEP.
- Bautista, R. L., Ramírez, E. A. Y. G., Abraham, E., & Bautista, L. (2024). Análisis de experimentos factoriales para la investigación agronómica mediante software estadístico. *Revista Científica Del Sistema de Estudios de Postgrado de La Universidad de San Carlos de Guatemala*, 7(2), 17–30. <https://doi.org/10.36958/SEP.V7I2.299>
- Beltrán Pineda, M. E. (2015). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101–113. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol15\\_num1\\_art:401](https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:401)
- Bemfeito, C. M., Guimarães, A. S., de Oliveira, A. L., Andrade, B. F., de Paula, L. M. A. F., & Pimenta, C. J. (2021). Do consumers perceive sensory differences by knowing information about coffee quality? *Lwt*, 138(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110778>
- Benavides Acevedo, M., & Torres Segura, J. (2022). Fast seed histology protocols: Benzene derivatives-free vs xylene-dependent. *Agronomia Mesoamericana*, 33. <https://doi.org/10.15517/am.v33iEspecial.51308>
- Berg, G., Grube, M., Schloter, M., & Smalla, K. (2014). Unraveling the plant microbiome: Looking back and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 5(JUN). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2014.00148>,

- Berihu, M., Somera, T. S., Malik, A., Medina, S., Piombo, E., Tal, O., Cohen, M., Ginatt, A., Ofek-Lalzar, M., Doron-Faigenboim, A., Mazzola, M., & Freilich, S. (2023). A framework for the targeted recruitment of crop-beneficial soil taxa based on network analysis of metagenomics data. *Microbiome*, *11*(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01438-1>
- Berilli, S. da S., de Sales, R. A., Ribeiro, H. R., Zooca, A. A. F., de Salles, R. A., Berilli, A. P. C. G., Ribeiro, W. R., Freitas, S. de J., & Costa, T. S. (2020). Foliar fertilization in the propagation of conilon coffee in alternative substrates. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, *47*(1), 58–68. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i1.2085>
- Bez, C., Esposito, A., Musonerimana, S., Nguyen, T. H., Navarro-Escalante, L., Tesfaye, K., Turello, L., Navarini, L., Piazza, S., & Venturi, V. (2023). Comparative study of the rhizosphere microbiome of *Coffea arabica* grown in different countries reveals a small set of prevalent and keystone taxa. *Rhizosphere*, *25*(October 2022), 100652. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100652>
- BioTuring. (2018a). *How to read PCA biplots and scree plots | by BioTuring Team | Medium*. <https://bioturing.medium.com/how-to-read-pca-biplots-and-scree-plots-186246aae063>
- BioTuring. (2018b). *Principal component analysis explained simply | by BioTuring Team | Medium*. <https://bioturing.medium.com/principal-component-analysis-explained-simply-894e8f6f4bfb>
- Blanco, C. R., Moraga, J., Madriz, P., Del Carmen, J., & Pavón. (2003). Morfología del café(*Coffea arabica* L.), en lotes comerciales, Nicaragua. *Nicaragua Agronomía Mesoamericana*, *14*(1), 97–103.
- Bogado, G. O., & Francisca, F. M. (2017). Caracterización geo-mecánica de un perfil de meteorización residual. *FCEFYN*, *4*(1), 49–57.
- Brady, N., & Weil, R. (2016). Nature and Properties of Soils, The 15th Edition. *Pearson Education*, 375–376. [https://www.researchgate.net/publication/301200878\\_The\\_Nature\\_and\\_Properties\\_of\\_Soils\\_15th\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition)
- Bulmer, D., Kar, G., Hamilton, J., Siciliano, S., & Peak, D. (2018). Extent and Mechanism of Interaction between Phosphate and Citrate in a Calcareous Soil. *Soil Science Society of America Journal*, *82*(2), 315–322. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2017.08.0289>
- Burbano Moreno, Á. A., & Melo Martinez, O. O. (2015). Regresión Lineal con Errores no

- Normales: Secante Hiperbólica Generalizada. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 37–50.  
<https://doi.org/10.17230/ingciencia.11.21.2>
- Burroughs, C. H., Montes, C. M., Moller, C. A., Mitchell, N. G., Michael, A. M., Peng, B., Kimm, H., Pederson, T. L., Lipka, A. E., Bernacchi, C. J., Guan, K., & Ainsworth, E. A. (2023). Reductions in leaf area index, pod production, seed size, and harvest index drive yield loss to high temperatures in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 74(5), 1629–1641.  
<https://doi.org/10.1093/JXB/ERAC503>
- Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L., & Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 141. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.369>
- Calzada Benza, J. (1982). *Métodos Estadísticos* (Lima (ed.); 3er ed.).
- Campostrini, E., & Yamanishi, O. K. (2000). *Estimation of Papaya Leaf Area Using*. 39–42.
- Candelerio, D. J., Cristóbal, A. J., Reyes, R. A., Tun, S. J. M., Gamboa, A. M. M., & Ru, S. E. (2015). Trichoderma spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 6(84), 113–119.
- Caplice, E. (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 50(1), 131–149.
- Carpio, C. E., Sandoval, L. A., & Munoz, M. (2023). Cost and Profitability Analysis of Producing Specialty Coffee in El Salvador and Honduras. *HortTechnology*, 33(1), 8–15.  
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH05028-22>
- Casierra Posada, F., Ávila León, O., & Riascos Ortíz, D. (2012). Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en las hojas de caléndula bajo sol y sombra. *Temas Agrarios*, 17(1), 60–71.
- Castruita, M. A. S., & Ortiz, C. A. (2003). Localización de suelos de humedad residual a partir de imagen de satélite: Clasificación Automática Supervisada de la Imagen. *Terra : Organo Científico de La Sociedad Mexicana de La Ciencia Del Suelo, A.C*, 21(2), 149–156.
- Cervantes Martínez, J., Orihuela Equihua, R., & Rutiaga Quiñones, J. G. (2017). Acerca del Desarrollo y Control de Microorganismos en la Fabricación de Papel. *Conciencia Tecnológica*, 1(54), 1–4.
- Chen, T., Nan, Z., Zhang, X., Hou, F., Christensen, M., & Baskin, C. (2018). Does dormancy

- protect seeds against attack by the pathogenic fungus *Fusarium tricinctum* in a semiarid grassland of Northwest China? *Plant and Soil*, 422(1–2), 155–168. <https://doi.org/10.1007/S11104-017-3420-9/METRICS>
- Chmur, M., Bajguz, A., & Piotrowska-Niczyporuk, A. (2020). Effect of Cadmium on the Level of Isoprenoid-Derived Phytohormones in Duckweed *Wolffia arrhiza*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1518–1530. <https://doi.org/10.1007/S00344-020-10154-9/METRICS>
- Cisneros R., C. A., Martín Franco, J., Realpe Fernández, M., & Fuenmayor, J. C. (2017). Influencia de microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plántulas de café (*Coffea arabica*). *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 19. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)19-26](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)19-26)
- Concepción María, Q. V. (2022). *Evaluación del desarrollo de plántulas de Coffea arábica l. C.v. Sarchimor 4260 en condiciones de vivero con diferentes sustratos y bioestimulantes*. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.
- Conte, S. S., & Walker, E. L. (2011). Transporters Contributing to Iron Trafficking in Plants. *Molecular Plant*, 4(3), 464–476. <https://doi.org/10.1093/MP/SSR015>
- Cortés patiño, S. L., Vesga Ayala, N. P., Sigarroa Rieche, A. K., & Cárdenas Caro, L. M. rozo D. (2015). Sustratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en etapa de vivero. *Bioagro*, 27(3), 151–158.
- Cortez Farfán, A. (2011). Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. *III SEMINARIO REGIONAL DE TASACIONES*, 81–99.
- Costa, U. De, Programa, R., Beatriz, D., Vanessa, J., Lorena, L., Alfonso, J., Aroldo, A., Sánchez-lópez, D. B., Pérez-pazos, J. V., & Luna-castellanos, L. L. (2019). *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum* como bioestimulantes en cultivo de *Ipomoea*. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2).
- Cruz, C., Zelaya, L., Sandoval, G., Santos, S., Rojas, E., Chávez, I., & Ruíz, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899–913.
- da Silva, J. A. S., Dos Santos, M. S. N., Oro, C. E. D., de Moura, D. B., da Silva, F. B., da Silva, P. N., Knies, A. E., Zobot, G. L., & Tres, M. V. (2023). Interactive Performance of Wheat Nitrogen Fertilization and Inoculation with Growth-Promoting Bacteria. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(4), 1–18. <https://doi.org/10.33263/BRIAC134.304>

- Damatta, F. M., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Martins, S. C. V., & Ramalho, J. C. (2018). Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5264–5274. [https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.7B04537/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2017-04537T\\_0001.GIF](https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.7B04537/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2017-04537T_0001.GIF)
- de Sousa, L. P., Guerreiro-Filho, O., & Mondego, J. M. C. (2022). The Rhizosphere Microbiomes of Five Species of Coffee Trees. *Microbiology Spectrum*, 10(2). <https://doi.org/10.1128/spectrum.00444-22>
- Delaporte Quintana, P. (2018). *Contribución de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en la nutrición de hierro y fósforo de plantas de frutilla (Fragaria ananassa Duch.)*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Díaz, G., Rodríguez, G., Montana, L., Miranda, T., Basso, C., & Arcia, M. (2020). Efecto de la aplicación de bioestimulantes y Trichoderma sobre el crecimiento en plántulas de maracuyá (*Passiflora edulis Sims*) en vivero. *Bioagro*, 32(3), 195–204.
- Díaz, S. P., & Fernández, P. (2000). Técnicas de regresión: Regresión lineal simple. *Investigación*, 91–94.
- dos Santos, L. M., e.Silva Ferraz, G. A., Carvalho, M. A. de F., Teodoro, S. A., Campos, A. A. V., & Menicucci Neto, P. (2022). Use of RPA Images in the Mapping of the Chlorophyll Index of Coffee Plants. *Sustainability (Switzerland)*, 14(20), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su142013118>
- Duong, B., Marraccini, P., Maeght, J. L., Vaast, P., Lebrun, M., & Duponnois, R. (2020). Coffee Microbiota and Its Potential Use in Sustainable Crop Management. A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(1). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607935>
- Duong, B., Xuan Nguyen, H., Viet Phan, H., Colella, S., Quang Trinh, P., Thi Hoang, G., Thi Nguyen, T., Marraccini, P., Lebrun, M., & Duponnois, R. (2021). Identification and characterization of Vietnamese coffee bacterial endophytes displaying in vitro antifungal and nematicidal activities. *Microbiological Research*, 242(July 2020), 126613. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126613>
- Dussarrat, T., Prigent, S., Latorre, C., Bernillon, S., Flandin, A., Díaz, F. P., Cassan, C., Van Delft, P., Jacob, D., Varala, K., Joubes, J., Gibon, Y., Rolin, D., Gutiérrez, R. A., & Pétriacq, P.

- (2022). Predictive metabolomics of multiple Atacama plant species unveils a core set of generic metabolites for extreme climate resilience. *New Phytologist*, 234(5), 1614–1628. <https://doi.org/10.1111/nph.18095>
- El-Tarabily, K. A. (2008). Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant growth by rhizosphere competent 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycetes. *Plant and Soil*, 308(1–2), 161–174. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9616-2>
- Escobar, K. V., Sinchipa, O. A., Cárdenas, F. R., & del Salto, L. F. V. (2021). Microorganismos en tierra de montaña, datos preliminares. *Tesla Revista Científica*, 3(2), e241. <https://doi.org/10.55204/TRC.V3I2.E241>
- Espinosa, José; Molina, E. (1999). Acidez y Encalado de suelos. *Tesis Doctoral*, 345.
- Evans, J. (1987). The Relationship Between Electron Transport Components and Photosynthetic Capacity in Pea Leaves Grown at Different Irradiances. *Functional Plant Biology*, 14(2), 157–170. <https://doi.org/10.1071/PP9870157>
- Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9–19. <https://doi.org/10.1007/BF00377192/METRICS>
- Fagbenro, O., Adeparusi, E., & Jimoh, W. (2011). Fisheries and Aquatic Science. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6(5), 80–86. <https://doi.org/10.3923/jfas.2011.535.544>
- Fajardo, A., & Siefert, A. (2016). Phenological variation of leaf functional traits within species. *Oecologia*, 180(4), 951–959. <https://doi.org/10.1007/S00442-016-3545-1>,
- Falker Automação Agrícola Ltda. (2018). *Manual - Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila*.
- Fan, D. J., Liu, T. Q., Sheng, F., Li, S. H., Cao, C. G., & Li, C. F. (2020). Nitrogen deep placement mitigates methane emissions by regulating methanogens and methanotrophs in no-tillage paddy fields. *Biology and Fertility of Soils*, 56(5), 711–727. <https://doi.org/10.1007/S00374-020-01447-Y/METRICS>
- Farzadfar, S., Zarinkamar, F., & Hojati, M. (2017). Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112, 207–217. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2017.01.002>
- Farzana, Y., & Radizah., O. (2015). Influence of rhizobacterial inoculation on growth of the sweetpotato cultivar. *Biotechnol*, 1(3), 176–179.

- Fathi, A., Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Bahamin, S., & Maleki, R. (2015). *Physiological Performance of Soybean Cultivars under Drought Stress* (Vol. 2).
- Ferguson, J. N., Fernandes, S. B., Monier, B., Miller, N. D., Allen, D., Dmitrieva, A., Schmuker, P., Lozano, R., Valluru, R., Buckler, E. S., Gore, M. A., Brown, P. J., Spalding, E. P., & Leakey, A. D. B. (2021). Machine learning-enabled phenotyping for GWAS and TWAS of WUE traits in 869 field-grown sorghum accessions. *Plant Physiology*, *187*(3), 1481–1500. <https://doi.org/10.1093/PLPHYS/KIAB346>
- Fernández, J. (2007). *Estudio general de suelos de las áreas de montaña en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras*.
- Fernando, D. R., & Lynch, J. P. (2015). Manganese phytotoxicity: new light on an old problem. *Annals of Botany*, *116*(3), 313–319. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCV111>
- Ferreira, B. C., De Lima, S. F., Simon, C. A., Andrade, M. G. de O., de Ávila, J., & Alvarez, R. de C. F. (2018). Effect of biostimulant and micronutrient on emergence, growth and quality of Arabica coffee seedlings. *Coffee Science*, *13*(3), 324–332.
- Frits Bienfait, H., van den Briel, W., & Mesland-Mul, N. T. (1985). Free Space Iron Pools in Roots: Generation and Mobilization. *Plant Physiology*, *78*(3), 596–600. <https://doi.org/10.1104/PP.78.3.596>
- Gagliardi, S., Avelino, J., Fulthorpe, R., de Melo Virginio Filho, E., & Isaac, M. E. (2023). No evidence of foliar disease impact on crop root functional strategies and soil microbial communities: what does this mean for organic coffee? *Oikos*, *2023*(1). <https://doi.org/10.1111/OIK.08987>
- Galarza Noboa, A. J. (2023). Evaluación de dos genotipos de café arábica (*Coffea arabica* L.) injertados en patrón Robusta (*Coffea canephora*) a la aplicación de bioestimulantes orgánicos, cultivado en sitio definitivo [UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ]. In *Repositorio Unesum* (Vol. 4, Issue 1). <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article>
- Garza, R., Ranferi, L., Torres, M., Álvarez Sánchez, M. E., César, J., & Espinoza, B. (2020). Nutrient supply of nitrogen-fixing tree species in agroforestry systems with coffee. *Revista*

*Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(4), 801–814.

