

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



TESIS

**“EFECTOS DE TRES FUENTES DE FÓSFORO EN EL
DESARROLLO DE MICORRIZAS Y EL INCREMENTO DE
LA FERTILIDAD EN CINCO ECOSISTEMAS
TERRESTRES DE TINGO MARÍA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**ELABORADO POR
HIPOLITO GERALDYN DOMINGUEZ CRUZ**

**ASESOR
BLGO. M.SC. JULIO ALFONSO CHÍA WONG**

TINGO MARÍA – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Carretera Central Km 1.21 Telf. (062) 561136 E.maii: fa.decanatura@unas.edu.pe



"Año del dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 016-2018-FA-UNAS

BACHILLER : DOMINGUEZ CRUZ, Hipolito Geraldyn

TÍTULO : "EFECTO DE 3 FUENTES DE FÓSFORO EN SUELOS DE 5 ECOSISTEMAS TERRESTRES EN MICORRIZAS VESÍCULOS-ARBUSCULARES NATIVOS DE TINGO MARIA"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. José Wilfredo ZAVALA SOLÓRZANO

VOCAL : Dr. Hugo Alfredo HUAMANÍ YUPANQUI

VOCAL : Ing. M Sc. José Dolores LÉVANO CRISÓSTOMO

ASESOR : Blgo. M.Sc. Julio Alfonso Chía Wong

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 2 DE JULIO DE 2018

HORA DE SUSTENTACIÓN : 6: 00 p.m.

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

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 2 DE JULIO DE 2018.

.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
PRESIDENTE

.....
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI
VOCAL

.....
Ing. M Sc. JOSÉ DOLORES LÉVANO CRISÓSTOMO
VOCAL

.....
Blgo. M.Sc. Julio Alfonso CHÍA WONG
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por su bendición, esa fuerza superior en quien muchos creemos y respetamos, por sobre todo por darme el don del entendimiento para superar cada reto en mi vida.

A mis padres Jorge Carretero Guillen y Antonia Cruz Príncipe, que con su esfuerzo me apoyó en todo para mi formación personal, brindándome sus consejos siendo mi guía en las diferentes etapas de mi vida.

A mis hermanos Herlinda Aymela, Jhoel Brayan y Jorge Antonio, quienes indirectamente fueron partícipes de mi formación profesional; a mis sobrinas Thais Yamile, Cristina Daymaris y Milagros Dayana, por regalarme su alegría y sonrisa cada momento.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) y a sus Docentes-Investigadores de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional y por haberme legado sus valiosos conocimientos teórico-prácticos.
- Al Blgo. M.Sc. Miguel Ángel Huauya Rojas, Q.E.P.D. y Q.D.D.G., por brindarme el apoyo desinteresado en el presente trabajo de investigación.
- Al Blgo. M.Sc. Julio Alfonso Chía Wong, patrocinador de la presente tesis, por su invaluable orientación en este estudio.
- A los miembros del Jurado de Tesis: Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui e Ing. M.Sc. José Dolores Lévano Crisóstomo, por sus valiosas y oportunas sugerencias.
- A mis compañeros de promoción: Erick Tantaleán Pedraza, Félix Olivas Ortega, Andy Eugenio Quiróz, Omar Lujerio Silva, Lucho Quispe Villagaray, Kenta Chagua Charles, Nataly Meza Segama, Edith Albornoz Albornoz, Lila Lorenzo Quispe, quienes directa o indirectamente me alentaron para culminar con éxito este ensayo.
- A Daniel Castañeda Malpartida, Jhon Erick Montañez Ponce, Miguel Sánchez Rodríguez, Jheisy Cinthya Chate Hilario, Deysi Orizano Tolentino, Jhanet Díaz Paredes y Delia Sias Bailón de una u otra manera colaboraron durante la ejecución del presente trabajo.
- A Katelen Rita Balcázar Ríos, Q.E.P.D. y Q.D.D.G., a pesar del tiempo es imposible olvidar su alegría y motivación para ejecutar la tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. Ecosistema terrestre	15
2.1.1. Bosque	15
2.1.2. Herbazales	15
2.2. Las micorrizas arbusculares.....	15
2.2.1. Mecanismo de colonización.....	16
2.2.2. Ventajas de las micorrizas en los agroecosistemas	17
2.2.3. Influencia de las micorrizas arbusculares en la absorción de fósforo por la planta	19
2.2.4. Uso de fuentes fosforados en la agricultura	19
2.2.5. El fósforo en el sistema suelo-planta.....	20
2.2.6. Algunas características de los fertilizantes a utilizar.....	21
2.2.7. Kudzú (<i>Pueraria phaseoloides</i> L.).....	22
2.3. Ensayos de investigación	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Ubicación del experimento	31
3.1.1. Condiciones de clima del invernadero.....	31
3.2. Componentes en estudio	31
3.2.1. Especie leguminosa	31
3.2.2. Ubicación de los ecosistemas estudiados	32

3.2.3.	Características de los ecosistemas terrestres en estudio.....	32
3.2.4.	Fuentes de fósforo (fertilizantes)	34
3.3.	Tratamiento en estudio.....	34
3.4.	Diseño experimental	35
3.4.1.	Esquema de análisis de varianza (ANVA)	35
3.5.	Fase de ejecución del experimento en el campo	36
3.5.1.	Muestreo del área en estudio	36
3.5.2.	Transporte del suelo al laboratorio e invernadero	36
3.6.	Fase de ejecución del experimento en invernadero	36
3.6.1.	Preparación del suelo	36
3.6.2.	Siembra	37
3.6.3.	Control de plagas y enfermedades.....	37
3.6.4.	Riego	37
3.7.	Fase de ejecución del experimento en laboratorio	37
3.7.1.	Método de tinción de raíces micorrizadas	37
3.7.2.	Método de aislamiento de esporas micorrízico.....	38
3.8.	Parámetros a evaluar.....	39
3.8.1.	Nivel de fertilidad de los suelos en estudio.....	39
3.8.2.	Cantidad de plantas para evaluar.....	39
3.8.3.	En el invernadero	40
3.8.4.	Evaluación en el laboratorio	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Análisis físico-químico del suelo.....	42

4.1.1.	Suelo de un cacaotal	42
4.1.2.	Suelo de un cafetal	44
4.1.3.	Suelo de un ex-cocal	46
4.1.4.	Suelo de bosque de reserva de la UNAS	49
4.1.5.	Suelo del CIPTALD anexo La Divisoria	51
4.2.	Altura en planta de kudzú	56
4.3.	Materia fresca y seca de la parte aérea y radicular	67
4.3.1.	Peso fresco parte aérea	67
4.3.2.	Peso seco parte aérea.....	70
4.3.3.	Peso fresco radicular	75
4.3.4.	Peso seco radicular	78
4.4.	Área foliar del kudzú	81
4.5.	Volumen y longitud radicular del kudzú	84
4.6.	Porcentaje de infección micorrítico en raíz de kudzú.....	91
4.7.	Número de esporas del hongo micorrítico en el suelo.....	96
4.8.	Análisis de fósforo de la parte vegetativa.....	100
4.9.	Correlación entre el porcentaje de infección micorrítico en raíz y fósforo foliar.....	101
V.	CONCLUSIONES.....	106
VI.	RECOMENDACIONES.....	107
VII.	RESUMEN.....	108
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	112
IX.	ANEXO	127

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Ubicación geográfica de extracción de las zonas de muestreo.	32
2. Descripción de los tratamientos en estudio	34
3. Modelo del análisis de variancia (ANVA).....	35
4. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 30 días de sembrado. ...	57
5. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 30 días de sembrado.	58
6. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 60 días de sembrado. ...	60
7. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 60 días de sembrado.	61
8. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 90 días de sembrado. ...	64
9. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del <i>Pueraria phaseloides</i> L. a los 90 días de sembrado.	65
10. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte aérea del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.	68
11. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte aérea del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	69

12. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte aérea del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.....	71
13. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte aérea del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	72
14. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.	76
15. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	77
16. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo de cinco ecosistemas terrestres.	79
17. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	80
18. Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el área foliar del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo de cinco de ecosistema terrestre.	82
19. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el área foliar del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.	83

20. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el volumen radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo de cinco ecosistemas terrestres.....	86
21. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el volumen radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.	87
22. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la longitud radicular en <i>Pueraria phaseloides</i> L. en cinco ecosistemas terrestres.	88
23. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud radicular del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.	89
24. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de infección micorrítico en raíz del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.	92
25. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de infección micorrítico en raíz del <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	93
26. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el número de esporas micorríticas en suelos de cinco ecosistemas terrestres.	97
27. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el número de esporas de hongo micorrítico de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres. ...	98

28. Análisis de fósforo en hojas de <i>Pueraria phaseloides</i> L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.....	100
29. Evaluación del porcentaje de colonización micorrízica con el contenido de fósforo en la parte vegetativa, por tipo de suelo.....	102
30. Análisis físico químico inicial de suelo de los cinco ecosistemas terrestres.	128
31. Análisis físico químico final del suelo de los cinco ecosistemas terrestres.	129

CUADRO DE FIGURAS

	Pág.
1. Contenido de fósforo de los tratamientos en estudio.....	55
2. Tasa de crecimiento de plántulas del kudzú desde la siembra hasta los 90 días después de la siembra	66
3. Porcentaje de infección micorrítico en raíz de kudzú de los tratamientos en estudio	94
4. Relación entre las variables fuentes de fósforo (X) y porcentaje de colonización en la parte vegetativa (Y) de los cinco ecosistemas terrestres	103
5. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo.....	130
6. Extracción de muestras de cinco ecosistemas terrestres: a) cafetal b) cacaotal c) ex-cocal d) BRUNAS e) CIPTALD.....	131
7. Fase de ejecución y evaluación en el invernadero de la Facultad de Agronomía: (a) Aplicación del fertilizante (b) Selección y siembra (c) Crecimiento (d) Plagas (e) Evaluación de altura (f) Culminación del experimento.....	131
8. Crecimiento del <i>Pueraria phaseoloides</i> L. en suelo de un cacaotal: (a) a los 30 días (b y c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular.....	132
9. Crecimiento del <i>Pueraria phaseoloides</i> L. en suelo de un cafetal: (a) a los 30 días (b) y (c) A los 90 días (d) longitud del sistema radicular.....	132

10. Crecimiento del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo de un ex-cocal: (a) a los 30 días (b) y (c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular.....	133
11. Crecimiento del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo del BRUNAS: (a) a los 30 días (b) y (c) A los 90 días (d) longitud del sistema radicular.....	133
12. Crecimiento del <i>Pueraria phaseloides</i> L. en suelo del CIPTALD: (a) a los 30 días (b y c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular..	134
13. Evaluación en el laboratorio de semillas a los 90 días (a) área foliar (b) peso fresco parte aérea y radicular (c) longitud y volumen en raíz (d) peso seco parte aérea y radicular.	134
14. Proceso de tinción y evaluación del porcentaje de colonización micorrítico en raíces de <i>Pueraria phaseloides</i> L. en cinco ecosistemas terrestres.....	135
15. Estructuras vesiculares del hongo micorrítico en raíces del <i>Pueraria</i> <i>phaseloides</i> L en suelo: (a) cacaotal (b) cafetal (c) CIPTALD (d) BRUNAS (e) ex-cocal (f) Muestras evaluadas.....	135
16. Proceso de aislamiento para el conteo de espora micorrítica en los cinco ecosistemas terrestres.	136
17. Esporas del hongo micorrítico en suelos de cada ecosistema terrestre: (a) cacaotal (b) cafetal (c) CIPTALD (d) BRUNAS (e) ex- cocal (f) Estereoscopio con cámara digital incorporado.	136

I. INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de un ecosistema terrestre depende de la actividad microbiana del suelo que protagonizan diversas acciones y producen beneficio para la planta hospedante. Los hongos formadores de micorrizas vesículo-arbuscular (MVA), son microorganismos multifuncionales que, en condiciones naturales, forman una simbiosis mutualista con más del 90 % de especies de plantas, colonizando las raíces y el suelo (HERNÁNDEZ, 2001).

La relación de las micorrizas vesículo-arbuscular, con los suelos de los distintos agro-ecosistemas, ha sido base para las constantes investigaciones con el fin de ampliar más los conocimientos de estos hongos beneficiosos, encontrando mejores alternativas para ayudar a la nutrición de las plantas y, en general, mejorando así el crecimiento, producción y absorción de nutrientes poco móviles; haciendo disponible elementos como el fósforo y evitando que se pierda por precipitación; además, crean tolerancia al estrés hídrico, protección al ataque de patógenos radicales, mejoran la agregación de las partículas minerales y ayudan a prevenir la erosión del suelo (MEDINA, 2010).

La baja fertilidad de los suelos en la amazonía y en especial la deficiencia de fósforo, en suelos ácidos; el fósforo está sujeto a fenómenos de fijación y el acceso de las plantas a los fosfatos es limitado por la presencia de aluminio y depende, en gran medida, de las características de su sistema radical, si estas presentan poco desarrollo, es condición propicia para la formación de las asociaciones hongo-raíz (VANCE, 2003).

Especie de leguminosa como el Kudzú (*Pueraria phaseoloides* L.) que actúa como plantas hospedantes para los hongos micorrízicos; asimismo, requiere relativamente grandes cantidades de fósforo para el proceso de nodulación y fijación de nitrógeno atmosférico (SCANLAM, 2001). Bajo este contexto se desarrollará la presente investigación cuyos objetivos son:

Objetivo general

1. Evaluar el efecto de tres fuentes de fósforo en el desarrollo de micorrizas en *Pueraria phaseoloides* L. (kudzú) y el incremento de la fertilidad de los suelos provenientes de cinco ecosistemas terrestres en Tingo María.

Objetivos específicos

1. Comparar el contenido de fósforo y la fertilidad del suelo de cada ecosistema estudiado.
2. Evaluar la respuesta vegetativa y contenido de fósforo asimilado en kudzú en suelos de cinco ecosistemas ante tres fuentes de fósforo.
3. Determinar el porcentaje de infección micorrizada en el sistema radicular bajo la aplicación de tres fuentes de fósforo.
4. Regresión del efecto de infección micorrízico en la asimilación de fósforo en la parte vegetativa del kudzú por suelo seleccionado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ecosistema terrestre

Según ZERBINO (2013), son aquellos en los que la flora y fauna se desarrollan en el suelo o subsuelo. Dependen de la humedad, temperatura, altitud y latitud, de tal manera que los ecosistemas biológicamente más ricos y diversos se encuentran a mayor humedad, mayor temperatura, menor altitud y menor latitud y los ecosistemas pueden clasificarse según el tipo de vegetación, encontrando la mayor biodiversidad en los bosques.