- Gastwirth, J. L., Gel, Y. R., & Miao, W. (2009). The Impact of Levene's Test of Equality of Variances on Statistical Theory and Practice. *Statistical Science*, 24(3), 343–360. <https://doi.org/10.1214/09-STS301>
- George, T. S., Giles, C. D., Menezes-Blackburn, D., Condrón, L. M., Gama-Rodrigues, A. C., Jaisi, D., Lang, F., Neal, A. L., Stutter, M. I., Almeida, D. S., Bol, R., Cabugao, K. G., Celi, L., Cotner, J. B., Feng, G., Goll, D. S., Hallama, M., Krueger, J., Plassard, C., ... Haygarth, P. M. (2018). Correction to: Organic phosphorus in the terrestrial environment: a perspective on the state of the art and future priorities (*Plant and Soil*, (2018), 427, 1-2, (191-208), 10.1007/s11104-017-3391-x). *Plant and Soil*, 427(1–2), 209–211. <https://doi.org/10.1007/S11104-017-3488-2/METRICS>
- Giordano, A., Malvicini, G. L., Turello, L., Meneghini, M., & Cattivello, C. (2021). Effects of different substrate formulations on production of coffee seedlings. *Acta Horticulturae*, 1305, 71–76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1305.10>
- Gómez, G. (2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, 45, 103–193.
- González-Huerta, A., Pérez-López, D. de J., Hernández-ávila, J., Ramón Pascual Franco-Marttnez, J., Balbuena-Melgarejo, A., & Rubí-Arriaga, M. (2024). Serie de experimentos para tratamientos anidados en grupos con arreglo de bloques completos balanceados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7), e3831–e3831. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V15I7.3831>
- Granssee, A., & Fühns, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368(1–2), 5–21. <https://doi.org/10.1007/S11104-012-1567-Y/FIGURES/5>
- Grillo, L. (2018). Coca, café y cacao: lucha contra las drogas y estrategias de vida en agricultores del valle del Monzón. *Debates En Sociología*, 47, 101–130. <https://doi.org/10.18800/debatesensociologia.201802.004>
- Gu, Y., Dong, K., Geisen, S., Yang, W., Yan, Y., Gu, D., Liu, N., Borisjuk, N., Luo, Y., & Friman, V. P. (2020). The effect of microbial inoculant origin on the rhizosphere bacterial community composition and plant growth-promotion. *Plant and Soil*, 452(1–2), 105–117. <https://doi.org/10.1007/S11104-020-04545-W/METRICS>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological,

- biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>,
- Hagmayer, A., Furness, A. I., Reznick, D. N., Dekker, M. L., & Pollux, B. J. A. (2020). Predation risk shapes the degree of placentation in natural populations of live-bearing fish. *Ecology Letters*, 23(5), 831–840. <https://doi.org/10.1111/ELE.13487>;SUBPAGE:STRING:FULL
- Han, Y., & Du, J. (2023). A comparative study of the effect of bacteria and yeasts communities on inoculated and spontaneously fermented apple cider. *Food Microbiology*, 111(October 2022), 104195. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104195>
- Hernández García, J., Frizzo, L., Rodríguez Fernández, J., Valdez Paneca, G., Virginia Zbrun, M., & Calero Herrera, I. (2019). Evaluación in vitro del potencial probiótico de *Lactobacillus acidophilus* SS80 y *Streptococcus thermophilus* SS77 In vitro evaluation of the probiotic potential of *Lactobacillus acidophilus* SS80 and *Streptococcus thermophilus* SS77. *Revista de Salud Animal*, 41(1), 2224–4700.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología, basado en zonas de vida* (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). (ed.); Tercera).
- Hosseini-Nasr, F., Etesami, H., & Alikhani, H. A. (2022). Silicon Improves Plant Growth-Promoting Effect of Nodule Non-Rhizobial Bacterium on Nitrogen Concentration of Alfalfa Under Salinity Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2022 23:1, 23(1), 496–513. <https://doi.org/10.1007/S42729-022-01061-X>
- Huan, L., Jin-qiang, W., & Qing, L. (2020). Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 253, 153265. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2020.153265>
- Huang, X. C., German, D. A., & Koch, M. A. (2020). Temporal patterns of diversification in Brassicaceae demonstrate decoupling of rate shifts and mesopolyploidization events. *Annals of Botany*, 125(1), 29–47. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCZ123>
- Huete Arrieta, Y. R., Torres Domínguez, J., & Domínguez Palacio, D. (2019). Comportamiento morfológico del Maíz inoculado con *Azotobacter chroococcum* a dosis reducida de fertilizante nitrogenado. *Avances*, ISSN-e 1562-3297, Vol. 21, N°. 2, 2019, Págs. 166-178, 21(2), 166–178.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7006742&info=resumen&idioma=SPA>
- Hung, B. M., Khoa, P. Van, Phuong, N. T. B., Van Quy, N., & Dell, B. (2023). Allometric

- relationships among tree-size variables under tropical forest stages in Gia Lai, Vietnam. *Ecological Questions*, 34(2). <https://doi.org/10.12775/EQ.2023.017>
- Ibrahim, A. A., Al-Shawi, S. G., & Al-Temimi, W. K. A. (2023). The antagonistic activity of the synbiotic containing *Lactobacillus acidophilus* and pineapple residue FOS against pathogenic bacteria. *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.258277>
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14–21.
- Jacobi, J., Lohse, L., & Milz, J. (2018). El cultivo de la hoja de coca en sistemas agroforestales dinámicos en los Yungas de La Paz. *Acta Nova*, 8(4), 604–630.
- Jácome Segovia, C. S., García Quintana, Y., Guerrero Rubio, J., Arteaga Crespo, Y., Lazo Pérez, Y., & Morales, A. (2019). Efecto de *Trichoderma harzianum* como bioestimulante en el crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla* en condiciones de vivero. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(1), 40–51.
- Jarrell, W. M., & Beverly, R. B. (1981). The Dilution Effect in Plant Nutrition Studies. *Advances in Agronomy*, 34(C), 197–224. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60887-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60887-1)
- Jizhong, Z., Ye, D., Feng, L., Zhili, H., Qichao, T., & Xiaoyang, Z. (2010). Functional Molecular Ecological Networks. *MBio*, 1(4), 10.1128/mbio.00169-10. <https://doi.org/10.1128/mbio.00169-10>
- Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., & Bello Amez, S. (2006). La materia orgánica, Importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants: Fourth edition. *Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition*, 1–520. <https://doi.org/10.1201/B10158/TRACE-ELEMENTS-SOILS-PLANTS-ALINA-KABATA-PENDIAS/RIGHTS-AND-PERMISSIONS>
- Kafková, V., Kubinec, R., Mikulec, J., Variny, M., Ondrejčková, P., Ház, A., & Brisudová, A. (2023). Integrated Approach to Spent Coffee Grounds Valorization in Biodiesel Biorefinery. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su15075612>
- Kakabouki, I., Tataridas, A., Mavroeidis, A., Kousta, A., Karydogianni, S., Zisi, C., Kouneli, V., Konstantinou, A., Folina, A., Konstantas, A., & Papastylianou, P. (2021). Effect of colonization of *trichoderma harzianum* on growth development and cbd content of hemp

- (*Cannabis sativa* L.). *Microorganisms*, 9(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030518>
- Kochian, L. V., Piñeros, M. A., & Hoekenga, O. A. (2005a). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274(1–2), 175–195. <https://doi.org/10.1007/S11104-004-1158-7/METRICS>
- Kochian, L. V., Piñeros, M. A., & Hoekenga, O. A. (2005b). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274(1–2), 175–195. <https://doi.org/10.1007/S11104-004-1158-7/METRICS>
- Kosma, D. K., Bourdenx, B., Bernard, A., Parsons, E. P., Lü, S., Joubès, J., & Jenks, M. A. (2009). The Impact of Water Deficiency on Leaf Cuticle Lipids of Arabidopsis. *Plant Physiology*, 151(4), 1918. <https://doi.org/10.1104/PP.109.141911>
- Kozak, M., & Piepho, H. P. (2018). What’s normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(1), 86–98. <https://doi.org/10.1111/jac.12220>
- Kumar, A., Choubey, D. K., Kumar, M., & Kumar, S. (2023). APP-Based Agriculture Information System for Rural Farmers in India. *Convergence of Cloud with AI for Big Data Analytics*, 257–276. <https://doi.org/10.1002/9781119905233.CH12>
- La Licata, M., Bosino, A., Bettoni, M., & Maerker, M. (2023). Assessing landscape features and geomorphic processes influencing sediment dynamics in a geomorphologically highly active Mediterranean agroecosystem: The upper Val d’Arda case study (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, 433(March), 108724. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108724>
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). Plant physiological ecology. *Plant Physiological Ecology*, 1–699. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1/COVER>
- Lambers, H., Wright, I. J., Guilherme Pereira, C., Bellingham, P. J., Bentley, L. P., Boonman, A., Cernusak, L. A., Foulds, W., Gleason, S. M., Gray, E. F., Hayes, P. E., Kooyman, R. M., Malhi, Y., Richardson, S. J., Shane, M. W., Staudinger, C., Stock, W. D., Swarts, N. D., Turner, B. L., ... Xu, Y. (2021). Leaf manganese concentrations as a tool to assess belowground plant functioning in phosphorus-impoverished environments. *Plant and Soil*, 461(1–2), 43–61. <https://doi.org/10.1007/S11104-020-04690-2/METRICS>
- Li, C., Dong, Y., Yi, Y., Tian, J., Xuan, C., Wang, Y., Wen, Y., & Cao, J. (2023). Effects of phosphogypsum on enzyme activity and microbial community in acid soil. *Scientific Reports*,

- 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33191-2>
- Li, N., Zhang, S. J., Zhao, Q., Long, Y., Guo, H., Jia, H. F., Yang, Y. X., Zhang, H. Y., Ye, X. F., & Zhang, S. T. (2018). Overexpression of tobacco GCN2 stimulates multiple physiological changes associated with stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 337966. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.00725/BIBTEX>
- Liao, H., Pal, R. W., Niinemets, Ü., Bahn, M., Cerabolini, B. E. L., & Peng, S. (2021). Different functional characteristics can explain different dimensions of plant invasion success. *Journal of Ecology*, *109*(3), 1524–1536. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13575>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Licea Herrera, J. I., Quiroz Velásquez, J. D. C., & Hernández Mendoza, J. L. (2020). Impacto De Azospirillum Brasilense, Una Rizobacteria Que Estimula La Producción Del Ácido Indol-3-Acético Como El Mecanismo De Mejora Del Crecimiento De Las Plantas En Los Cultivos Agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, *37*(1), 34–39. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.5>
- Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(1), F4.3.1-F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.FAF0403S01>
- Lima Tenório, M. K., Furmam Cherobim, F., Karas, P. R., Hyeda, D., Takahashi, W. Y., Pinto Junior, A. S., Galvão, C. W., Tenório Neto, E. T., & Etto, R. M. (2023). Azospirillum brasilense AbV5/6 encapsulation in dual-crosslinked beads based on cationic starch. *Carbohydrate Polymers*, *308*(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120631>
- Liu, K., Liu, Z., Zhou, N., Shi, X., Lock, T. R., Kallenbach, R. L., & Yuan, Z. (2022). Predicted increased P relative to N growth limitation of dry grasslands under soil acidification and alkalization is ameliorated by increased precipitation. *Soil Biology and Biochemistry*, *173*, 108812. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2022.108812>
- Liu, P., Yin, L., Wang, S., Zhang, M., Deng, X., Zhang, S., & Tanaka, K. (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in Sorghum bicolor L. *Environmental and Experimental Botany*, *111*, 42–51. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2014.10.006>
- Liu, S., Zhang, P., Wang, X., Hakeem, A., Niu, M., Song, S., Fang, J., & Shangguan, L. (2024).

- Comparative analysis of different bio-organic fertilizers on growth and rhizosphere environment of grapevine seedlings. *Scientia Horticulturae*, 324, 112587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112587>
- Llanos Machaca, M. Y. (2017). *Bacterias solubilizadoras de fosfato del género bacillus en suelos de la provincia de el Collao (Puno) y su efecto en la germinación y crecimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de invernadero*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Lončarić, Z., Varga, I., Nemet, F., Perić, K., Jović, J., Zebec, V., Ivezić, V., Iljkić, D., Galić, L., & Sudarić, A. (2024). Efficiency of Biofortification with Zn and Se in Soybean: Yield and Overall Mineral Content in Plant. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 11349, 14(23), 11349. <https://doi.org/10.3390/APP142311349>
- López-Bucio, J., Campos-Cuevas, J. C., Hernández-Calderón, E., Velásquez-Becerra, C., Farías-Rodríguez, R., Macías-Rodríguez, L. I., & Valencia-Cantero, E. (2007). Bacillus megaterium rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in Arabidopsis thaliana. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 20(2), 207–217. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-2-0207>,
- López Carmona, D., Gallegos, Á., Palma, D. J., Martín-Morales, G., Barragán-Maravilla, M., Hernández Vallecillo, G., & Bautista, F. (2021). Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: análisis espacial del territorio y conocimiento local. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2419>
- Lovon, J. H. S., & Curi, M. A. (2022). Bacterias solubilizadoras de fósforo inorgánico aislados de la rizósfera de Coffea americana en Rioja – Perú. *Ciencia e Investigacion*, 25(1), 11–15. <https://doi.org/10.15381/CI.V25I1.23466>
- Lynch, J. P. (2019). Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, 223(2), 548–564. <https://doi.org/10.1111/NPH.15738>;SUBPAGE:STRING:FULL
- Ma, T., Brus, D. J., Zhu, A. X., Zhang, L., & Scholten, T. (2020). Comparison of conditioned Latin hypercube and feature space coverage sampling for predicting soil classes using simulation from soil maps. *Geoderma*, 370, 114366. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114366>
- Malagón Castro, D. (2023). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - énfasis en génesis y

- aspectos ambientales. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(104), 319–342. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.27\(104\).2003.2082](https://doi.org/10.18257/raccefyn.27(104).2003.2082)
- Malta, M. R., Fassio, L. de O., Liska, G. R., Carvalho, G. R., Pereira, A. A., Botelho, C. E., Ferraz, V. P., Silva, A. D., Pedrosa, A. W., Alvaro, L. N., & Pereira, R. G. F. A. (2020). Influence of postharvest processing on the quality and sensory profile of groups of arabica coffee genotypes. *Food Research International*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109219>
- Mamani Rojas, P., Limachi Villalba, J., & Ortuño Castro, N. (2012). Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 17(1), 74–96. <https://doi.org/10.37066/RALAP.V17I1.189>
- Marschner. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants>
- Martínez-Viveros, O., Jorquera, M. A., Crowley, D. E., Gajardo, G., & Mora, M. L. (2010). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 293–319. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162010000100006>
- Martínez, C., Matorga, P., Lino, R., Ponce, N., Roldán, T., & A., B. (2008). Efecto de los fructooligosacáridos en la población bacteriana fecal de un neonato, criada en cultivo por lote. *Revista Red de Revistas Científicas de América Latina*, 39(1), 32–37.
- Mateo-Bonmatí, E., Casanova-Sáez, R., Šimura, J., & Ljung, K. (2021). Broadening the roles of UDP-glycosyltransferases in auxin homeostasis and plant development. *New Phytologist*, 232(2), 642–654. <https://doi.org/10.1111/NPH.17633>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Mathur, J., & Chauhan, P. (2020). *Mechanism of Toxic Metal Uptake and Transport in Plants* (pp. 335–349). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8636-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8636-1_13)
- Mazza, G., Agnelli, A. E., & Lagomarsino, A. (2021). The Effect of Tree Species Composition on Soil C and N Pools and Greenhouse Gas Fluxes in a Mediterranean Reforestation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 1339–1352. <https://doi.org/10.1007/S42729-021-00444-W/METRICS>
- Meena, V. S., Mishra, P. K., Bisht, J. K., & Pattanayak, A. (2017). Agriculturally important

- microbes for sustainable agriculture. *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, 2, 1–374. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6>
- Mehdiniyaafra, J., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., & Barari Tari, D. (2020). Effects of drought stress on some phytochemical characteristics of rice cultivars under different chemical and organic nutritional sources. *Journal of Plant Nutrition*, 44(8), 1193–1206. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1862196>
- Meter, A., Penot, E., Vaast, P., Etienne, H., Ponçon, E., & Bertrand, B. (2023). Coffee agroforestry business-driven clusters : an innovative social and environmental organisational model for coffee farm renovation. *Open Research Europe*, 2, 61. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14570.2>
- Migliore, J., Lézine, A. M., & Hardy, O. J. (2020). The recent colonization history of the most widespread Podocarpus tree species in Afromontane forests. *Annals of Botany*, 126(1), 73–83. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCAA049>
- Molina V, F. (2013). *Coloides del suelo. Propiedades y unión de iones* (Prensa CRC (ed.); 1ra edición). Boca Ratón. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b15349>
- Mondino, A. M. (2016). *Procesos químicos en los suelos. Su impacto en la salud ambiental. Dosis de fertilizantes, nutrientes biodisponibles en suelos agrícolas de la provincia de Santa Fe* [Universidad Nacional del Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/959/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montor Antonio, J. J., Olvera Carranza, C., Reyes Duarte, D., Sachman Ruiz, B., Ramírez Coutiño, L., & Del Moral, S. (2014). Revista Electrónica Nova Scientia Caracterización bioquímica de AmiJ33 , una amilasa de Bacillus amyloliquefaciens aislada de suelos cultivados con caña de azúcar en la región del Papaloapan Biochemical characterization of AmiJ33 an amylase from Bacillus. *Nova Scientia*, 6(2), 39.59.
- Morán Ruiz, F. S. (2007). *Efectividad del fraccionamiento de la dosis comercial  $3 \times 10^{11}$  UFC/ha de TRICHOZAM® (Trichoderma harzianum) en el crecimiento de las plántulas de siete cultivos hortícolas*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
- Morgan, L. (2021). Greenhouse operation and management. In *Hydroponics and protected cultivation: a practical guide*. <https://doi.org/10.1079/9781789244830.0047>
- Mosquera, M., & González, A. (2000). Fertilización nitrogenada y potásica en pradera mixta: I.

- Efecto sobre la composición botánica, el contenido en proteína y el nivel de macroelementos. *Pastos: Revista de La Sociedad Española Para El Estudio de Los Pastos*, 30(2), 241–260.
- Múnera Vélez, G. (2012). Manual general análisis de suelos y tejido vegetal. *Laboratorio Análisis de Suelos*, 40.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Murgas, R. D. E., Habana, P. L. A., Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., & González, P. J. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia la Habana. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 30–40.
- Nannipieri, P., Ascher-Jenull, J., Ceccherini, M. T., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2003). Microbial Diversity and Soil Functions. *European Journal of Soil Science - EUR J SOIL SCI*, 54. <https://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0556.x>
- Nápoles Vinent, S., Milanés Riquene, S., Hernández Forte, I., Morales Mena, B., & Nápoles Garcias, M. C. (2022). Rhizobia increases the germination of Coffea arabica and Coffea canephora seeds. Second evidence in Cuba. *Agronomia Mesoamericana*, 33(1). <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45719>
- Nerva, L., Garcia, J. F., Favaretto, F., Giudice, G., Moffa, L., Sandrini, M., Cantu, D., Zanzotto, A., Gardiman, M., Velasco, R., Gambino, G., & Chitarra, W. (2022). The hidden world within plants: metatranscriptomics unveils the complexity of wood microbiomes. *Journal of Experimental Botany*, 73(8), 2682–2697. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERAC032>
- Niki, Y., & Kuwatsuka, S. (1976). Degradation of diphenyl ether herbicides in soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 223–232. <https://doi.org/10.1080/00380768.1976.10432985>
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., & Moreira, V. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187.
- Orbiotec S.A.S. (2022). *TRICHO-D WP*. PROCOLOMBIA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. 100.
- Ortuño, N., Miranda, C., & Claros, M. (2013). Selección de cepas de Trichoderma spp. generadoras de metabolitos secundarios de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 1(1), 16–32.

<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2013.010100016>

- Ottos Díaz, E. (2015). *Relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de los suelos de la provincia de Leoncio Prado* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/173/AGR-628.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palma Ramos, J. A., Gayosso Rodríguez, S., & Estrada Botello, M. A. (2022). Rizobacterias y fertilización química en crecimiento y producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni (Asteraceae) en Tabasco, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081004>
- Panaifo Gómez, C. (2021). Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 3(5), 9–24.
- Patiño Torres, C., & Sanclemente, O. (2014). Los Microorganismos solubilizadores de Fosforo (MSF): Una Alternativa Biotecnológica Para Una Agricultura Sostenible. *Entramado*, 10(2), 288–297.
- Pedrosa Correo, I., Juarros Basterretxea Correo, J., Robles Fernández Correo, A., Basteiro Correo, J., & García Correo, C. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245–254. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy>
- Pepper, I. L., & Brooks, J. P. (2021). Soil microbial influences on “One Health.” In *Principles and Applications of Soil Microbiology, Third Edition*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820202-9.00025-3>
- Pethiyagoda, U., & Rajendram, S. (1965). The determination of leaf areas in tea. *Int.Tea Quart*, 36(2), 48–58. <http://dl.nsf.ac.lk/bitstream/handle/1/12677/TQ-36%282%29-48.pdf?sequence=2>
- Pittman, J. K. (2005). Managing the manganese: Molecular mechanisms of manganese transport and homeostasis. *New Phytologist*, 167(3), 733–742. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01453.x>
- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>

- Poschenrieder, C., Gunsé, B., Corrales, I., & Barceló, J. (2008). A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Science of the Total Environment*, 400(1–3), 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.003>
- Quintana, O. C., Mejía, O. B., Diana, /, & Martínez, V. M. (2012). Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Corporación Universitaria Lasallista*, 45(1), 1–10.
- Rajan, K. C., Sharma, K., Raychowdhury, P., Acharya, I. P., Burnwal, M. L., & Misra, J. (2023). State-of-the-art review of composite caisson-pile foundation (CCPF). *Applied Ocean Research*, 136(April), 103571. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103571>
- Raudes Reyes, M. G. (2006). *Efecto de la aplicación de TRICHOZAM® (Trichoderma harzianum) en la promoción del rendimiento de tomate, chile dulce y pepino en invernaderos de Zamorano*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
- Rengel, Z. (2015). Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2), 397–409. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000036>
- Renzaglia, K. S., Browning, W. B., & Merced, A. (2020). With Over 60 Independent Losses, Stomata Are Expendable in Mosses. *Frontiers in Plant Science*, 11, 535511. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00567/BIBTEX>
- Rivière, L. M., & Caron, J. (2001). Research on substrates: State of the art and need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, 548, 29–41. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2001.548.1>
- Rodríguez, D., & Vargas, J. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*, 46(2), 47–60.
- Rodríguez, K., Monreal, C., Huerta, J., Soria, J., & Jarquín, R. (2013). Aporte de Microorganismos Benéficos por la Incorporación al Suelo de Residuos Deshidratados de Col (Brassica oleracea var capitata) y su Efecto en el pH. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(1), 29–44.
- Rodríguez, M. E. M. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 38, 315–332. <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3057-y>
- Rodríguez Moreno, M. A., & Hidalgo Montoya, C. A. (2005). Comportamiento de suelos residuales de diorita estabilizados con cal y su evolución en el tiempo. *Revista Ingenieras*, 4(6), 111–122.
- Rodríguez, S. C., & Loynaz, I. A. (2018). *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus oryzae*:

- estimuladores y modificadores de la fermentación y crecimiento microbiano ruminal. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 1–9.
- Rojas, T. N., Zampini, I. C., Isla, M. I., & Blendinger, P. G. (2022). Fleshy fruit traits and seed dispersers: which traits define syndromes? *Annals of Botany*, 129(7), 831–838. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCAB150>
- Romeijn, J. W. (2011). Statistics as Inductive Inference. *Philosophy of Statistics: Volume 7 in Handbook of the Philosophy of Science*, 7, 751–774. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51862-0.50024-1>
- Romero-Aranda, M. R., González-Fernández, P., López-Tienda, J. R., López-Díaz, M. R., Espinosa, J., Granum, E., Traverso, J. Á., Pineda, B., García-Sogo, B., Moreno, V., Asins, M. J., & Belver, A. (2020). Na<sup>+</sup> transporter HKT1;2 reduces flower Na<sup>+</sup> content and considerably mitigates the decline in tomato fruit yields under saline conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 341–352. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2020.05.012>
- Rosabal Ayan, L., Macías Coutiño, P., Maza González, M., López Vázquez, R., & Guevara Hernández, F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*, 1(1), 104–119. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Rouwane, A., Grybos, M., Bourven, I., Rabiet, M., & Guibaud, G. (2017). Waterlogging and soil reduction affect the amount and apparent molecular weight distribution of dissolved organic matter in wetland soil: a laboratory study. *Soil Research*, 56(1), 28–38. <https://doi.org/10.1071/SR16308>
- Ruiz, A. C., Ruiz, E. C., Gómez, L. A., Mondragón, H. N., Maass, S. F., Bernal, G. N., & Reyes, B. R. (2012). Microbial Biomass in Mountain Soils with Different Uses : a Laboratory Study. *Red de Revistas Científicas de América Latina Y El Caribe*, 30(3), 221–228.
- Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 515(1977), 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0515>
- Sánchez Escalante, J. A. (2015). *Plan de Manejo de Café en el ámbito de los valles del Rio Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM)*. 1–68.
- Sánchez Hernández, Rufo; Ordaz Chaparro, Víctor M.; Palma López, David Jesús; Sánchez Bolón, J. (2006). *El vermicompostaje: elemento útil en la agricultura sustentable* (Colegio de Postgraduados. Campus (ed.)).

- Sánchez Rodríguez, M. (2015). *Análisis físico-químico de suelos* (Universidad Nacional Agraria de la Selva (ed.)).
- Santillana, N., Arellano, C., & Zúñiga, D. (2005). CAPACIDAD DEL Rhizobium DE PROMOVER EL CRECIMIENTO EN PLANTAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Miller. *Ecología Aplicada*, 4(1–2), 47. <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.297>
- Sanzano, A., & Fadda, G. (2009). Características de los suelos para caña de azúcar. *Manual Del Cañero*.
- Schmidt, W., Thomine, S., & Buckhout, T. J. (2020). Editorial: Iron Nutrition and Interactions in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 10(January), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01670>
- SERFI. (2021). *BACTHON® SC Ficha Técnica*.
- Serfi S.A. (2021). *Tricho D®*. SERFI S.A.
- Sharma, A., Sharma, H., & Upadhyay, S. K. (2021). Cation transporters in plants: An overview. *Cation Transporters in Plants*, 1–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85790-1.00011-7>
- Shipley, B. (2006). Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: Which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology*, 20(4), 565–574. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2435.2006.01135.X;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>
- Shipley, B. (2016). Cause and Correlation in Biology: A User's Guide to Path Analysis, Structural Equations and Causal Inference with R. *Cause and Correlation in Biology*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139979573>
- Silvestre Perú S.A.C. (2020). *T-22®*. SILVESTRE PERÚ S.A.C.
- Song, Z., Lai, X., Yao, Y., Qin, J., Ding, X., Zheng, Q., Pang, X., Chen, W., Li, X., & Zhu, X. (2022). F-box protein EBF1 and transcription factor ABI5-like regulate banana fruit chilling-induced ripening disorder. *Plant Physiology*, 188(2), 1312–1334. <https://doi.org/10.1093/PLPHYS/KIAB532>
- Soto Álvarez, J. (2012). Análisis coste-beneficio. *Evaluación Económica de Medicamentos y Tecnologías Sanitarias*., 85–92. [https://doi.org/10.1007/978-84-940346-6-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-84-940346-6-4_7)
- Sposito, G. (2008). The Chemical Composition of Soils. *The Chemistry of Soils*, 2–24. <https://global.oup.com/academic/product/the-chemistry-of-soils-9780195313697>
- Srivastava, A. K., Lu, Y., Zinta, G., Lang, Z., & Zhu, J. K. (2018). UTR-Dependent Control of Gene Expression in Plants. *Trends in Plant Science*, 23(3), 248–259.