2.1.1. Bosque

Los ecosistemas forestales con la mayor densidad biológica, mayor precipitación y de vegetación perennifolia y el clima, determinan diversos tipos: según la latitud y temperatura puede ser selva tropical o subtropical, según la estacionalidad y humedad (ZERBINO, 2013).

2.1.2. Herbazales

ALTIERI (2007), menciona que son aquellos con predominio de hierbas (gramíneas) y suelen estar en medios semiáridos con clima estacional y verde la mayor parte del año, por predominio de la estación húmeda. Son transformados con facilidad en terrenos agrícolas, su estacionalidad conduce a los hábitos migratorios de la fauna, ausencia o presencia irregular de arbustos.

2.2. Las micorrizas arbusculares

Esta asociación entre hongo y raíz es considerada una simbiosis mutualista. La planta hospedera recibe nutrientes minerales a través del micelio del hongo, mientras que el hongo obtiene compuestos de carbono que le

provee la planta resultado de la fotosíntesis (Azcón y Barea, 1996; citado por CERVANTES, 2014).

AGUILERA *et al.* (2007), menciona que el tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada micorriza arbuscular, formada por ciertos zygomycetos, que colonizan de forma intracelular a la corteza de la raíz por medio de las estructuras especializadas denominadas arbusculos, y que actúan así como los órganos de intercambio de nutrientes entre la célula vegetal y el huésped; algunos géneros de estos hongos forman otro tipo de estructuras llamadas vesículas, estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrimentos para el hongo, dando lugar a que la simbiosis se conociera como vesículo-arbuscular (VA)

2.2.1. Mecanismo de colonización

La hifa tiene contacto con la célula epidérmica o un pelo radical y produce un apresorio ligeramente engrosado, a partir del cual se desarrollan ramificaciones infectivas muy cortas. Posteriormente se produce la penetración de la epidermis o del pelo radical mediante la presión ejercida por la hifa en crecimiento sobre la pared celular (BONFANTE *et al.*, 2004). Una vez que la hifa penetra la raíz, generalmente entre las células epidérmicas, se dispersa también intercelularmente a lo largo de la corteza de la raíz, alcanzando la segunda capa de las células corticales (AGUILERA *et al.*, 2007).

La vida media de un arbusculo en actividad es muy corta, y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasmalema de la célula vegetal, siendo encapsulado por el material

depositado en la zona interfacial proveniente del hospedero (Smith, 1990; citado por BARRER 2009). Este continuo y seguido proceso de degradación de arbusculos, a la vez que se forman otros nuevos, es ventajoso para la planta; un arbusculo en degradación, lleno de nutrientes puede liberar su contenido a la célula de la raíz (SALAZAR y GARCÍA, 2002).

2.2.2. Ventajas de las micorrizas en los agroecosistemas

Los hongos formadores de micorrizas son nativos de todos los suelos tropicales y de todos los ecosistemas terrestres; y por ello, se considera necesario inducir estos microorganismos simbiotes en un diseño de cualquier sistema de producción agrícola, forestal o pecuaria; ya que la presencia garantiza la fertilidad de los suelos y son indicadores de excepción de la salud de los agroecosistemas (VEGA *et al.*, 2011).

En los ecosistemas y agroecosistemas, los hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA), son de gran importancia; debido a la asociación simbiótica entre el suelo y raíz, las plantas pueden obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estrés biótico (SIMARD y DURALI, 2004).

PÉREZ *et al.* (2011), refiere que los beneficios de la simbiosis en el hospedero se observan en la supervivencia, la productividad (cantidad y calidad), morfología de planta, capacidad reproductiva. Los hongos formadores de micorrizas se adaptan a pH que esté comprendido de 2.7 a 9.2, proliferando diferentes especies y son conocidos por incrementar el crecimiento de muchas especies de plantas, esto es atribuido a un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; la

producción de las sustancias promotoras de crecimiento, tolerancia a estrés hídrico, estrés por trasplante, resistencia a plantas por fitopatógenos.

RAJAN *et al.* (2000), menciona que las plantas micorrizadas crecen mejor que las plantas que no están micorrizadas en suelos infértiles, por producir y generar un incremento en la nutrición mineral a través de las hifas, quienes ayudan a explorar un mayor volumen de suelo que los pelos radiculares de las mismas plantas. Asimismo, VEGA *et al.* (2011), refiere que los hongos también permiten aumentar el área de exploración de las raíces en el suelo, mejorando la absorción de agua y nutrientes; favoreciendo, además, la agregación de las partículas minerales y orgánicas del suelo en los procesos de erosión.

El incremento en la nutrición mineral aumenta los contenidos de clorofilas y, como consecuencia, una alta tasa fotosintética (FENG *et al.*, 2002). Los HMA que interactúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces, en la rizósfera y en la masa del suelo. La interacción puede inhibir o estimular, aunque los hongos no pueden fijar biológicamente el nitrógeno atmosférico (Barea *et al.*, 1992; citado por PÉREZ *et al.*, 2011).

Las micorrizas mejoran la absorción de nutrientes, especialmente el fósforo, haciendo disponible para la planta y al hacer que las raíces alimentadoras sean más resistentes a la infección que ocasionan algunos hongos del suelo como *Phytophthora*, *Pythium* y *Fusarium*. Algunos hongos micorríticos tienen un amplio rango de hospederos, mientras que otros son más específicos. Asimismo, algunos de ellos benefician en mayor grado a un determinado hospedante que otros hongos, y algunos hospederos sacan un

mejor provecho al asociarse con ciertos hongos micorrícicos que con otros hospedantes. Los hongos micorrizales necesitan también a un hospedante para poder crecer y reproducirse; en ausencia de hospedantes, el hongo se mantiene en forma de esporas (AGRIOS, 2002).

2.2.3. Influencia de las micorrizas arbusculares en la absorción de fósforo por la planta

El fósforo, debido a que las demás plantas lo requieren en grandes cantidades, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución suelo (YONG-GUAN *et al.*, 2003). La razón principal para este fenómeno, es que los iones de fosfato inorgánico se unen rápidamente a coloides del suelo o se fijan como sales de hierro o aluminio volviéndose inmóviles; además, una gran proporción del fósforo inorgánico total está en forma relativamente insoluble, no disponible fácilmente para las plantas y la extensión de las hifas extra radiculares de la micorriza, más allá de esta zona de agotamiento, ocasiona por un lado un incremento del área de absorción y por otro lado la exploración de un volumen mayor de suelo que el que normalmente podría alcanzar el crecimiento de la raíz por sí sola. Además, que el sistema radical de las plantas responde a las condiciones localizadas del suelo y frecuentemente muestra incremento en la proliferación de raicillas en zonas ricas en nutrimentos (AGUILERA *et al.*, 2007).

2.2.4. Uso de fuentes fosforados en la agricultura

Según ZAPATA (2007), las rocas fosfóricas de origen sedimentario son aptas para aplicación directa, porque consisten en agregados

de micro cristales; la práctica de la aplicación directa de diversas fuentes de rocas fosfóricas como fertilizantes presenta muchas ventajas.

La aplicación de las rocas fosfóricas de reactividad media a alta en suelos ácidos tropicales altamente edafizados, tiene un efecto potencial de “arranque” sobre el crecimiento de las plantas; como resultado, no sólo del aporte de fósforo, sino también del incremento del calcio intercambiable y de la reducción de la saturación del aluminio; asimismo, contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo, en particular para evitar la explotación mineral (empobrecimiento) de los nutrientes. Las rocas fosfóricas reactivas pueden ser más eficientes que los fertilizantes fosfatados solubles en agua en base a la recuperación del fósforo por las plantas. Al ser productos naturales, las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas en la agricultura biológica (FAO/OIEA, 2007).

2.2.5. El fósforo en el sistema suelo-planta

Es un elemento esencial en la vida vegetal debido a su función en la estructura de los ácidos nucleicos, fosfolípidos y es importante para el proceso de división celular y la fotosíntesis (PADILLA, 2002).

Las plantas con deficiencias de fósforo tienen un crecimiento retardado (reducción del crecimiento celular y de la expansión foliar, así como de la fotosíntesis y de la respiración) y a menudo presentan un color verde oscuro (más alta concentración de clorofila) y rojizo (aumento de la formación de antocianinas). Este elemento nutritivo es absorbido por las plantas a partir de la solución suelo como aniones ortofosfato monovalente (H_2PO_4^-) y divalente (HPO_4^{2-}), cada uno representando un 50 por ciento del fósforo total en la solución suelo, a un pH cercano a la neutralidad (pH 6-7). Los grandes rangos

en el contenido en fósforo total se deben a la heterogeneidad de las rocas parentales, al desarrollo de los suelos y a otras condiciones edafológicas y ecológicas. Al aumentar la concentración de materia orgánica y fosfatos orgánicos en los suelos se obtiene una mayor cantidad de fósforo total (FERNÁNDEZ, 2003).

En los suelos minerales ácidos, el complejo de intercambio contiene apreciables cantidades de aluminio adsorbido y pequeño pero significativo de hierro y manganeso; que, al combinarse con los fosfatos, forman compuestos insolubles. En los suelos ácidos, el aluminio intercambiable reacciona con los fosfatos y forman $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{P}_0_4$. Los suelos que tienen alto contenido de hierro y aluminio, como los ultisoles y oxisoles, tienen alta fijación de fósforo; en tanto los suelos menos ácidos, tienen menor capacidad de fijación. La fijación es en forma de P-Al y P-Fe (Sánchez, 1981; citado por FERNÁNDEZ, 2003). En los suelos con alto contenido de materia orgánica, cuando se aplica al suelo un fertilizante fosfatado soluble en agua, este reacciona rápidamente con los minerales del suelo (FAO, 2007).

2.2.6. Algunas características de los fertilizantes a utilizar

a. Roca fosfórica

Para CAMACHO (2002), se denomina roca fosfórica a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales. Las ventajas agronómicas son: enriquecimiento del suelo, facilita la formación de raíces, estimula la floración y la formación de semillas; está compuesto por: P_2O_5 (18-22 %), CaO (28-35 %),

CaSO₄ (4-6 %) y micronutrientes como Magnesio, Azufre, Zinc, Fierro, Boro y Manganeso.

Según FAO/OIEA (2007), la aplicación de roca fosfórica en función del porcentaje de arcilla en el suelo permite saturar la capacidad de fijación de fósforo por el suelo (arcilla), de manera que cantidades adicionales de fósforo soluble o poco soluble son totalmente disponibles por la planta, la producción de biomasa se incrementa y por ende la productividad, al incorporar fósforo al suelo aumenta el rendimiento de materia orgánica.

b. Superfosfato triple de calcio

Presenta alto contenido de fósforo (P), se conoce como fosfato tricálcico, es un fertilizante concentrado con 46 % de P₂O₅ y 13-15 % de calcio. Más del 90 % del fósforo total en el superfosfato triple es soluble en agua, por lo que se vuelve rápidamente disponible para las plantas (IPNI, 2015; citado por TOCTO, 2016).

c. Fosfato de amonio

Es una excelente fuente de fósforo (P) y nitrógeno (N) para la nutrición de las plantas es 100 % hidrosoluble. Es altamente soluble y por lo tanto se disuelve rápidamente en el suelo para liberar fosfato y amonio disponible para las plantas. Contiene principalmente 46 % de P₂O₅ y 18 % N (IPNI, 2015; citado por TOCTO, 2016)

2.2.7. Kudzú (*Pueraria phaseoloides* L.)

Es una leguminosa tropical perenne, utilizada como cultivo de cobertura en plantaciones de palma de aceite, cítricos, cacao, etc.; beneficiando

en el control de malezas e incrementando la fertilidad del suelo ayudando a prevenir la erosión de los suelos y movilizan fósforo a través de los aminoácidos secretados por micorrizas o bacterias de la rizósfera; asimismo, mejora las condiciones físicas del suelo por medio del sistema radical superficial que estas poseen, aumentan la biodiversidad (micro-macrofauna), aumenta la materia orgánica, disminuye la incidencia de germinación de la malezas, conserva la humedad en el suelo (Rodríguez, 1993; citado por DEL ÁGUILA, 2010).

PETERS *et al.* (2010), recomiendan para las zonas húmedas del trópico que tengan una precipitación anual mayor a 1 500 mm; es una de las especies de leguminosas que tolera la sombra, crecer a una altitud de 0 a 2 000 msnm, a una temperatura de 18 a 27 °C. CARVAJAL (2009), menciona que el kudzú tolera 70% de saturación de aluminio y crece en todo tipo de suelos, incluso en suelos pesados y tolera la acidez, se puede sembrar en suelos de poca fertilidad, resistente a condiciones húmedas de los suelos.

2.3. Ensayos de investigación

En Tingo María, VEGA (2011), identificó cinco géneros pertenecientes al grupo de micorrizas vesículo arbusculares (MVA); *Glomus*, *Gigasporas*, *Entrophosporas*, *Sclerocystis* y *Acaulosporas*; en 55 especies agrícolas y forestales, en seis zonas adyacentes a la ciudad de Tingo María, siendo el género más común *Glomus* y *Gygasporas*.

En Tingo María, EVARISTO y HUAMANÍ (1994), evaluaron la cantidad y efectividad de hongos (MVA) nativos en dos localidades (Naranjillo y Pumahuasi) de Tingo María y el efecto de MVA introducido con tres niveles de fósforo (fosfato de sechura) en achote (*Bixa orellana* L.), encontrando propágulos de MVA de

genero *Glomus sp* y *Gigaspora sp* en número de 134.80 y 78.40 M en 100 g de suelo seco y al determinar la efectividad de las especies, ellas produjeron un porcentaje de infección del 84.20 y 42 % respectivamente, comentan que las micorrizas requieren de fósforo poco soluble y, en acondicionamiento del suelo, las especies nativas las que mejor responden.

En suelos arenosos y arcillosos del municipio del Mitú en el Ecuador, se evaluó la presencia de MA, bajo diferentes coberturas vegetales (bosque y pastizales); la mayor ocurrencia de hongos formadores de MA se reportó en el pasto braquiaria, reportándose como un hospedero importante de la asociación (BERNAL y MORALES, 2006).