<https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2017.11.003/ATTACHMENT/CE4F8460-6327-4559-9C0F-1F72DF79D2B8/MMC1.PDF>

- Stanton, C., Sanders, D., Kraemer, U., & Podar, D. (2021). Zinc in plants: Integrating homeostasis and biofortification. *Molecular Plant*, *15*. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.008>
- Steinauer, K., Thakur, M., Hannula, S., Weinhold, A., Uthe, H., Dam, N., & Bezemer, T. . (2023). Root exudates and rhizosphere microbiomes jointly determine temporal shifts in plant-soil feedbacks. *Plant, Cell & Environment*, *46*, 1885–1899. <https://doi.org/10.1111/pce.14570>
- Strojny, Z., & Nowak, J. S. (2004). Effect of different growing media on the growth of some bedding plants. *Acta Horticulturae*, *644(V)*, 157–162. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.19>
- Suárez, N. R. (2012). La revolución en la toma de decisiones estadísticas : el p-valor. *Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, *14(3)*, 439–446.
- Tadayon, M. S. (2020). The role of nutritional management in improving the symptoms of citrus decline. *Journal of Plant Nutrition*, *43(10)*, 1555–1570. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1730897;SUBPAGE:STRING:ACCESS>
- Taiz, L. Z., E, M., I, M., & Murphy, A. (2015). Plant Physiology and Development. *Scientific Research Publishing*. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1752778>
- Tan, C. M., Li, C. H., Tsao, N. W., Su, L. W., Lu, Y. T., Chang, S. H., Lin, Y. Y., Liou, J. C., Hsieh, L. C., Yu, J. Z., Sheue, C. R., Wang, S. Y., Lee, C. F., & Yang, J. Y. (2016). Phytoplasma SAP11 alters 3-isobutyl-2-methoxypyrazine biosynthesis in *Nicotiana benthamiana* by suppressing NbOMT1. *Journal of Experimental Botany*, *67(14)*, 4415–4425. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERW225>
- Tavera, D., Hernández, J., Gérard, U., & Sánchez, M. (2017). Inoculación de *Trichoderma harzianum* en *Zea mays* y su efecto a la adición del fertilizante Inoculation of *Trichoderma harzianum* on *Zea mays* its effect on the addition of nitrogen fertilizer at 50 % Resumen Introducción En la producción mundial de la gramí. *Journal of the Selva Andina Research Society*, *8(2)*, 115–123.
- Tejedor T., F. J. (2003). *Aplicaciones diversas del análisis de varianza*. Cuadernos Estadística. Cuaderno Estadístico (Cuadernos Estadística (ed.); Editorial).
- Telles, T. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2023). Economic value of biological nitrogen

- fixation in soybean crops in Brazil. *Environmental Technology and Innovation*, *31*, 103158. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158>
- Thomas, E., Atkinson, R., Zavaleta, D., Rodriguez, C., Lastra, S., Arango, K., Pezo, A., Aguilar, J., Tames, M., Ramos, A., Cruz, W., Cosme, R., Espinoza, E., Chavez, C. R., & Ladd, B. (2023). The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru. *Science of The Total Environment*, *881*(December 2022), 163372. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163372>
- Tiemann, L. K., & Grandy, A. S. (2015). Mechanisms of soil carbon accrual and storage in bioenergy cropping systems. *GCB Bioenergy*, *7*(2), 161–174. <https://doi.org/10.1111/GCBB.12126>
- Torsvik, V., Salte, K., Sorheim, R., & Goksoyr, J. (1990). Comparison of phenotypic diversity and DNA heterogeneity in a population of soil bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, *56*(3), 776–781. <https://doi.org/10.1128/AEM.56.3.776-781.1990>
- Universidad Nacional de la Plata [UNLP]. (2020). El suelo Agrícola. In *Escuela universitaria de oficios*.
- Vale, S. S., Fuller, I. C., Procter, J. N., Basher, L. R., & Smith, I. E. (2016). Characterization and quantification of suspended sediment sources to the Manawatu River, New Zealand. *Science of The Total Environment*, *543*, 171–186. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.11.003>
- Valentine, A. J., Kleinert, A., & Benedito, V. A. (2017). Adaptive strategies for nitrogen metabolism in phosphate deficient legume nodules. *Plant Science*, *256*, 46–52. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2016.12.010>
- Vallejo-Marín, M., & Barrett, S. C. H. (2009). Modification of flower architecture during early stages in the evolution of self-fertilization. *Annals of Botany*, *103*(6), 951–962. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCP015>
- Van Groenigen, J. W., Huygens, D., Boeckx, P., Kuyper, T., Lubbers, I. M., Rütting, T., & Groffman, P. (2015). The soil N cycle: new insights and key challenges. *SOIL*, *1*, 235–256. <https://doi.org/10.5194/soil-1-235-2015>
- Van Langenhove, L., Depaepe, T., Vicca, S., van den Berge, J., Stahl, C., Courtois, E., Weedon, J., Urbina, I., Grau, O., Asensio, D., Peñuelas, J., Boeckx, P., Richter, A., Van Der Straeten, D., & Janssens, I. A. (2020). Regulation of nitrogen fixation from free-living organisms in soil and leaf litter of two tropical forests of the Guiana shield. *Plant and Soil*, *450*(1–2), 93–

110. <https://doi.org/10.1007/S11104-019-04012-1/METRICS>
- Vandoorn, A., Bonaventure, G., Rogachev, I., Aharoni, A., & Baldwin, I. T. (2011). JA-Ile signalling in *Solanum nigrum* is not required for defence responses in nature. *Plant, Cell and Environment*, 34(12), 2159–2171. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3040.2011.02412.X>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Vargas G., G., Brodribb, T. J., Dupuy, J. M., González-M., R., Hulshof, C. M., Medvigy, D., Allerton, T. A. P., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Schwartz, N. B., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., & Powers, J. S. (2021). Beyond leaf habit: generalities in plant function across 97 tropical dry forest tree species. *New Phytologist*, 232(1), 148–161. <https://doi.org/10.1111/NPH.17584>;SUBPAGE:STRING:FULL
- Vega, M. E. G., Rodríguez, A. H., Díaz, Y. H., Espino, J. Á. L., Viva, M. F., Ardisana, E. F. H., & Pérez-Álvarez, S. (2020). Characterization and plant growth promoting potential of microbial groups associated with a *Coffea* sp. collection. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(5), 358–367. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i5.2105>
- Vu, T. Q. (2023). The potential of Plant Residues and Industrial Sewage Sludge as Organic Fertilizers, and their Effect on Soil pH and Moisture of Acid Sulfate Soil. *Malaysian Journal of Soil Science*, 27(78), 1–7.
- Vuosku, J., Karppinen, K., Muilu-Mäkelä, R., Kusano, T., Sagor, G. H. M., Avia, K., Alakärppä, E., Kestilä, J., Suokas, M., Nickolov, K., Hamberg, L., Savolainen, O., Häggman, H., & Sarjala, T. (2018). Scots pine aminopropyltransferases shed new light on evolution of the polyamine biosynthesis pathway in seed plants. *Annals of Botany*, 121(6), 1243–1256. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCY012>
- Wang, H., Zhang, Y., Hou, J., Liu, W., Huang, J., & Liang, W. (2019). Nitric oxide mediates aluminum-induced citrate secretion through regulating the metabolism and transport of citrate in soybean roots. *Plant and Soil*, 435(1–2), 127–142. <https://doi.org/10.1007/S11104-018-3879-Z/METRICS>
- Weerasinghe, L. K., Creek, D., Crous, K. Y., Xiang, S., Liddell, M. J., Turnbull, M. H., & Atkin, O. K. (2014). Canopy position affects the relationships between leaf respiration and associated traits in a tropical rainforest in Far North Queensland. *Tree Physiology*, 34(6), 564–584. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/TPU016>,
- Wei, Y., Hu, H., Lun, Z. R., & Li, Z. (2014). Centrin3 in trypanosomes maintains the stability of a

- flagellar inner-arm dynein for cell motility. *Nature Communications* 2014 5:1, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms5060>
- Wendel, A. S., Bauke, S. L., Amelung, W., & Knief, C. (2022). Root-rhizosphere-soil interactions in biopores. *Plant and Soil* 2022 475:1, 475(1), 253–277. <https://doi.org/10.1007/S11104-022-05406-4>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in Plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487–511. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCG164>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1), 49–84. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2008.02738.X>
- World Coffee Research. (2019). Las Variedades del Café Arábica. *World Coffee Research*, 30. [https://worldcoffeeresearch.org/media/documents/las\\_variedades\\_del\\_cafe\\_arabica\\_v2\\_feb\\_2018.pdf](https://worldcoffeeresearch.org/media/documents/las_variedades_del_cafe_arabica_v2_feb_2018.pdf)
- Wright, I. J., Dong, N., Maire, V., Prentice, I. C., Westoby, M., Díaz, S., Gallagher, R. V., Jacobs, B. F., Kooyman, R., Law, E. A., Leishman, M. R., Niinemets, Ü., Reich, P. B., Sack, L., Villar, R., Wang, H., & Wilf, P. (2017). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, 357(6354), 917–921. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAL4760/SUPPL\\_FILE/AAL4760-WRIGHT-SM\\_DATA\\_SET\\_S1.XLSX](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAL4760/SUPPL_FILE/AAL4760-WRIGHT-SM_DATA_SET_S1.XLSX)
- Yingqi, H., Lv, Y., Zhang, J., Ahmad, N., Li, Y., Wang, N., Xiuming, L., Na, Y., & Li, X. (2022). Identification and functional characterization of safflower cysteine protease 1 as negative regulator in response to low-temperature stress in transgenic Arabidopsis. *Planta*, 255(5), 1–19. <https://doi.org/10.1007/S00425-022-03875-6/METRICS>
- Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5), 409–430. <https://doi.org/10.1071/FP08288>
- Zafar, K., Khan, M. Z., Amin, I., Mukhtar, Z., Yasmin, S., Arif, M., Ejaz, K., & Mansoor, S. (2020). Precise CRISPR-Cas9 Mediated Genome Editing in Super Basmati Rice for Resistance Against Bacterial Blight by Targeting the Major Susceptibility Gene. *Frontiers in Plant Science*, 11, 532184. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00575/BIBTEX>
- Zhang, M., Luo, Y., Zhu, Y., Zhang, H., Wang, X., Li, W., Li, P., & Han, J. (2023). Insights into the mechanisms underlying the biodegradation of phenanthrene in biochar-amended soil: from bioavailability to soil microbial communities. *Biochar*, 5(1), 1–17.

<https://doi.org/10.1007/s42773-023-00213-1>

- Zhang, N., Yang, G., Pan, Y., Yang, X., Chen, L., & Zhao, C. (2020). A review of advanced technologies and development for hyperspectral-based plant disease detection in the past three decades. *Remote Sensing*, *12*(19), 1–34. <https://doi.org/10.3390/rs12193188>
- Zhang, Q., Wang, B., Wei, J., Wang, X., Han, Q., & Kang, Z. (2018). TaNTF2, a contributor for wheat resistance to the stripe rust pathogen. *Plant Physiology and Biochemistry*, *123*, 260–267. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2017.12.020>
- Zhao, J., Xiao, J., Zhang, W., Fu, Z., Zhang, M., Liu, T., Tan, Q., & Wang, K. (2019). A method for estimating nematode body lengths for use in the calculation of biomass via a simplified formula. *Soil Biology and Biochemistry*, *134*, 36–41. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2019.03.021>
- Zhao, Y., Liu, S., Yang, Q., Liu, X., Xu, Y., Zhou, Z., Han, X., & Mao, J. (2023). Effects of simultaneous inoculation of non-Saccharomyces yeasts and *Saccharomyces cerevisiae* jiangnan1# on overall quality, flavor compounds, and sensory analysis of Huangjiu. *Food Bioscience*, *53*(November 2022), 102539. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102539>
- Zhou, H., & Von Schwartzenberg, K. (2020). Zygnematophyceae: from living algae collections to the establishment of future models. *Journal of Experimental Botany*, *71*(11), 3296–3304. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERAA091>
- Zhu, Q., Xu, P., Lei, L., & Jing, Y. (2022). Transcriptome analysis reveals decreased accumulation and toxicity of Cd in upland rice inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, *177*, 104501. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2022.104501>

## **ANEXOS**

**Tabla 27.** Datos de la evaluación de número de hojas y altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Bloque	Trat.	Número de hojas							Altura de la planta						
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
I	T <sub>1</sub>	0	1,5	3,5	4,5	6	7,5	8,5	4,12	5,225	6,237	7,3	8,712	10,3	12,65
	T <sub>2</sub>	0	2	3,5	4,5	6	6,75	8,25	3,75	5,15	6,212	7,415	8,725	10,137	11,6987
	T <sub>3</sub>	0	1,75	3,12	4,12	5	6,12	5,37	5	6,862	7,262	7,987	8,425	8,8	9,075
	T <sub>4</sub>	0	1,25	2	3,25	4,25	4,75	5,25	5,5	5,812	6,35	6,725	7,212	7,6375	7,925
	T <sub>5</sub>	0	1,75	2,25	2,75	3,75	3,87	4,75	5,25	5,712	6,112	6,537	6,8	7,075	7,175
	T <sub>6</sub>	0	1,75	2,5	3	3,75	4,5	5	4,75	5,625	6,1	6,937	6,987	7,05	7,25
	T <sub>7</sub>	0	1,87	2,75	3,5	4,5	4,37	4,62	5	6	6,5	6,85	6,975	7,15	7,2625
	T <sub>8</sub>	0	1	1,75	2,75	4,25	4,75	4,75	4,12	5,087	5,875	6,137	6,325	6,6625	6,8625
II	T <sub>1</sub>	0	2	3,5	4,25	6	7,25	8,25	4,87	5,862	6,475	7,437	8,625	10,15	11,6375
	T <sub>2</sub>	0	2	3,25	4,25	5,75	7	8,5	5,37	6,175	6,925	7,725	8,6	9,6875	11,4
	T <sub>3</sub>	0	2	2,5	3,75	4,5	5,25	4,5	4,62	6,062	6,575	7,287	7,537	7,7875	7,95
	T <sub>4</sub>	0	1,75	2,5	4,25	5,25	5,37	5,62	5,12	6,137	6,75	7,6	7,887	8,175	8,2875
	T <sub>5</sub>	0	1,5	1,12	2,25	2,87	2,62	4,25	5,37	6,362	6,712	6,812	7,012	7,6625	7,8
	T <sub>6</sub>	0	1	2	2,25	3,25	4	3,87	4,62	5,4	5,625	5,95	6,012	6,2	6,225
	T <sub>7</sub>	0	1,25	2	2,75	3,75	3,37	4,62	5,37	6,087	6,762	7,137	7,25	7,3375	7,4625
	T <sub>8</sub>	0	1,62	1,75	1,87	3,5	3,75	4,12	4,87	5,512	5,65	5,887	5,987	6,175	6,225
III	T <sub>1</sub>	0	2	2	4	6	5,87	7,87	4,87	5,725	6,2	7,175	8,237	9,2875	11,1375
	T <sub>2</sub>	0	1,75	1,75	4	5,25	6	7,75	4,25	5,187	5,712	6,687	7,8	8,825	10,675
	T <sub>3</sub>	0	2	2	4	4,75	5,62	5,62	4,37	5,887	6,35	6,9	7,075	7,475	7,675
	T <sub>4</sub>	0	2,12	2,25	4	4,5	5,62	5,75	4,5	5,487	5,912	6,262	6,625	6,875	7,2125
	T <sub>5</sub>	0	1,75	1,87	2,37	3,12	3,62	3,75	4,12	5,65	5,812	6,137	6,225	6,375	6,45
	T <sub>6</sub>	0	2,25	2,5	2	3,5	3,37	3,87	4,5	5,05	5,45	5,75	5,912	6,025	6,0625
	T <sub>7</sub>	0	2	2,5	3,25	3,87	4	3,87	4,62	5,15	5,537	6	6,175	6,325	6,3875
	T <sub>8</sub>	0	1	2,5	3	3,37	3,37	3,62	4	4,837	5,4	5,525	5,825	6,05	6,1875
IV	T <sub>1</sub>	0	2	3,25	4,25	6	7,25	8	4	5,612	6,737	8,075	9,812	11,075	12,45
	T <sub>2</sub>	0	2	2,75	4	6	6,5	8	4,65	5,975	6,762	7,912	9,112	10,337	12,025
	T <sub>3</sub>	0	1,62	2,87	3,62	4,5	5,37	5,37	3,87	5,362	5,862	6,337	6,662	7,2125	7,4375
	T <sub>4</sub>	0	1	2	3,75	4,25	5,5	5,5	4,12	5,087	5,875	6,312	6,75	7,25	7,7375
	T <sub>5</sub>	0	1,75	2	2,25	3,25	3,75	3,62	4,37	5,225	5,625	6	6,062	6,275	6,3625
	T <sub>6</sub>	0	1,5	1,75	2	3,25	3,75	3,75	4,37	4,775	5,087	5,2	5,275	5,4375	5,4875
	T <sub>7</sub>	0	2	2,12	2,5	3,75	4	4	4,37	4,887	5,4	5,6	5,887	5,975	6,125
	T <sub>8</sub>	0	1,75	2,25	2,75	3,87	4,12	5,12	4,37	5,162	5,525	6,012	6,15	6,3625	6,8

**Tabla 28.** Datos de evaluación de diámetro de la planta y respiración de suelos, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Bloque	Trat.	Diámetro de la planta							Respiración de suelos					
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	1°	2°	3°	4°	5°	6°
I	T <sub>1</sub>	2.164	2.335	2.358	2.446	2.546	2.633	2.960	0.257	0.039	0.007	0.005	0.002	0.001
	T <sub>2</sub>	2.240	2.362	2.404	2.408	2.591	2.661	2.860	0.260	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>3</sub>	2.316	2.633	2.675	2.756	2.814	2.903	2.941	0.255	0.038	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>4</sub>	2.261	2.408	2.444	2.451	2.560	2.655	2.660	0.255	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>5</sub>	2.029	2.270	2.296	2.326	2.340	2.356	2.358	0.259	0.038	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>6</sub>	2.043	2.164	2.188	2.251	2.276	2.283	2.305	0.259	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>7</sub>	1.980	2.363	2.366	2.403	2.450	2.455	2.515	0.260	0.040	0.010	0.006	0.002	0.001
	T <sub>8</sub>	2.248	2.331	2.343	2.358	2.405	2.419	2.483	0.263	0.039	0.008	0.006	0.002	0.001
II	T <sub>1</sub>	1.984	2.078	2.191	2.245	2.561	2.625	2.800	0.260	0.041	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>2</sub>	2.040	2.208	2.309	2.378	2.583	2.650	2.819	0.259	0.041	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>3</sub>	1.904	2.230	2.278	2.340	2.455	2.471	2.491	0.254	0.039	0.007	0.005	0.002	0.001
	T <sub>4</sub>	2.010	2.385	2.425	2.448	2.569	2.573	2.600	0.254	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>5</sub>	2.115	2.249	2.260	2.276	2.318	2.318	2.355	0.255	0.039	0.007	0.006	0.002	0.001
	T <sub>6</sub>	2.134	2.276	2.295	2.298	2.301	2.303	2.320	0.254	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>7</sub>	1.999	2.110	2.213	2.220	2.294	2.303	2.351	0.255	0.039	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>8</sub>	1.828	2.039	2.046	2.056	2.070	2.074	2.191	0.246	0.039	0.008	0.006	0.002	0.001
III	T <sub>1</sub>	1.898	2.088	2.155	2.240	2.473	2.485	2.780	0.246	0.040	0.007	0.006	0.002	0.001
	T <sub>2</sub>	2.011	2.233	2.299	2.320	2.603	2.720	2.816	0.257	0.041	0.007	0.006	0.002	0.001
	T <sub>3</sub>	1.846	2.159	2.225	2.248	2.435	2.490	2.529	0.279	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>4</sub>	1.853	2.141	2.219	2.231	2.311	2.398	2.458	0.255	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>5</sub>	1.820	1.883	2.006	2.014	2.094	2.129	2.181	0.259	0.041	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>6</sub>	1.840	1.958	2.033	2.061	2.099	2.140	2.169	0.254	0.040	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>7</sub>	1.815	1.913	2.039	2.121	2.241	2.241	2.266	0.257	0.040	0.008	0.006	0.002	0.001
	T <sub>8</sub>	1.759	1.949	2.038	2.041	2.123	2.184	2.215	0.254	0.039	0.009	0.006	0.002	0.001
IV	T <sub>1</sub>	1.849	1.978	2.084	2.415	2.589	2.701	2.928	0.255	0.042	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>2</sub>	1.774	2.273	2.283	2.323	2.435	2.518	2.789	0.282	0.042	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>3</sub>	1.849	1.918	1.996	2.065	2.264	2.276	2.410	0.259	0.040	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>4</sub>	1.746	2.063	2.076	2.145	2.246	2.253	2.396	0.259	0.040	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>5</sub>	1.914	2.034	2.048	2.058	2.144	2.145	2.161	0.263	0.041	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>6</sub>	1.751	2.010	2.030	2.043	2.085	2.085	2.088	0.291	0.039	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>7</sub>	1.785	1.979	1.993	2.038	2.130	2.144	2.161	0.314	0.035	0.009	0.006	0.002	0.001
	T <sub>8</sub>	1.843	2.125	2.145	2.156	2.194	2.235	2.251	0.311	0.037	0.009	0.006	0.002	0.001

**Tabla 29.** Datos de evaluación del peso fresco, seco de la planta y raíz, volumen y longitud de raíz, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Bloque	Trat.	Peso fresco		Peso seco		Tasa de volumen de raíz	Longitud de raíz
		Planta	Raíz	Planta	Raíz		
I	T <sub>1</sub>	4,692	0,907	1,241	0,606	1,150	2,633
	T <sub>2</sub>	4,29	0,712	1,139	0,545	0,528	2,661
	T <sub>3</sub>	1,946	0,488	0,611	0,473	0,425	2,903
	T <sub>4</sub>	1,639	0,369	0,535	0,403	0,338	2,655
	T <sub>5</sub>	1,219	0,338	0,405	0,335	0,150	2,356
	T <sub>6</sub>	1,365	0,363	0,473	0,399	0,288	2,283
	T <sub>7</sub>	1,480	0,388	0,514	0,374	0,313	2,455
	T <sub>8</sub>	1,299	0,254	0,464	0,352	0,163	2,419
II	T <sub>1</sub>	4,248	0,611	1,201	0,585	0,675	2,625
	T <sub>2</sub>	4,637	0,662	1,134	0,690	0,963	2,650
	T <sub>3</sub>	1,269	0,260	0,441	0,367	0,188	2,471
	T <sub>4</sub>	1,661	0,335	0,527	0,352	0,250	2,573
	T <sub>5</sub>	1,085	0,275	0,370	0,327	0,313	2,318
	T <sub>6</sub>	0,874	0,206	0,316	0,258	0,175	2,303
	T <sub>7</sub>	1,107	0,261	0,395	0,332	0,138	2,303
	T <sub>8</sub>	0,848	0,138	0,322	0,292	1,125	2,074
III	T <sub>1</sub>	3,908	0,544	0,904	0,560	0,550	2,485
	T <sub>2</sub>	3,948	0,633	1,148	0,646	0,650	2,720
	T <sub>3</sub>	1,571	0,275	0,579	0,387	0,213	2,490
	T <sub>4</sub>	1,563	0,308	0,468	0,340	1,200	2,398
	T <sub>5</sub>	0,916	0,218	0,358	0,312	0,250	2,129
	T <sub>6</sub>	0,676	0,162	0,349	0,294	0,600	2,140
	T <sub>7</sub>	0,972	0,245	0,416	0,380	0,250	2,241
	T <sub>8</sub>	1,001	0,210	0,388	0,307	0,250	2,184
IV	T <sub>1</sub>	4,150	0,661	1,226	0,631	0,650	2,701
	T <sub>2</sub>	3,204	0,434	1,052	0,613	0,338	2,518
	T <sub>3</sub>	1,038	0,164	0,538	0,330	0,105	2,276
	T <sub>4</sub>	1,468	0,223	0,509	0,404	0,158	2,253
	T <sub>5</sub>	0,868	0,214	0,364	0,333	0,173	2,145
	T <sub>6</sub>	0,725	0,103	0,332	0,306	0,073	2,085
	T <sub>7</sub>	1,115	0,207	0,420	0,364	0,138	2,144
	T <sub>8</sub>	1,286	0,202	0,481	0,377	0,123	2,235

**Tabla 30.** Datos de la evaluación del área foliar, clorofila (a, b y a+b) y pH, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Bloque	Trat.	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Clorofila			pH
			a	b	a+b	
I	T <sub>1</sub>	132,23	27,86	7,43	35,29	5,50
	T <sub>2</sub>	115,4	26,56	7,03	33,59	5,41
	T <sub>3</sub>	38,41	21,84	5,16	26,96	4,70
	T <sub>4</sub>	33,61	21,94	4,51	26,45	4,70
	T <sub>5</sub>	19,10	26,04	5,94	31,98	3,40
	T <sub>6</sub>	21,41	23,79	5,31	29,10	3,40
	T <sub>7</sub>	27,48	23,01	5,05	28,06	3,80
	T <sub>8</sub>	25,22	23,59	5,66	29,25	3,70
II	T <sub>1</sub>	102,40	26,45	6,88	33,33	5,20
	T <sub>2</sub>	130,25	28,23	7,39	35,61	5,40
	T <sub>3</sub>	19,95	21,25	4,76	26,01	4,74
	T <sub>4</sub>	35,90	22,16	4,48	26,64	4,40
	T <sub>5</sub>	13,25	20,81	4,59	25,35	3,30
	T <sub>6</sub>	10,43	21,09	3,10	24,14	3,30
	T <sub>7</sub>	18,67	20,40	4,91	25,31	3,80
	T <sub>8</sub>	14,20	20,45	4,51	24,96	3,80
III	T <sub>1</sub>	110,18	39,01	7,85	46,86	5,00
	T <sub>2</sub>	109,68	35,14	7,40	42,59	5,10
	T <sub>3</sub>	35,34	37,39	5,18	42,56	4,60
	T <sub>4</sub>	33,37	37,28	4,94	42,21	4,70
	T <sub>5</sub>	13,94	35,54	5,18	40,71	3,30
	T <sub>6</sub>	13,09	16,69	3,75	20,44	3,20
	T <sub>7</sub>	18,00	33,01	4,65	37,66	3,80
	T <sub>8</sub>	20,03	22,77	5,04	27,81	3,90
IV	T <sub>1</sub>	113,63	51,20	6,71	57,91	5,30
	T <sub>2</sub>	107,23	60,88	7,50	68,39	5,30
	T <sub>3</sub>	27,24	36,66	4,63	41,29	4,60
	T <sub>4</sub>	37,07	37,55	4,33	41,88	4,60
	T <sub>5</sub>	14,39	35,50	5,08	40,58	3,30
	T <sub>6</sub>	15,27	41,48	4,59	46,08	3,20
	T <sub>7</sub>	20,76	41,42	4,50	45,93	3,80
	T <sub>8</sub>	25,24	43,70	5,19	48,89	3,80

**Tabla 31.** Total, de microorganismos según los tratamientos en estudio, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Bloque	Tratamiento	Recuento de microorganismos				
		NMVA ufc/gr suelo	Lactobacillus ufc/gr suelo	Bacterias fijadoras de N ufc/gr suelo	Mohos y Levaduras ufc/gr suelo	Actinomycetos ufc/gr suelo
I	T1	9E+03	3,0E+03	2,20E+04	5E+03	1,9E+04
	T2	1,3E+04	1,0E+03	3,00E+03	4E+03	2,2E+04
	T3	9E+03	1,0E+05	5,00E+03	5E+03	2,4E+04
	T4	7E+03	6,0E+03	1,20E+04	4E+03	2,9E+04
	T5	4E+03	1,1E+04	2,00E+03	4E+03	8,0E+03
	T6	1E+04	2,0E+03	1,70E+04	6E+03	1,2E+04
	T7	7E+03	ausencia	1,00E+03	1E+04	1,3E+04
	T8	6E+03	1,4E+05	2,20E+04	7E+03	2,6E+04
II	T1	9E+03	1,2E+04	5,00E+03	2E+04	1,1E+04
	T2	6E+03	1,2E+04	3,00E+03	5E+03	1,8E+05
	T3	1,7E+05	1,0E+05	1,26E+05	6E+03	5,3E+04
	T4	5,9E+04	4,0E+04	7,20E+04	4E+03	1,7E+04
	T5	1,7E+04	5,0E+03	5,00E+03	4E+03	1,1E+04
	T6	4E+03	3,0E+03	1,16E+05	5E+03	3,1E+04
	T7	8E+03	ausencia	1,00E+03	2E+03	2,5E+04
	T8	2E+03	5,0E+03	4,20E+04	4E+03	2,3E+04
III	T1	2,8E+04	1,8E+04	1,7E+04	3E+03	4,3E+04
	T2	2,9E+04	6,0E+03	2,5E+04	2E+03	1,4E+05
	T3	3,6E+04	2,2E+04	7,1E+04	3E+03	2,7E+04
	T4	8E+03	2,2E+04	2,4E+04	5E+03	7,0E+03
	T5	2,9E+04	9,0E+03	4,3E+04	1E+03	2,2E+04
	T6	5E+03	5,0E+03	1,4E+04	9E+03	1,7E+04
	T7	2,3E+04	1,0E+04	1,6E+04	1E+03	1,1E+04
	T8	6,2E+04	5,0E+03	2,5E+04	3E+03	6,0E+04
IV	T1	2,2E+04	2,0E+03	1,40E+04	ausencia	1,9E+04
	T2	3,4E+04	4,0E+03	6,00E+03	3E+03	1,5E+04
	T3	2,5E+04	2,5E+04	1,70E+04	1E+03	5,9E+04
	T4	3,6E+04	1,1E+04	1,40E+04	ausencia	2,0E+04
	T5	3,4E+04	1,9E+04	1,60E+04	3E+03	3,5E+04
	T6	6,6E+04	5,0E+03	7,00E+03	ausencia	4,3E+04
	T7	9E+03	9,8E+04	1,90E+04	2E+03	5,9E+04
	T8	1,2E+04	6,0E+03	2,20E+04	7E+03	1,04E+05