QUIÑONES *et al.* (2014), evaluaron la dinámica del crecimiento de papaya en México por efecto de la inoculación micorrítica y fertilización con fósforo. Se utilizaron sustrato de Santa Rosa de Shapajilla y, como fuente de fósforo, utilizaron roca bayóvar, influyo en un mayor peso seco, tanto en la parte aérea y radicular; asimismo, influenció en el rendimiento de la materia orgánica y la dolomita influenció en la materia seca, parte aérea del papayo y el género *Glomus manihotis*, tuvo mejor comportamiento en la altura de planta y numero de hojas.

Efecto de tres fuentes de fósforo, tres niveles de fósforo y dos especies de MVA en la nutrición y el crecimiento del caupí (*Vigna unguiculata* L.) en suelos ácidos. Se adicionó fuentes de fósforo, como la roca bayóvar y superfosfato triple a niveles de 50, 100 y 150 ppm de P_2O_5 y como fuente de inoculo se utilizó dos especies de MVA (*Acaulospora morrowae* y *Glomus maniothis*), la mejor interacción se obtuvo con roca bayóvar a 150 ppm de P_2O_5 con *acaulospora*

morrowae y también el porcentaje de infección en todos los niveles de superfosfato triple obtuvo un 90 % de infección y las micorrizas responden a los niveles bajos y medios de fósforo (MEDINA, 2010).

ALEMÁN (2006), estudió el efecto de niveles de compostaje y hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo y crecimiento de frijol. Para ellos uso frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el sustrato utilizado consistió en una mezcla de estiércol en 75% y 25% de arena, las cepas de hongos usados fueron del genero *Glomus*: *G. etunicatum*, *G. mosseae* y *G. intraradices*. Llegando a la conclusión que, la inoculación con *Glomus mosseae*, mostró mejor resultado para colonizar las raíces, y por lo tanto tiene mayor afinidad con el frijol; por el contrario, *Glomus etunicatum* fue el inoculo con menos afinidad con aplicación de composta genera un efecto sinérgico con el hongo MA, lo que se manifiesta menos peso radicular, pero mayor cantidad de follaje y mayor peso de las semillas.

BARRER (2009), estudio el uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Las que concluye que: el uso de HMA en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta, lo que se ve reflejado en mayor masa seca, crecimiento y área foliar de la planta. Los HMA son encontrados en todo tipo de suelos y pueden colonizar cualquier planta que establezca simbiosis con ellos; sin embargo, las condiciones físico-químicas del suelo podrían estar generando cierto tipo de especificidad con respecto a las plantas hospederas, según las respuestas que muestran las plantas a determinadas especies de HMA. Es altamente probable que la característica de monocultivo en algunos agroecosistemas, reduce la

diversidad de HMA en el suelo, lo que estaría causando una selección de HMA que estaría aportando beneficios a las plantas de forma limitada.

BOBADILLA (2008), estudió el aislamiento y evaluación de bacterias fosfato solubilizadoras, a partir de compost obtenido de residuos plaza. Realizó un análisis primario en medio SMRS1, en donde se evidenció la formación de halos de aclaramiento alrededor de las colonias, sin evidenciar antagonismo entre ellas. Produjo un inocuo mixto en un medio de cultivo modificado a partir del SMRS1, sustituyendo la fuente de fósforo inorgánico por una fuente de fósforo orgánico (Q₁); empleó el diseño factorial Plackett Burman para seleccionar los factores con mayor significancia en las variables de respuesta que fueron biomasa y unidad fosfatada (UF), se utilizaron como medios controles el SMRS1 y medio Q₁. De acuerdo al análisis de varianza de los tratamientos 1 al 12, ninguno de las variables afecta significativamente la variabilidad de las bacterias. Los resultados indican que el fósforo disponible en la hora 0 fue de 5 ppm, en la hora 8 fue de 9.6 ppm, en la hora 14 se determinó 24.7 ppm de fósforo disponible, siendo el último punto más alto. Por último, en la hora 24 disminuye a 17.8 ppm.

CANCHACHÍ (2000), estudió el efecto de la inoculación bruta de micorriza V.A. y fertilización fosfatada en el cultivo de coca (*Erythroxylum coca* Lam.), en Tingo María. El objetivo del presente trabajo fue: evaluar el efecto de los niveles de inóculo bruto, fuentes y niveles de fósforo en el crecimiento y desarrollo de la planta de coca; así como también, de identificar a los hongos micorrícicos del cultivo de coca. Los parámetros utilizados fueron: roca bayóvar, superfosfato triple de calcio a niveles de 80, 160, 240 ppm de fósforo, con 2 y 4

g de inóculo bruto. Se utilizó un suelo degradado previamente esterilizado y el cultivo de coca. El diseño estadístico empleado fue el completamente al azar con arreglo factorial de $2 \times 3 \times 2 + 16$ adicionales con 3 repeticiones. Las observaciones de altura de planta y número de hojas se realizaron cada 15 días. La cosecha de la parte aérea y radicular se realizó a los 120 días después del trasplante para luego determinar sus respectivos pesos secos y otras observaciones.

Las conclusiones en cuanto a las fuentes fosfóricas probadas con mejores resultados se obtuvieron con roca bayóvar en el rendimiento de materia seca de la parte aérea y radicular. Altas dosis de fósforo afectan la actividad micorrizal. En cuanto a los niveles de inóculo bruto, con 4 g se alcanzó mayor rendimiento de materia seca aérea y con 2 g de inóculo bruto para la materia seca radicular, la actividad micorrizal estuvo influenciada a las modificaciones ejercidas al suelo como consecuencia de la aplicación del fósforo alta y bajamente soluble. En cuanto a los tratamientos, se determinó que existe efecto de los niveles de inóculo con las fuentes y niveles de fósforo en la producción de materia seca aérea y radicular.

CORAL (2015), estudió la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares nativos y su potencial micorrízico en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en diferentes condiciones agroecológicas de la Región San Martín. El objetivo fue determinar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares nativos y su potencial micorrízico en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en diferentes condiciones agroecológicas de la región San Martín; para esto se seleccionaron fincas cafetaleras en tres provincias (Lamas, Moyobamba y El

Dorado) en cada finca se ubicaron tres altitudes ($A_1= 800-1000$, $A_2= 1000-1200$, $A_3= 1200-1400$ msnm) utilizando tres variedades de café (Pache, Caturra y Nacional) de las cuales se colectaron muestras biológicas de suelo y raíces, a cada muestra de suelo se realizó un análisis físico-químico, también se realizó la evaluación de parámetros ecológicos (densidad de esporas, riqueza morfológica, abundancia relativa, y frecuencia de aislamiento).

En las muestras de raíces se evaluó el porcentaje de colonización de hongos micorrizas arbusculares nativos y finalmente se hizo un análisis de correlación lineal del porcentaje de colonización, parámetros ecológicos y el suelo. En los resultados indican que, la provincia de Lamas presentó los más altos valores de densidad de esporas (2 055 esporas/10 gramos de suelo) y riqueza morfológica (27 morfotipos /muestra evaluada); además, se encontró el mayor porcentaje de colonización (12.7- 20.0%) en las raíces de plantas de café; por otro lado, se encontró que existe correlación positiva entre el porcentaje de colonización y los parámetros ecológicos, pero hay correlación negativa con el pH, Nitrógeno y Fósforo del suelo.