**Tabla 32.** Datos de evaluación de análisis foliar y análisis de suelo, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Blq.	Trat.	Análisis Foliar					Análisis de suelo					
		N (%)	P2O5	K (%)	Ca	Mg	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca	Mg	pH
I	T <sub>1</sub>	0,683	0,423	0,123	0,094	0,071	0,034	42,337	66,471	3,117	0,543	5,50
	T <sub>2</sub>	0,935	0,254	0,069	0,089	0,066	0,025	38,650	74,967	3,203	0,545	5,41
	T <sub>3</sub>	2,862	0,135	0,119	0,261	0,239	0,019	9,419	58,974	2,193	0,269	4,70
	T <sub>4</sub>	2,294	0,108	0,075	0,223	0,192	0,022	9,331	58,974	2,153	0,263	4,70
	T <sub>5</sub>	2,002	0,068	0,154	0,356	0,318	0,044	7,926	53,377	1,659	0,246	3,40
	T <sub>6</sub>	2,000	0,036	0,074	0,325	0,287	0,044	8,453	50,478	1,349	0,192	3,40
	T <sub>7</sub>	2,534	0,143	0,118	0,276	0,278	0,084	8,014	54,476	1,413	0,210	3,80
	T <sub>8</sub>	2,498	0,059	0,098	0,264	0,263	0,068	7,224	49,478	1,136	0,190	3,70
II	T <sub>1</sub>	2,190	0,467	0,123	0,100	0,078	0,065	34,349	67,970	3,057	0,540	5,20
	T <sub>2</sub>	3,262	0,334	0,085	0,077	0,056	0,068	36,807	72,468	3,125	0,542	5,40
	T <sub>3</sub>	3,710	0,127	0,130	0,444	0,303	0,016	9,331	61,973	2,166	0,290	4,74
	T <sub>4</sub>	2,996	0,097	0,074	0,176	0,149	0,019	9,419	59,974	2,109	0,251	4,40
	T <sub>5</sub>	3,990	0,061	0,242	0,489	0,393	0,072	7,575	54,576	1,596	0,265	3,30
	T <sub>6</sub>	3,948	0,042	0,086	0,476	0,391	0,096	8,190	51,477	1,350	0,195	3,30
	T <sub>7</sub>	2,940	0,137	0,107	0,301	0,342	0,109	8,365	53,477	1,428	0,216	3,80
	T <sub>8</sub>	2,864	0,044	0,096	0,293	0,305	0,109	7,487	48,979	1,334	0,183	3,80
III	T <sub>1</sub>	2,464	0,361	0,116	0,091	0,069	0,053	36,192	66,971	3,073	0,540	5,00
	T <sub>2</sub>	2,391	0,257	0,097	0,071	0,056	0,047	39,791	72,968	3,133	0,538	5,10
	T <sub>3</sub>	2,632	0,121	0,121	0,245	0,216	0,044	9,682	59,474	2,090	0,268	4,60
	T <sub>4</sub>	2,363	0,091	0,076	0,208	0,181	0,022	8,716	56,975	2,195	0,264	4,70
	T <sub>5</sub>	3,178	0,090	0,134	0,369	0,291	0,081	8,716	52,777	1,500	0,262	3,30
	T <sub>6</sub>	3,010	0,043	0,065	0,289	0,271	0,065	8,190	51,028	1,356	0,149	3,20
	T <sub>7</sub>	2,702	0,128	0,113	0,284	0,281	0,096	8,190	52,677	1,448	0,206	3,80
	T <sub>8</sub>	2,620	0,029	0,097	0,264	0,265	0,090	7,926	43,981	1,285	0,199	3,90
IV	T <sub>1</sub>	2,369	0,456	0,103	0,091	0,069	0,062	41,810	68,470	3,106	0,544	5,30
	T <sub>2</sub>	2,884	0,357	0,074	0,076	0,058	0,056	35,578	74,467	3,109	0,542	5,30
	T <sub>3</sub>	2,688	0,122	0,122	0,273	0,223	0,022	10,121	57,975	2,146	0,263	4,60
	T <sub>4</sub>	2,156	0,108	0,075	0,213	0,190	0,025	8,541	56,475	2,211	0,270	4,60
	T <sub>5</sub>	2,688	0,064	0,115	0,349	0,319	0,078	10,560	52,177	1,628	0,235	3,30
	T <sub>6</sub>	2,642	0,038	0,061	0,236	0,287	0,090	8,629	50,578	1,345	0,128	3,20
	T <sub>7</sub>	2,548	0,115	0,120	0,262	0,284	0,093	8,023	53,527	1,472	0,210	3,80
	T <sub>8</sub>	2,442	0,027	0,083	0,253	0,279	0,081	7,663	46,979	1,218	0,197	3,80

### Dosificación

Para calcular la cantidad de producto a utilizar, se aplicó la regla de tres simples considerando el volumen de agua empleado. Por ejemplo, en el tratamiento T<sub>1</sub> (Suelo agrícola + Bacthon + Tricho D), la dosis de Bacthon es de 15 ml por litro de agua y la de Tricho D es de 6 g por litro de agua (Tabla 6). Sabiendo que el volumen de agua requerido por planta para la aplicación es de 35 ml, se determinó la cantidad necesaria de cada producto.

$$\begin{array}{l} 15 \text{ ml de Bacthon} \longrightarrow 1 \text{ L H}_2\text{O} = 1000 \text{ ml H}_2\text{O} \\ X \text{ de Bacthon/planta} \longrightarrow 35 \text{ ml de H}_2\text{O} \end{array}$$

$$X \text{ de Bacthon/planta} = \frac{(15 \text{ ml de Bacthon})(35 \text{ ml})}{1000 \text{ ml}} = 0,525 \text{ ml}$$

Para calcular la cantidad de Bacthon necesaria para el tratamiento T<sub>1</sub>, se multiplicó la dosis por el número total de plantas, que correspondió a 96 plantas (Tabla 33).

$$\therefore \text{La cantidad de Bacthon/Aplicación del T}_2 = (\text{ml Bacthon/planta})(\text{Total de plantas del T}_2)$$

$$\therefore \text{La cantidad de Bacthon/Aplicación del T}_2 = (0,525 \text{ ml})(96) = 50,4 \text{ ml}$$

Para determinar la concentración de inóculo del producto (Tabla 33), tomemos como ejemplo, para la concentración de Tricho-D en el tratamiento T<sub>3</sub> será 0,21 g (Tabla 34), entonces la concentración de inóculo por planta se determina de la siguiente manera

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g de Tricho D} \longrightarrow 1,8 \times 10^8 \text{ conidias/g} \\ 0,21 \text{ g de Tricho D} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{(1,8 \times 10^8 \text{ conidias/g})(0,21 \text{ g de Tricho-D})}{1 \text{ g de Tricho-D}} = 2,1 \times 10^7 \text{ conidias/g}$$

Por lo tanto, la concentración de inóculo de Tricho D por planta es:

$$\therefore \text{La concentración de Tricho - D/planta fue de } 2,1 \times 10^7 \text{ conidias/g}$$

**Tabla 33.** Registro de condiciones de riego y plantas por tratamiento

Trat.	Experimento		Capacidad de campo (ml) por tratamiento			Aplicar			Agua de Pre-Riego (ml)*		
	N° plantas		Planta	Parcela	Trat.	Gasto agua (ml)			Planta	Parcela	Trat.
	Parcela	Trat.				Planta	Parcela	Trat.			
T <sub>1</sub>	24	96	44	1 056	4 224	20	480	1 920	24	576	2 304
T <sub>2</sub>	24	96	44	1 056	4 224	20	480	1 920	24	576	2 304
T <sub>3</sub>	24	96	64	1 536	6 144	20	480	1 920	44	1 936	7 744
T <sub>4</sub>	24	96	64	1 536	6 144	20	480	1 920	44	1 936	7 744
T <sub>5</sub>	24	96	56	1 344	5 376	20	480	1 920	36	1 296	5 184
T <sub>6</sub>	24	96	56	1 344	5 376	20	480	1 920	36	1 296	5 184
T <sub>7</sub>	24	96	53	1 272	5 088	20	480	1 920	33	1 089	4 356
T <sub>8</sub>	24	96	53	1 272	5 088	20	480	1 920	33	1 089	4 356

\* Agua de Pre-aplicación: Es el riego necesario previo a la aplicación del producto.

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>8</sub> (Suelo cocal)

**Tabla 34.** Registro de dosis y aplicación por tratamiento

Trat.	Productos		Aplicación			Experimento			Producto utilizado				
	Dosis/L		Gasto agua (ml) referencial			N° plantas			Bloque		N° apl	Total de producto utilizado	
	Bacthon (ml)	Ticho-D (g)	Planta	Parcela	Trat.	Parcela	Bloques	Trat.	Bacthon (ml)	Ticho-D (g)		Bacthon (ml)	Ticho-D (g)
T <sub>1</sub>	15	6	35	840	3 360	24	4	96	50,4	20,16	5	252	100.8
T <sub>2</sub>	-	-	35	840	3 360	24	4	96	-	-	5	-	-
T <sub>3</sub>	15	6	35	840	3 360	24	4	96	50,4	20,16	5	252	100.8
T <sub>4</sub>	-	-	35	840	3 360	24	4	96	-	-	5	-	-
T <sub>5</sub>	15	6	35	840	3 360	24	4	96	50,4	20,16	5	252	100.8
T <sub>6</sub>	-	-	35	840	3 360	24	4	96	-	-	5	-	-
T <sub>7</sub>	15	6	35	840	3 360	24	4	96	50,4	20,16	5	252	100.8
T <sub>8</sub>	-	-	35	840	3 360	24	4	96	-	-	5	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>280</b>	<b>6720</b>	<b>26 880</b>	<b>192</b>	<b>32</b>	<b>768</b>	<b>201,6</b>	<b>80,64</b>		<b>1 008</b>	<b>403,2</b>

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa)

T<sub>8</sub> (Suelo cocal)

**Tabla 35.** Dosificación e inoculación de los productos por tratamiento

Tratamiento	N° plantas		Producto utilizado		Aplicar	Concentración de inóculos		Concentración inóculo/planta	
			Planta		Gasto agua (ml)	Bacthon	Tricho-D	Bacthon	Tricho-D
	Parcela	Tratamiento	Bacthon (ml)	Ticho-D (g)	Planta	UFC/ml	Conidias/g	UFC/ml	Conidias/g
T <sub>1</sub>	24	96	0.525	0.21	20	30100	1.0x10 <sup>8</sup>	15802.5	2.1x <sup>7</sup>
T <sub>2</sub>	24	96	---	---	--	---	---	---	---
T <sub>3</sub>	24	96	0.525	0.21	20	30100	1.0x10 <sup>8</sup>	15802.5	2.1x <sup>7</sup>
T <sub>4</sub>	24	96	---	---	--	---	---	---	---
T <sub>5</sub>	24	96	0.525	0.21	20	30100	1.0x10 <sup>8</sup>	15802.5	2.1x <sup>7</sup>
T <sub>6</sub>	24	96	---	---	--	---	---	---	---
T <sub>7</sub>	24	96	0.525	0.21	20	30100	1.0x10 <sup>8</sup>	15802.5	2.1x <sup>7</sup>
T <sub>8</sub>	24	96	---	---	--	---	---	---	---

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)T<sub>2</sub> (Suelo agrícola)T<sub>3</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)T<sub>4</sub> (Suelo Playa)T<sub>5</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)T<sub>6</sub> (Suelo de montaña)T<sub>7</sub> (Suelo cocal+Bacthon+Tricho-D)T<sub>8</sub> (Suelo cocal)

**Tabla 36.** Datos de evaluación del porcentaje de semillas germinadas días después de ser pregerminadas (DDPG), evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

<b>Enumeración</b>	<b>DDPG</b>	<b>Número de semillas germinadas</b>
1	39	0
2	40	0
3	41	5
4	42	5
5	43	0
6	44	0
7	45	0
8	46	0
9	47	2
10	48	1
11	49	0
12	50	3
13	51	4
14	52	1
15	53	3
16	54	2
17	55	3
18	56	5
19	57	0
20	58	2
21	59	0
22	60	1
23	61	3
24	62	0
25	63	3
26	64	2
27	65	0
28	66	1
29	67	6
30	68	8
31	69	7
32	70	5
33	71	7
34	72	6
35	73	3
36	74	1
37	75	2
38	76	1
39	77	0
40	78	0
41	79	0
<b>TOTAL</b>		<b>92 %</b>

**Tabla 37.** Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) de número de hojas de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	15 días DDT		30 días DDT		45 días DDT		60 días DDT		75 días DDT						
		CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor					
Bloque	3	0,79	NS	0,2274	2,80	S	0,0132	2,06	S	0,0204	2,00	NS	0,0774	4,95	S	0,0071
Tratamiento	7	1,26	NS	0,0588	5,54	S	0,0001	21,24	S	0,0001	33,57	S	0,0001	56,82	S	0,0001
Error muestral	56	0,60			0,78			0,84			0,89			0,75		
Error experimental	189	0,54			0,76			0,62			0,87			1,19		
Total	255															
CV (%)		43,27			36,55			23,74			21,03			21,97		
R <sup>2</sup>		0,30			0,39			0,63			0,64			0,67		

S : significativo  
 NS : no significativo  
 DDT : Días después del trasplante  
 GL : Grados de libertad  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza

**Tabla 38.** Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) de la altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	15 días DDT		30 días DDT		45 días DDT		60 días DDT		75 días DDT						
		CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor					
Bloque	3	6,23	S	0,0001	6,72	S	0,0001	8,24	S	0,0001	8,32	S	0,0001	11,42	S	0,0001
Tratamiento	7	2,59	S	0,0026	4,12	S	0,0001	12,60	S	0,0001	36,78	S	0,0001	75,33	S	0,0001
Error muestral	56	0,71			0,77			0,83			0,89			1,10		
Error experimental	189	0,75			0,76			0,83			0,87			0,96		
Total	255															
CV (%)		15,59		14,28		13,63		13,03		12,81						
R <sup>2</sup>		0,35		0,39		0,50		0,67		0,77						

S : Significativo  
 NS : No significativo  
 DDT : Días después del trasplante  
 GL : Grados de libertad  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza

**Tabla 39.** Análisis de (ANVA) ( $\alpha=0,05$ ) del diámetro de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Fuente de variación	GL	15 días DDT		30 días DDT		45 días DDT		60 días DDT		75 días DDT						
		CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor					
Bloque	3	1,44	S	0,0001	1,18	S	0,0001	1,04	S	0,0001	0,72	S	0,0001	0,75	S	0,0001
Tratamiento	7	0,18	S	0,0005	0,20	S	0,0002	0,28	S	0,0001	0,79	S	0,0001	1,06	S	0,0001
Error muestral	56	0,04			0,04			0,04			0,04			0,03		
Error experimental	189	0,04			0,04			0,04			0,04			0,05		
Total	255															
CV (%)		9,82			8,90			9,26			8,61			8,94		
R <sup>2</sup>		0,48			0,49			0,47			0,55			0,57		

S : Significativo  
 NS : No significativo  
 DDT : Días después del trasplante  
 GL : Grados de libertad  
 CM : Cuadrados medios  
 CV : Coeficiente de varianza

**Tabla 40.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del número de hojas de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

15 días DDT			30 días DDT			45 días DDT			60 días DDT			75 días DDT		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>2</sub>	1,94	a	T <sub>1</sub>	3,06	a	T <sub>1</sub>	4,25	a	T <sub>1</sub>	6,00	a	T <sub>1</sub>	8,85	a
T <sub>1</sub>	1,88	a	T <sub>2</sub>	2,81	a	T <sub>2</sub>	4,19	a	T <sub>2</sub>	5,75	a	T <sub>2</sub>	8,56	a
T <sub>3</sub>	1,84	a	T <sub>3</sub>	2,63	a	T <sub>3</sub>	3,88	a	T <sub>3</sub>	4,69	b	T <sub>3</sub>	7,43	b
T <sub>7</sub>	1,78	a	T <sub>7</sub>	2,34	b	T <sub>4</sub>	3,81	a	T <sub>4</sub>	4,56	b	T <sub>4</sub>	7,12	b
T <sub>5</sub>	1,69	a	T <sub>6</sub>	2,19	b	T <sub>7</sub>	3,00	a	T <sub>7</sub>	3,97	c	T <sub>8</sub>	6,57	c
T <sub>6</sub>	1,63	a	T <sub>4</sub>	2,19	b	T <sub>8</sub>	2,59	a	T <sub>8</sub>	3,75	c	T <sub>7</sub>	6,53	c
T <sub>4</sub>	1,53	a	T <sub>8</sub>	2,06	b	T <sub>5</sub>	2,41	b	T <sub>6</sub>	3,44	d	T <sub>6</sub>	6,07	c
T <sub>8</sub>	1,34	b	T <sub>5</sub>	1,81	b	T <sub>6</sub>	2,31	b	T <sub>5</sub>	3,25	d	T <sub>5</sub>	6,05	d

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

15 días DDT : Primera evaluación realizada, 15 días después del trasplante y la 1° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

30 días DDT: Segunda evaluación realizada, 30 días después del trasplante y la 1° y 2° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

45 días DDT: Tercera evaluación realizada, 45 días después del trasplante y la 1°, 2° y 3° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

60 días DDT: Cuarta evaluación realizada, 60 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3° y 4° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

75 días DDT: Quinta evaluación realizada, 75 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3°, 4° y 5° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola) T<sub>2</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D) T<sub>3</sub> (Suelo Playa) T<sub>4</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña) T<sub>6</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D) T<sub>7</sub> (Suelo ex cocal) T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal+Bacthon+Tricho-D)

**Tabla 41.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) de la altura de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

15 días DDT			30 días DDT			45 días DDT			60 días DDT			75 días DDT		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>3</sub>	6,04	a	T <sub>3</sub>	6,51	a	T <sub>1</sub>	7,5	a	T <sub>1</sub>	8,85	a	T <sub>1</sub>	8,85	a
T <sub>5</sub>	5,74	a	T <sub>1</sub>	6,41	a	T <sub>2</sub>	7,43	a	T <sub>2</sub>	8,56	a	T <sub>2</sub>	8,56	a
T <sub>4</sub>	5,63	a	T <sub>2</sub>	6,4	a	T <sub>3</sub>	7,13	a	T <sub>3</sub>	7,43	b	T <sub>3</sub>	7,43	b
T <sub>2</sub>	5,62	a	T <sub>4</sub>	6,22	a	T <sub>4</sub>	6,73	b	T <sub>4</sub>	7,12	b	T <sub>4</sub>	7,12	b
T <sub>1</sub>	5,61	a	T <sub>5</sub>	6,07	a	T <sub>7</sub>	6,40	b	T <sub>7</sub>	6,57	c	T <sub>5</sub>	6,57	c
T <sub>7</sub>	5,53	a	T <sub>7</sub>	6,05	a	T <sub>5</sub>	6,37	b	T <sub>5</sub>	6,53	c	T <sub>7</sub>	6,53	c
T <sub>6</sub>	5,21	b	T <sub>8</sub>	5,61	b	T <sub>6</sub>	5,96	c	T <sub>8</sub>	6,07	d	T <sub>8</sub>	6,07	c
T <sub>8</sub>	5,15	b	T <sub>6</sub>	5,57	b	T <sub>8</sub>	5,89	c	T <sub>6</sub>	6,05	d	T <sub>6</sub>	6,05	c

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

15 días DDT : Primera evaluación realizada, 15 días después del trasplante y la 1° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

30 días DDT: Segunda evaluación realizada, 30 días después del trasplante y la 1° y 2° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

45 días DDT: Tercera evaluación realizada, 45 días después del trasplante y la 1°, 2° y 3° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

60 días DDT: Cuarta evaluación realizada, 60 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3° y 4° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

75 días DDT: Quinta evaluación realizada, 75 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3°, 4° y 5° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>7</sub> (Suelo ex cocal)

T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal+Bacthon+Tricho-D)

**Tabla 42.** Prueba de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) ( $\alpha= 0,05$ ) del diámetro de las plantas de café, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

15 días DDT			30 días DDT			45 días DDT			60 días DDT			75 días DDT		
Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.	Trat.	Media	Sig.
T <sub>2</sub>	2,27	a	T <sub>2</sub>	2,32	a	T <sub>2</sub>	2,36	a	T <sub>2</sub>	2,55	a	T <sub>2</sub>	2,64	a
T <sub>4</sub>	2,25	a	T <sub>3</sub>	2,29	a	T <sub>3</sub>	2,35	a	T <sub>1</sub>	2,54	a	T <sub>1</sub>	2,61	a
T <sub>3</sub>	2,23	a	T <sub>4</sub>	2,29	a	T <sub>1</sub>	2,34	a	T <sub>3</sub>	2,49	b	T <sub>3</sub>	2,54	b
T <sub>1</sub>	2,12	b	T <sub>1</sub>	2,20	b	T <sub>4</sub>	2,32	a	T <sub>4</sub>	2,42	b	T <sub>4</sub>	2,47	b
T <sub>8</sub>	2,11	b	T <sub>7</sub>	2,15	b	T <sub>7</sub>	2,20	b	T <sub>7</sub>	2,28	c	T <sub>7</sub>	2,29	c
T <sub>5</sub>	2,11	b	T <sub>5</sub>	2,15	b	T <sub>5</sub>	2,17	b	T <sub>5</sub>	2,22	c	T <sub>5</sub>	2,24	c
T <sub>6</sub>	2,10	b	T <sub>8</sub>	2,14	b	T <sub>6</sub>	2,16	b	T <sub>8</sub>	2,20	c	T <sub>8</sub>	2,23	c
T <sub>7</sub>	2,09	b	T <sub>6</sub>	2,14	b	T <sub>8</sub>	2,15	b	T <sub>6</sub>	2,19	c	T <sub>6</sub>	2,20	c

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

15 días DDT : Primera evaluación realizada, 15 días después del trasplante y la 1° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

30 días DDT: Segunda evaluación realizada, 30 días después del trasplante y la 1° y 2° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

45 días DDT: Tercera evaluación realizada, 45 días después del trasplante y la 1°, 2° y 3° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

60 días DDT: Cuarta evaluación realizada, 60 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3° y 4° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

75 días DDT: Quinta evaluación realizada, 75 días después del trasplante y la 1°, 2°, 3°, 4° y 5° aplicación de Bacthon + Tricho-D.

T<sub>1</sub> (Suelo agrícola)

T<sub>2</sub> (Suelo agrícola+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>3</sub> (Suelo Playa)

T<sub>4</sub> (Suelo Playa+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>5</sub> (Suelo de montaña)

T<sub>6</sub> (Suelo de montaña+Bacthon+Tricho-D)

T<sub>7</sub> (Suelo ex cocal)

T<sub>8</sub> (Suelo ex cocal+Bacthon+Tricho-D)

**Tabla 43.** Análisis de beneficio costo (B/C) en plántones de café para el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Actividad	Unidad medida	Valor unitario (S/.)	N° de unidad	Costo	N° de	Costo
				total (S/.)	unidad	total (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>
1.1. Mano de obra						
- Preparación de camas	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Preparación de germinador	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Traslado de sustratos y muestreo	Jor.	100	2.00	200	2.00	200
- Tamizado de sustratos	Jor.	50	4.00	200	4.00	200
- Llenado de bolsas	Bol.	0.2	3000	600	3000	600
- Trasplante de plantas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Acomodo de bolsas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Monitoreo y Riego	Jor.	40	20.00	800	20.00	800
<b>Sub- total de maquinaria agrícola</b>				2360		2360
- Semilla	kg.	100	1.00	100	1.00	100
- Tricho D	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Bacthon	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Chupadera	Und.	40	1.00	40	1.00	40
- Análisis de suelo	Und.	30	5	150	5.00	150
- Análisis foliar	Und.	50	4	200	4.00	200
<b>Sub-total de insumos y análisis</b>				490		990
- Imprevistos (10% gastos de cultivo)				49		99
<b>Sub-total de gastos generales</b>				539		1089
<b>Costo total de producción</b>				2899		3449
<b>II. VALORIZACION DE PLANTONES</b>						
2.1. Rendimiento de plántones viables				2460		3000
2.2. Precio Promedio de Venta (S/.x Und.)				3		3
2.3. Valor Bruto de la Venta (S/.)				7380		9000
<b>III. DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION</b>						
3.1. Utilidad Neta Estimada				4481		5551
<b>IV. ANALISIS ECONOMICO</b>						
4.1. Valor Bruto de la Producción				7380		9000
4.2. Costo Total de la Producción				2899		3449
4.3. Utilidad Bruta de la Producción				4481		5551
4.4. Precio Promedio Venta Unitario				3,00		3,00
4.5. Costo de Producción Unitario				1.18		1.15
4.6. Margen de Utilidad Unitario				1.82		1.85
4.7. Utilidad Neta Estimada				4481		5551
4.8. Índice de Rentabilidad				1.55		1.61
4.9. Beneficio costo (B/C)				2.55		2.61

**Tabla 44.** Análisis de beneficio costo (B/C) en plántones de café para el T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Actividad	Unidad medida	Valor unitario (S/.)	N° de unidad	Costo	N° de	Costo
				total (S/.)	unidad	total (S/.)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				<b>T<sub>3</sub></b>		<b>T<sub>4</sub></b>
1.1. Mano de obra						
- Preparación de camas	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Preparación de germinador	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Traslado de sustratos y muestreo	Jor.	100	2.00	200	2.00	200
- Tamizado de sustratos	Jor.	50	4.00	200	4.00	200
- Llenado de bolsas	Bol.	0.2	3000	600	3000	600
- Trasplante de plantas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Acomodo de bolsas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Monitoreo y Riego	Jor.	40	20.00	800	20.00	800
<b>Sub- total de maquinaria agrícola</b>				2360		2360
- Semilla	kg.	100	1.00	100	1.00	100
- Tricho D	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Bacthon	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Chupadera	Und.	40	1.00	40	1.00	40
- Análisis de suelo	Und.	30	5	150	5.00	150
- Análisis foliar	Und.	50	4	200	4.00	200
<b>Sub-total de insumos y análisis</b>				490		990
- Imprevistos (10% gastos de cultivo)				49		99
<b>Sub-total de gastos generales</b>				539		1089
<b>Costo total de producción</b>				2899		3449
<b>II. VALORIZACION DE PLANTONES</b>						
2.1. Rendimiento de plántones viables				2250		2430
2.2. Precio Promedio de Venta (S/.x Und.)				3		3
2.3. Valor Bruto de la Venta (S/.)				6750		7290
<b>III. DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION</b>						
3.1. Utilidad Neta Estimada				3851		3841
<b>IV. ANALISIS ECONOMICO</b>						
4.1. Valor Bruto de la Producción				6750		7290
4.2. Costo Total de la Producción				2899		3449
4.3. Utilidad Bruta de la Producción				3851		3841
4.4. Precio Promedio Venta Unitario				3,00		3,00
4.5. Costo de Producción Unitario				1.29		1.42
4.6. Margen de Utilidad Unitario				1.71		1.58
4.7. Utilidad Neta Estimada				3851		3841
4.8. Índice de Rentabilidad				1.33		1.11
4.9. Beneficio costo (B/C)				2.33		2.11

**Tabla 45.** Análisis de beneficio costo (B/C) en plántones de café para el T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Actividad	Unidad medida	Valor unitario (S/.)	N° de unidad	Costo	N° de	Costo
				total (S/.)	unidad	total (S/.)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				<b>T<sub>5</sub></b>		<b>T<sub>6</sub></b>
1.1. Mano de obra						
- Preparación de camas	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Preparación de germinador	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Traslado de sustratos y muestreo	Jor.	100	2.00	200	2.00	200
- Tamizado de sustratos	Jor.	50	4.00	200	4.00	200
- Llenado de bolsas	Bol.	0.2	3000	600	3000	600
- Trasplante de plantas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Acomodo de bolsas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Monitoreo y Riego	Jor.	40	20.00	800	20.00	800
<b>Sub- total de maquinaria agrícola</b>				2360		2360
- Semilla	kg.	100	1.00	100	1.00	100
- Tricho D	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Bacthon	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Chupadera	Und.	40	1.00	40	1.00	40
- Análisis de suelo	Und.	30	5	150	5.00	150
- Análisis foliar	Und.	50	4	200	4.00	200
<b>Sub-total de insumos y análisis</b>				490		990
- Imprevistos (10% gastos de cultivo)				49		99
<b>Sub-total de gastos generales</b>				539		1089
<b>Costo total de producción</b>				2899		3449
<b>II. VALORIZACION DE PLANTONES</b>						
2.1. Rendimiento de plántones viables				2400		2550
2.2. Precio Promedio de Venta (S/.x Und.)				3		3
2.3. Valor Bruto de la Venta (S/.)				7200		7650
<b>III. DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION</b>						
3.1. Utilidad Neta Estimada				4301		4201
<b>IV. ANALISIS ECONOMICO</b>						
4.1. Valor Bruto de la Producción				7200		7650
4.2. Costo Total de la Producción				2899		3449
4.3. Utilidad Bruta de la Producción				4301		4201
4.4. Precio Promedio Venta Unitario				3,00		3,00
4.5. Costo de Producción Unitario				1.21		1.35
4.6. Margen de Utilidad Unitario				1.79		1.65
4.7. Utilidad Neta Estimada				4301		4201
4.8. Índice de Rentabilidad				1.48		1.22
4.9. Beneficio costo (B/C)				2.48		2.22

**Tabla 46.** Análisis de beneficio costo (B/C) en plántones de café para el T<sub>7</sub> y T<sub>8</sub>, evaluados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de agosto a diciembre del 2022

Actividad	Unidad medida	Valor unitario (S/.)	N° de unidad	Costo	N° de	Costo
				total (S/.)	unidad	total (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				T <sub>7</sub>		T <sub>8</sub>
1.1. Mano de obra						
- Preparación de camas	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Preparación de germinador	Jor.	40	3.00	120	3.00	120
- Traslado de sustratos y muestreo	Jor.	100	2.00	200	2.00	200
- Tamizado de sustratos	Jor.	50	4.00	200	4.00	200
- Llenado de bolsas	Bol.	0.2	3000	600	3000	600
- Trasplante de plantas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Acomodo de bolsas	Jor.	40	4.00	160	4.00	160
- Monitoreo y Riego	Jor.	40	20.00	800	20.00	800
<b>Sub- total de maquinaria agrícola</b>				2360		2360
- Semilla	kg.	100	1.00	100	1.00	100
- Tricho D	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Bacthon	Und.	250	0.00	0	1.00	250
- Chupadera	Und.	40	1.00	40	1.00	40
- Análisis de suelo	Und.	30	5	150	5.00	150
- Análisis foliar	Und.	50	4	200	4.00	200
<b>Sub-total de insumos y análisis</b>				490		990
- Imprevistos (10% gastos de cultivo)				49		99
<b>Sub-total de gastos generales</b>				539		1089
<b>Costo total de producción</b>				2899		3449
<b>II. VALORIZACION DE PLANTONES</b>						
2.1. Rendimiento de plántones viables				1950		2160
2.2. Precio Promedio de Venta (S/.x Und.)				3		3
2.3. Valor Bruto de la Venta (S/.)				5850		6480
<b>III. DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION</b>						
3.1. Utilidad Neta Estimada				2951		3031
<b>IV. ANALISIS ECONOMICO</b>						
4.1. Valor Bruto de la Producción				5850		6480
4.2. Costo Total de la Producción				2899		3449
4.3. Utilidad Bruta de la Producción				2951		3031
4.4. Precio Promedio Venta Unitario				3,00		3,00
4.5. Costo de Producción Unitario				1.49		1.60
4.6. Margen de Utilidad Unitario				1.51		1.40
4.7. Utilidad Neta Estimada				2951		3031
4.8. Índice de Rentabilidad				1.02		0.88
4.9. Beneficio costo (B/C)				2.02		1.88



**Figura 67.** Análisis de los datos meteorológicos



## CONSTANCIA DE DECLARACIÓN DE COMERCIANTE DE SEMILLAS

**N° 009-2015-INIA-SEDE CENTRAL**

Conste por el presente documento que:

**Nombre / Razón Social** : CONSORCIO QUIVEL PERÚ S.A.C.

**Representante legal** : Edgar Quispe Mallma

**RUC** : 20573840853

**Domicilio Legal** : Mirador de Sangani Mz.J Lt.6., distrito Perené, provincia de Chanchamayo, departamento Junín

---

**Nombre Establecimiento** : QUIVEL

**Dirección** : Mirador de Sangani Mz.J Lt.6., distrito Perené, provincia de Chanchamayo, departamento Junín.

---

ha presentado su Declaración de Comerciante de Semillas, cumpliendo con los establecido en el artículo 27° de la Ley General de Semillas (Ley N° 27262 y modificada por el Decreto Legislativo N° 1080) y el artículo 49° del Reglamento de la Ley General de Semillas (Decreto Supremo N° 006-2012-AG).