GARZÓN (2015), estudió la importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonía Colombiana. Llegó a la conclusión que los hongos formadores de micorrizas arbusculares, el género *Glomus*, es el que se encuentra más ampliamente distribuido en los trópicos, especialmente en el área del Trapecio Amazónico. El género *Acaulospora* se encuentra en menor medida y está más relacionado con suelos ácidos; mientras que la *Gigaspora* se encuentra principalmente en zonas de terraza y loma. Otros géneros como *Archaeospora* y *Scutellospora* tienen una baja

abundancia y distribución en la zona amazónica. QUIÑONES *et al.* (2014), estudiaron la dinámica del crecimiento de papaya por efecto de la inoculación micorrízica y fertilización con fósforo.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del HMA *Glomus sp.* Zac-2 y la fertilización con P, sobre el crecimiento de papaya var. Cera, durante la etapa de vivero. Para ello, se realizó un experimento trifactorial 2 x 3 x 4 (inoculación HMA, fuente y dosis de P) en un diseño completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT), cada 15 días; biomasa seca (BS) y densidad de esporas (DE), al final del experimento (90 días).

A partir de la BS de plantas con y sin micorrizar, se calculó el índice relativo de dependencia micorrízica (IRDM). Las variables AP, DT y BS fueron diferentes ($P \leq 0.05$) entre plantas con y sin HMA, independientemente de la dosis y fuente de P. A los 75 días, las plantas con HMA incrementaron su crecimiento más de 500% con respecto a las no inoculadas; el IRDM fue 99 %. Estos resultados sugieren que la inoculación de HMA en papaya durante la fase de vivero puede beneficiar su crecimiento posterior en campo. DEL ÁGUILA (2010), estudió el efecto de la *Pueraria phaseoloides* (kudzú) y dolomita en las propiedades físico-químicas del suelo en condiciones de selva alta. El objetivo de evaluar el efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo por la influencia de la enmienda (dolomita) y el establecimiento de la *Pueraria phaseoloides* (kudzú) como cobertura del suelo.

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones incluido un testigo, para la significación

estadística se empleó la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$). Los tratamientos utilizados fueron T₁ (testigo), T₂ (kudzú + 2 t de dolomita), T₃ (kudzú + 3 t de dolomita) y T₄ (kudzú + 4 t de dolomita), se evaluó cada mes el porcentaje de cobertura (% C), al final del experimento la cantidad de materia fresca (MF), materia seca (MS) y el análisis de suelos. Concluyó que el T₄ presentó los mejores resultados en % C (97,67), MF (21.67 t 1 ha), MS (3,64 t 1 ha), las propiedades químicas en la profundidad de 0-20 cm y 20-40 cm el pH pasó de fuertemente ácido a moderadamente ácido, la MO pasó de nivel bajo a medio, el contenido de nitrógeno para la profundidad de 0-20 cm se mantuvo a un nivel medio y de 20-40 cm de profundidad subió de bajo a medio; en ambos estratos, el fósforo se mantuvo a nivel bajo, el potasio de 0-20 cm pasó de muy bajo a bajo y de 20-40 cm se mantuvo, el contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ aumentó en ambos estratos y el aluminio intercambiable disminuyó en ambas profundidades de 0-20 cm (2.6 a 0 meq/100 g de suelo) y de 20-40 cm (1.8 a 0 meq/100 g de suelo).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El estudio se realizó en los meses de julio a diciembre del 2014, en el Invernadero de la Facultad de Agronomía (FA) y Laboratorio de Biotecnología y Diversidad Molecular de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), las coordenadas UTM: 18L 385397 m E, 8990216 m S con altitud de 670 msnm. Tingo María se ubica en el distrito Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y departamento de Huánuco (Figura 1). Las características climáticas corresponden a un clima bosque muy húmedo subtropical (GOREHCO, 2016).

3.1.1. Condiciones de clima del invernadero

En el interior del invernadero de la Facultad de Agronomía, la temperatura osciló entre 22.2 a 25.6 °C, a las 08:00 am y de 28.4 - 34.5 °C a las 14:00 pm. La humedad relativa fue de aproximadamente 85%. Los requerimientos de riego fueron satisfechos tres veces por semana.

3.2. Componentes en estudio

3.2.1. Especie leguminosa

Se utilizó la especie *Pueraria phaseoloides* L. “kudzú”, se le considera una planta micotrófica y es exigente en la absorción de fósforo y fijadora de nitrógeno y, por tener una gran adaptabilidad en los suelos del trópico, motivo por la cual fue escogida el kudzú como planta indicadora.

Se escogió suelos de cinco ecosistemas de suelo para observar en cada ecosistema como actúa el fósforo, además que es un elemento lento en descomposición y poco disponible para las plantas. Los ecosistemas de un

suelo degradado frente a un suelo en mejores condiciones y frente a un suelo donde no se sufre de modificaciones.

3.2.2. Ubicación de los ecosistemas estudiados

Los diferentes ecosistemas terrestres están ubicados en las siguientes coordenadas UTM (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de extracción de las zonas de muestreo.

Suelo	Altitud (msnm)	m E.	m N.	Distritos
Cacaotal	603	0393183	8983284	J.C.Castillo
Cafetal	985	0389089	8985294	H.Valdizan
CIPTALD	614	0390476	8970195	J.C.Castillo
BRUNAS	631	0389523	8985341	Rupa Rupa
Excocal	719	0393267	8983691	D.A.Robles

Fuente: Elaboración propia.

BRUNAS = Bosque de Reserva de la UNAS

3.2.3. Características de los ecosistemas terrestres en estudio

a. Suelos que sustentan a un cacaotal

Unidad fisiográfica de terraza baja no inundable (Tb₂), formadas por tierras de una topografía casi plana, con ligeras ondulaciones y conformado por formas originadas por la deposición aluvial, de materiales de grano grueso a granos moderadamente finos, caracterizadas por ser superficies que difícilmente se inundan (ESPEJO, 2010).

b. Suelos que sustentan a un cafetal

Están ubicados en la unidad fisiográfica de montaña baja (Mb) con relieve pronunciado (laderas empinadas y muy empinadas), caracterizado por presentar elevaciones de gran magnitud, desde 300 a más

de 1 000 m de la base local, ubicado entre las uniones de los ríos sometidos a un fuerte modelamiento natural ligado a su litología y estructura geológica; es relieve con pendientes que varían de 25 a 50 % (ESCOBEDO, 2010).

c. Suelos del Centro de Investigación y Producción Tulumayo anexo La Divisoria (CIPTALD)

Estos suelos se encuentran ubicados en la unidad fisiográfica de terraza baja inundable (Tb_1), cuya topografía es plana a ondulada, caracterizadas por estar más altas que las terrazas bajas no inundables, en algunas ocasiones las terrazas medias tienen problemas de un mal drenaje por su aspecto topográfico convexo (SALDAÑA, 2010).

d. Suelos del Bosque Reservado de la UNAS

PUERTA (2007), menciona que el Bosque de Reserva de la UNAS (BRUNAS) presenta tres unidades fisiográficas bien definidas: colina baja (Cb), colina alta (Ca) y montaña baja (Mb), topografía accidentada, de contornos ondulados y de cimas de formas generalmente aguzadas, dependiendo del material de origen, cuyas alturas no pasen los 300 m sobre el nivel de la base local; con laderas largas, cuyas pendientes varían entre 25 y más de 50 %. El BRUNAS se encuentra en la formación vegetal bosque muy húmedo Pre-montano Sub Tropical (bmh-PST).

e. Suelos de un ex-cocal

Ubicados en la unidad fisiográfica de colina alta (Ca), que presentan una topografía accidentada, de contornos ondulados y de climas de formas generalmente aguzadas, dependiendo del material de origen, cuyas alturas no pasen los 300 m sobre el nivel de la base local con laderas largas

cuyas pendientes varían entre 25 y 50 % y con diferentes grados de disección. Estos suelos están ubicados en el caserío de Pozo Azul (GRACEY, 2010).

3.2.4. Fuentes de fósforo (fertilizantes)

Se utilizó los siguientes fertilizantes, cuyo nivel de riqueza es: Roca fosfórica (23% de P_2O_5), Superfosfato triple de calcio (46 % de P_2O_5) y Fosfato de amonio (46 % de P_2O_5 y 18 % N).

3.3. Tratamiento en estudio

En el Cuadro 2, se describe todos los tratamientos en estudio.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos	
Clave	Descripción
T ₀	Suelo de cafetal
T ₁	Suelo de cafetal + 1.74 g P_2O_5
T ₂	Suelo de cafetal + 0.87 g $Ca(H_2PO_4)_2$
T ₃	Suelo de cafetal + 0.87 g $NH_4H_2PO_4$
T ₀	Suelo de cacaotal
T ₁	Suelo de cacaotal + 1.74 g P_2O_5
T ₂	Suelo de cacaotal + 0.87 g $Ca(H_2PO_4)_2$
T ₃	Suelo de cacaotal + 0.87 g $NH_4H_2PO_4$
T ₀	Suelo de CIPTAL
T ₁	Suelo de CIPTAL + 1.74 g P_2O_5
T ₂	Suelo de CIPTAL + 0.87 g $Ca(H_2PO_4)_2$
T ₃	Suelo de CIPTAL + 0.87 g $NH_4H_2PO_4$
T ₀	Suelo de BRUNAS
T ₁	Suelo de BRUNAS + 1.74 g P_2O_5
T ₂	Suelo de BRUNAS + 0.87 g $Ca(H_2PO_4)_2$
T ₃	Suelo de BRUNAS + 0.87 g $NH_4H_2PO_4$
T ₀	Suelo de Ex-cocal
T ₁	Suelo de Ex-cocal + 1.74 g P_2O_5
T ₂	Suelo de Ex-cocal + 0.87 g $Ca(H_2PO_4)_2$
T ₃	Suelo de Ex-cocal + 0.87 g $NH_4H_2PO_4$

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

P_2O_5 = Roca Fosfórica

$Ca(H_2PO_4)_2$ = Superfosfato triple de calcio

$NH_4H_2PO_4$ = Fosfato de amonio

BRUNAS = Bosque de Reserva de la UNAS

3.4. Diseño experimental

En cada suelo se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con 4 tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Las características que se evaluaron por tratamiento se sometió al análisis de variancia (ANVA), a la prueba de comparación de medias de Tukey al nivel ($\alpha= 0.05$) (WONG, 2010).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \sigma_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

σ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

Para:

i = 1, 2,..., 20 tratamientos.

j = 1, 2,..., 4 repeticiones.

3.4.1. Esquema de análisis de variancia (ANVA)

Evaluar el efecto de tres fuentes de fósforo en el desarrollo de micorrizas en kudzú y el incremento de la fertilidad de los suelos provenientes de cinco ecosistemas terrestres en Tingo María se muestra en el (Cuadro 3).

Cuadro 3. Modelo del análisis de variancia (ANVA)

Fuente de variación	Esquema	G.L.
Tratamientos	(t-1)	3
Error experimental	(t)(r-1)	12
Total	(tr-1)	15

3.5. Fase de ejecución del experimento en el campo

3.5.1. Muestreo del área en estudio

Esta labor se hizo de la siguiente manera: en un área de 0.125 hectárea de cada ecosistema terrestre se muestrearon en forma de zig-zag cuatro sub-muestras y se extrajeron en total 40 kg de suelo, la profundidad de muestreo fue de 0-15 cm. Luego, las muestras de cada ecosistema se mezclaron uniformemente para extraer 1 kg de suelo, que fue llevado para su respectivo análisis en el Laboratorio de Suelos - UNAS, Tingo María. El suelo sobrante se usó como sustrato para el *Pueraria phaseoloides* L. en la fase de ejecución del trabajo de investigación.

3.5.2. Transporte del suelo al laboratorio e invernadero

Se utilizó un trimóvil para el traslado de las muestras de suelos, ubicados en los diferentes distritos de Leoncio Prado.

3.6. Fase de ejecución del experimento en invernadero

3.6.1. Preparación del suelo

En el invernadero de la Facultad de Agronomía, las muestras de suelos obtenidas de cada ecosistema, fueron tamizadas, homogenizadas y llenadas en 16 envases de plástico, cada una con 2 kg de suelo. Seguidamente, se mezclaron 12 envases de plástico con los fertilizantes a base de fósforo, considerando el criterio de PAREDES (1990), quien realizó evaluaciones con fuentes de fósforo a nivel de 200 ppm P_2O_5 /ha. Se estableció la siguiente dosis de la fuente de fósforo para cada ecosistema terrestre (por envase): Roca fosfórica (RF) con 1.74 g, superfosfato triple de calcio (SPTCa)

con 0.87 g y fosfato de amonio (FA) con 0.87 g y se aplicó 0.33 g de úrea a cada envase para uniformizar el contenido de nitrógeno.

3.6.2. Siembra

En cada envase de plástico se colocó seis semillas pre-germinadas de kudzú de las cuales se registraron tres plantas al azar, haciendo un total de 12 plantas por tratamiento en evaluación.

3.6.3. Control de plagas y enfermedades

Esta labor se realizó de forma manual tratando de no afectar la parte vegetativa de la planta a evaluar son pocos los reportes que se tiene de la incidencia de plagas y enfermedades.

3.6.4. Riego

Se adicionó agua en los contenedores que contiene el sustrato de acuerdo a la capacidad de retención disponible.

3.7. Fase de ejecución del experimento en laboratorio

Al término de la fase de invernadero se empezó la preparación de las raíces de kudzú para su evaluación.

3.7.1. Método de tinción de raíces micorrizadas

Para esta evaluación se utilizó la técnica de Phillips y Hayman (1970) citado por TAPIA *et al.* (2008). con algunas modificaciones, se utilizó la técnica del aclareo y tinción de raíces.

Las muestras seleccionas por tratamiento (1planta/repetición) fueron lavadas con agua potable hasta eliminar las partículas del suelo adheridas a las raicillas, luego se escogieron la más finas, frescas y jóvenes,

después se colocó en tubos de ensayo. La clarificación de las raíces se realizó mediante inmersión en hidróxido de potasio (KOH) al 10 %, sometido a una temperatura de 60 °C en baño maría durante 30 minutos; luego se procedió a lavar las raíces por tres veces consecutivas con agua destilada y se agregó peróxido de hidrógeno (H₂O₂), dejando en reposo 10 minutos y posteriormente lavarlos con agua destilada por tres veces consecutivas.

La tinción las raíces fueron sumergidas en ácido clorhídrico al 1 % y después se sometió en baño maría durante 3 minutos para luego lavarlos con agua destilada por tres veces consecutivas, seguidamente se sumergió a una solución de azul de Tripán al 0.05 % sometida a una temperatura 60 °C en baño maría durante 10 minutos, se lavó el colorante con agua destilada para luego ponerlo a reposo a temperatura ambiente durante 12 horas.