Se expide el presente, para los fines pertinentes.

La Molina, 19 de agosto del 2015

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN AGRARIA

*Jorge Alcántara Delgado*

Blgo. Jorge Alcántara Delgado  
Suplente

---

*Nota: Cualquier cambio en la información declarada deberá informarse en la dependencia del INIA de la localidad donde...*

**Figura 68.** Constancia del proveedor para la venta de semillas de café



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

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

Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - Celular 944407531

analisisdesuelosunas@hotmail.com



## ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE: MEDRANO CASTILLO LUIS ANGEL																
DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA					RESULTADOS EN BASE SECA									
Código	Referencia	Humedad Hd (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E0960-1	T1R1	74.2280	23.7249	2.0471	0.6832	92.0568	7.9432	0.4231	0.0940	0.0708	0.0138	0.1232	19.4596	774.3947	12.3728	72.5922
E0960-2	T2R1	74.6802	23.1967	2.1231	0.9352	91.6147	8.3853	0.2541	0.0890	0.0657	0.0095	0.0686	12.1246	158.7560	11.3747	61.5961
E0960-3	T3R1	71.2413	26.3717	2.3870	2.8624	91.6999	8.3001	0.1345	0.2614	0.2389	0.0485	0.1189	31.4185	1437.2591	17.8195	73.9273
E0960-4	T4R1	73.6770	24.0838	2.2392	2.2936	91.4932	8.5068	0.1078	0.2225	0.1924	0.0336	0.0754	23.8693	592.2469	13.7416	64.6088
E0960-5	T5R1	71.4680	27.1005	1.4315	2.0020	94.9827	5.0173	0.0678	0.3555	0.3175	0.0861	0.1535	98.1834	1293.2526	46.2803	233.5640
E0960-6	T6R1	70.4716	28.1705	1.3579	2.0003	95.4015	4.5985	0.0355	0.3252	0.2872	0.0471	0.0741	39.0511	1072.9927	43.7153	200.7299
E0960-7	T7R1	69.7610	28.6418	1.5972	2.5340	94.7182	5.2818	0.1431	0.2760	0.2782	0.0531	0.1180	36.7547	1625.3744	51.1843	201.4702
E0960-8	T8R1	70.3183	29.2523	0.4294	2.4980	98.5533	1.4467	0.0589	0.2639	0.2634	0.0399	0.0975	29.1843	780.7433	16.2135	182.0903
E0960-9	T1R2	74.7554	23.2448	1.9998	2.1896	92.0784	7.9216	0.4672	0.1001	0.0778	0.0151	0.1227	18.8767	744.8041	12.1076	66.1774
E0960-10	T2R2	75.9525	22.5070	1.5405	3.2620	93.5938	6.4062	0.3342	0.0765	0.0559	0.0098	0.0852	11.1313	149.9318	9.2685	65.4248
E0960-11	T3R2	72.9988	24.5396	2.4616	3.7100	90.8834	9.1166	0.1267	0.4438	0.3025	0.0412	0.1303	28.9753	1378.0919	16.3074	69.4700
E0960-12	T4R2	73.0128	24.8305	2.1567	2.9960	92.0084	7.9916	0.0966	0.1755	0.1485	0.0240	0.0740	15.6206	799.1632	13.8075	54.3933
E0960-13	T5R2	70.1396	27.5703	2.2901	3.9900	92.3308	7.6692	0.0613	0.4887	0.3925	0.0755	0.2421	90.1504	1428.5714	55.6391	187.9699
E0960-14	T6R2	70.7534	28.6340	0.6126	3.9480	97.9052	2.0948	0.0416	0.4763	0.3914	0.0334	0.0864	47.1996	1063.2856	44.2558	158.4564
E0960-15	T7R2	70.2904	28.3985	1.3111	2.9400	95.5869	4.4131	0.1367	0.3012	0.3421	0.0491	0.1074	28.6640	1521.4257	55.5556	226.1953
E0960-16	T8R2	70.2395	29.0591	0.7014	2.8640	97.6431	2.3569	0.0443	0.2927	0.3051	0.0364	0.0962	23.4276	746.1328	19.1083	187.5470

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0666794

Tingo María 30 de diciembre 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

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



Figura 69. Análisis especial de las hojas de *Coffea arábica* (café)



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

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

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - Celular 944407531

analisisdesuelosunas@hotmail.com



## ANÁLISIS ESPECIAL

SOLICITANTE: MEDRANO CASTILLO LUIS ANGEL																
DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA						RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Referencia	Humedad Hd (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E0960-17	T1R3	69.1179	29.5882	1.2939	2.4640	95.8102	4.1898	0.3606	0.0911	0.0690	0.0125	0.1157	17.7132	710.7074	13.9831	87.4305
E0960-18	T2R3	75.8915	22.3716	1.7369	2.3912	92.7952	7.2048	0.2571	0.0711	0.0563	0.0105	0.0968	11.9312	198.6448	8.4816	79.7456
E0960-19	T3R3	71.2324	26.3032	2.4644	2.6320	91.4334	8.5666	0.1210	0.2445	0.2161	0.0335	0.1209	36.2595	1273.9610	17.5369	76.3359
E0960-20	T4R3	73.1824	24.6864	2.1312	2.3632	92.0529	7.9471	0.0906	0.2076	0.1810	0.0235	0.0761	25.4626	741.8502	14.8018	61.6740
E0960-21	T5R3	68.9279	29.8020	1.2701	3.1780	95.9125	4.0875	0.0903	0.3685	0.2907	0.0731	0.1335	92.7519	1185.9528	51.0881	195.7398
E0960-22	T6R3	57.6180	40.6638	1.7182	3.0100	95.9459	4.0541	0.0429	0.2892	0.2708	0.0373	0.0645	42.7027	935.1351	42.1622	156.7568
E0960-23	T7R3	63.8730	34.5365	1.5905	2.7020	95.5973	4.4027	0.1275	0.2837	0.2811	0.0530	0.1127	30.6748	1458.3183	52.5262	196.2984
E0960-24	T8R3	69.5705	28.7570	1.6725	2.6200	94.5036	5.4964	0.0294	0.2639	0.2649	0.0216	0.0971	22.1537	684.2400	17.2013	166.2137
E0960-25	T1R4	74.3147	23.4420	2.2433	2.3688	91.2663	8.7337	0.4564	0.0910	0.0691	0.0112	0.1030	15.5474	757.2352	13.1123	108.1795
E0960-26	T2R4	72.8943	24.8710	2.2347	2.8840	91.7558	8.2442	0.3565	0.0762	0.0583	0.0109	0.0744	12.4149	196.6875	10.9620	84.1009
E0960-27	T3R4	72.7063	19.5604	7.7333	2.6880	89.9949	10.0051	0.1221	0.2730	0.2227	0.0333	0.1221	30.5688	1162.7300	18.6968	76.1808
E0960-28	T4R4	71.2783	26.1126	2.6091	2.1560	90.9159	9.0841	0.1079	0.2129	0.1900	0.0252	0.0750	18.2434	530.3743	14.1057	71.4689
E0960-29	T5R4	53.5028	42.7198	3.7774	2.6880	91.8762	8.1238	0.0643	0.3488	0.3185	0.0671	0.1147	99.2650	1044.4874	72.7917	180.5287
E0960-30	T6R4	59.7963	39.6536	0.5501	2.6420	98.6317	1.3683	0.0380	0.2356	0.2868	0.0322	0.0614	35.1331	906.3609	48.5059	159.0237
E0960-31	T7R4	68.0047	29.7178	2.2775	2.5480	92.8817	7.1183	0.1154	0.2624	0.2844	0.0399	0.1204	28.6678	1670.2889	50.6327	198.9882
E0960-32	T8R4	69.3436	28.2680	2.3884	2.4420	92.2091	7.7909	0.0274	0.2533	0.2794	0.0347	0.0832	22.0083	795.9528	19.5616	168.1420

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0666794

Tingo María 30 de diciembre 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

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



Figura 70. Análisis especial de las hojas de *Coffea arábica* (café)



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

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

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



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: MEDRANO CASTILLO LUIS ANGEL																							
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al	
			Arena	Arcilla	Limo								Textura	1:1	dS/cm	%	%	disponible					Ca
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%				%	ppm	ppm												
1	S1741-1	SUELO COCAL	51	22	27	Franco	3.70	0.370	1.16	0.06	4.16	29.99	----	4.80	0.76	--	--	1.58	0.11	7.25	77	23	22
2	S1741-2	SUELO CAPETAL	49	20	31	Franco	3.30	0.365	2.17	0.11	4.72	54.98	----	4.77	0.65	--	--	1.85	0.10	7.37	74	26	25
3	S1741-3	SUELO PLAYA YUCAL	51	8	41	Franco	4.60	0.185	1.09	0.05	6.48	64.97	----	6.77	0.88	--	--	1.35	0.19	9.19	83	17	15
4	S1741-4	SUELO FUNDO AGRICOLA	49	16	35	Franco	5.00	0.449	1.60	0.08	26.22	119.95	----	6.56	1.18	--	--	1.34	0.08	9.16	85	15	15

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001 N°

TINGO MARIA, 04 DE NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

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



Figura 71. Análisis de suelo al iniciar el experimento



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

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

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



## ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: LUIS ANGEL MEDRANO CASTILLO																						
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
			Arena	Arcilla	Limo	Textura							1:1	%	%	disponible		Ca				
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%				ppm	ppm									Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al	
1	S0071-1	T1 R1	53	14	33	Franco Arenoso	5.50	0.684	0.034	42.337	66.471	---	3.117	0.543	0.138	0.046	1.210	0.440	5.495	100.000	0.000	0.000
2	S0071-2	T2 R1	53	14	33	Franco Arenoso	5.41	0.498	0.025	38.650	74.967	---	3.203	0.545	0.133	0.051	1.420	0.070	5.423	69.119	27.476	26.186
3	S0071-3	T3 R1	61	8	31	Franco Arenoso	4.70	0.373	0.019	9.419	58.974	---	2.193	0.269	0.123	0.059	1.180	0.390	4.214	58.421	37.255	28.001
4	S0071-4	T4 R1	63	8	29	Franco Arenoso	4.70	0.435	0.022	9.331	58.974	---	2.153	0.263	0.133	0.045	1.360	0.300	4.254	56.782	39.021	31.969
5	S0071-5	T5 R1	45	22	33	Franco	3.40	0.871	0.044	7.926	53.377	---	1.659	0.246	0.108	0.044	4.310	2.490	8.856	21.503	76.780	48.665
	S0071-6	T6 R1	52	20	28	Franco	3.40	0.871	0.044	8.453	50.478	---	1.349	0.192	0.105	0.043	4.250	2.250	8.188	18.814	79.388	51.908
3	S0071-7	T7 R1	45	28	27	Franco Arcilloso	3.80	1.679	0.084	8.014	54.476	---	1.413	0.210	0.113	0.049	2.810	0.490	5.085	31.923	64.900	55.264
4	S0071-8	T8 R1	47	26	27	Franco	3.70	1.368	0.068	7.224	49.478	---	1.136	0.190	0.098	0.036	2.150	0.250	3.860	34.363	62.176	55.699
5	S0071-9	T1 R2	69	12	19	Franco Arenoso	5.20	1.306	0.065	34.349	67.970	---	3.057	0.540	0.149	0.048	1.230	0.260	5.284	68.080	28.200	23.279
7	S0071-10	T2 R2	55	12	33	Franco Arenoso	5.40	1.368	0.068	36.807	72.468	---	3.125	0.542	0.138	0.048	1.420	0.060	5.333	68.755	27.752	26.627
11	S0071-11	T3 R2	63	8	29	Franco Arenoso	4.74	0.311	0.016	9.331	61.973	---	2.166	0.290	0.133	0.058	1.470	0.190	4.307	57.009	38.543	34.131
12	S0071-12	T4 R2	65	8	27	Franco Arenoso	4.40	0.373	0.019	9.419	59.974	---	2.109	0.251	0.135	0.047	1.430	0.200	4.172	56.564	39.066	34.273

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 23000877

TINGO MARIA, 06 DE FEBRERO 2023

FECHA DE ANALISIS: 25/01/23



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

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

Figura 72. Análisis de suelo al finalizar el experimento R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

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

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



## ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: LUIS ANGEL MEDRANO CASTILLO																						
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmo(+)/kg						CICe	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al	
			Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	disponible						Ca
	%	%	%	ppm	ppm																	
1	S0071-13	T5 R2	47	22	31	Franco	3.30	1.430	0.072	7.575	54.576	---	1.596	0.265	0.097	0.047	4.490	2.010	8.505	21.878	76.424	52.791
2	S0071-14	T6 R2	49	22	29	Franco	3.30	1.928	0.096	8.190	51.477	---	1.350	0.195	0.105	0.043	4.420	1.380	7.493	20.614	77.410	58.992
3	S0071-15	T7 R2	39	28	33	Franco Arcilloso	3.80	2.177	0.109	8.365	53.477	---	1.428	0.216	0.110	0.045	2.220	0.780	4.800	34.259	62.502	46.251
4	S0071-16	T8 R2	39	26	35	Franco	3.80	2.177	0.109	7.487	48.979	---	1.334	0.183	0.087	0.043	2.189	0.141	3.976	38.135	58.600	55.054
5	S0071-17	T1 R3	53	14	33	Franco Arenoso	5.00	1.057	0.053	36.192	66.971	---	3.073	0.540	0.151	0.050	1.150	0.320	5.284	68.387	27.822	21.765
6	S0071-18	T2 R3	53	14	33	Franco Arenoso	5.10	0.933	0.047	39.791	72.968	---	3.133	0.538	0.133	0.048	1.450	0.050	5.352	68.586	28.029	27.095
7	S0071-19	T3 R3	61	8	31	Franco Arenoso	4.60	0.871	0.044	9.682	59.474	---	2.090	0.268	0.132	0.057	1.300	0.240	4.086	57.701	37.690	31.816
8	S0071-20	T4 R3	63	8	29	Franco Arenoso	4.70	0.435	0.022	8.716	56.975	---	2.195	0.264	0.128	0.049	1.410	0.200	4.245	57.908	37.925	33.213
9	S0071-21	T5 R3	51	20	29	Franco	3.30	1.617	0.081	8.716	52.777	---	1.500	0.262	0.110	0.046	4.220	2.360	8.498	20.732	77.430	49.659
10	S0071-22	T6 R3	51	20	29	Franco	3.20	1.306	0.065	8.190	51.028	---	1.356	0.149	0.111	0.046	4.240	0.760	6.662	22.596	75.050	63.642
11	S0071-23	T7 R3	41	28	31	Franco Arcilloso	3.80	1.928	0.096	8.190	52.677	---	1.448	0.206	0.109	0.044	2.750	0.330	4.888	33.848	63.010	56.259
12	S0071-24	T8 R3	43	26	31	Franco	3.90	1.804	0.090	7.926	43.981	---	1.285	0.199	0.092	0.038	2.100	0.290	4.005	37.058	59.682	52.440

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

FECHA DE ANALISIS: 25/01/23

RECIBO N° 23000877

TINGO MARIA, 06 DE FEBRERO 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

**Figura 73.** Análisis de suelo al finalizar el experimento R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub>