El proceso de montaje consiste que las raicillas cortadas en pequeños segmentos, se colocan en forma longitudinal 10 raicillas, los que fueron montados en lámina portaobjeto (demarcado con espacios iguales de 1 cm); empleando como medio de montaje glicerol, finalmente se colocó una lámina cubreobjeto, con la ayuda del microscopio óptico (objetivo 40x) se observó la presencia y ausencia del hongo micorrízico en cada muestra para luego evaluar el grado de infección de las estructuras vesiculares.

3.7.2. Método de aislamiento de esporas micorrízico

El método cualitativo utilizado para el aislamiento y conteo de esporas del suelo descrito por SIEVERDING (1983), con algunas modificaciones por BOLAÑOS (1996). Se pesaron 10 gramos/repetición que fue colocado en un frasco Erlenmeyer de 250 ml de capacidad, agregándose 100 ml de agua destilada, luego

se agito por 15 minutos empleando un agitador mecánico tipo Labor 2124 Le-208; después se realizó la filtración a través de un juego de tamices de 800, 500 y 53 μm , para luego ser lavado con agua potable.

El contenido del tamiz de 53 μm almacenó la suspensión de esporas y partículas menores del suelo. Luego en un tubo de centrifugación (40 ml) se le adiciona 20 ml de agua destilada; asimismo, el contenido del tamiz 53 μm y la solución sacarosa al 72%-18 ml y Tween 80 al 2%-2 ml, se centrifugó a 3000 revoluciones por minutos durante 5 minutos. Con la ayuda de una jeringa, asociada en la parte inferior a una manguerita, se extrajo el sobrenadante de la parte superior de la interface al tamiz 53 μm , bajo estas condiciones las esporas quedan suspendidas en la parte azucarada luego con la piceta, previo a un lavado de filtración, se adhirieron las esporas a un papel filtro demarcada con espacios iguales de 1 cm entre si, finalmente con el estereoscopio se observó las estructuras (esporas) y con el contómetro se realizó el cálculo del número más probable.

3.8. Parámetros a evaluar

3.8.1. Nivel de fertilidad de los suelos en estudio

Una vez obtenido las muestras de suelos y haber sido analizados individualmente en el Laboratorio de Suelos en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se compararon la clase textural, contenido de pH, materia orgánica y fósforo en suelos de cinco ecosistemas terrestres evaluados.

3.8.2. Cantidad de plantas para evaluar

De las doce plantas por tratamiento, ocho de ellas fueron destinados para evaluación de los parámetros biométricos y cuatros se usaron para evaluar el porcentaje de infección del hongo micorrítico en el sistema radical de kudzú.

3.8.3. En el invernadero

a. Evaluación de la altura de la planta

Se evaluó durante los 90 días después de la siembra (dds), cada 30 días (tres evaluaciones en total). Para determinar el distanciamiento de la altura en plantas de kudzú, se consideró desde la superficie del sustrato hasta la inserción de la última hoja, utilizándose una regla graduada.

b. Área foliar

Por cada tratamiento se escogieron cuatro plantas (1/repetición), se extrajo el mayor número de discos posibles (20 discos en promedio) empleando un sacabocado de área conocida. Después se determinó el área y peso total de discos en una balanza electrónica, luego con una regla de tres simple, se calculó el área foliar total.

c. Longitud y volumen del sistema radicular

Por cada tratamiento, se evaluaron cuatro plantas (1/repetición) sin maltratar las raíces y lavándolas con agua potable. La longitud se determinó midiendo con una regla de centímetros las raíces cortadas desde el cuello de inserción de la parte aérea y radicular. La evaluación del volumen consistió en sumergir la raíz en una probeta con agua de volumen conocido, a la cual se le introdujo el sistema radicular y por diferencia del volumen incrementado menos el volumen inicial se obtuvo el volumen de la raíz, esta evaluación se realizó después de los 90 dds.

d. Evaluación del peso (g) de la materia fresca y seca de la parte aérea y radicular

Se evaluaron cuatro plantas por cada tratamiento (1/repetición), se lavaron con agua de caño y se pesaron en una balanza analítica. Luego se pesó tanto la parte aérea como radicular de cada tratamiento. Para obtener el peso seco, las muestras se colocaron en una estufa a 60 °C durante 72 horas, y se pesaron en una balanza analítica.

3.8.4. Evaluación en el laboratorio

a. Determinación del porcentaje de infección en raíz

Se observó las estructuras (vesículas y arbusculos) del hongo micorrítico presentes en las raíces separadas por 5 espacios iguales dibujados en el portaobjetos (líneas longitudinales), cada espacio equivale al 20 %. Si se observa una colonización en ese espacio, se le asigna 20 %. Entonces, por cada raíz se sumaron los porcentajes en cada espacio. El porcentaje final por muestra fue el promedio entre las diez raíces observadas por portaobjeto.

b. Determinación del número de esporas en el suelo

Las esporas adheridas al papel filtro demarcado en espacios iguales a 1 cm, fueron observadas en un estereoscopio y con el contómetro se contabilizaron, obteniendo el número más probable de estructuras (esporas), siendo expresado como N^o esporas/10g de suelo seco.

c. Correlación entre el porcentaje de infección y el fósforo asimilado en la parte vegetativa

Se realizó una regresión lineal entre los promedios de porcentaje de infección micorrítica y el fósforo asimilado, por cada ecosistema terrestre evaluado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis físico-químico del suelo

Los resultados del proceso de evaluación físico químico inicial se muestran en el Cuadro 30 (anexo) y el análisis final en el Cuadro 31 (anexo) después de los 90 días de evaluación en fase de vivero.

4.1.1. Suelo de un cacaotal

El análisis físico-químico tanto inicial y final presenta una clase textural franco con calificativo de textura media, estos resultados se muestran en los tratamientos T₀ (kudzú y sin fósforo), T₁ (kudzú y roca fosfórica), T₂ (kudzú y superfosfato triple de calcio) y T₃ (kudzú y fosfato de amonio), es un suelo ligero con poca retención hídrica, de buena aireación, permitiendo que los nutrientes no se pierdan por lixiviación.

El pH inicial es 5.79 (suelo moderadamente ácido), al final la evaluación presentó un incremento en los tratamientos (T₁ y T₂) con similar resultado (pH de 7.41); seguido (T₃) con un rango de 7.38 (suelo neutro) permitiendo una máxima disponibilidad de nutrientes en la solución suelo, asimismo el (T₀) con pH 6.40 (suelo ligeramente ácido) prácticamente el aluminio está neutralizado, el pH del suelo inicial es uno de los factores que influyen en la disponibilidad del fósforo; asimismo, al incorporar nutrientes intercambiables que reemplazan al ion H⁺ y también al producir radicales OH⁻ incrementan el pH del suelo. ARBILDO (2009), el pH del suelo se refiere a la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes y en las propiedades químicas y biológicas del suelo. PEÑA y CARDONA (2010), Cuando el pH es mayor de 5.5, el aluminio se precipita como hidróxido de aluminio eliminando y/o reduciendo

la acción tóxica, mejorando la actividad de los hongos micorríticos y los niveles de macro y micronutrientes asimilables. Según QUIÑONES *et al.* (2014), el fósforo soluble y poco soluble incrementa el pH del suelo permitiendo la disponibilidad de los nutrientes especialmente el fósforo y algunos microelementos; asimismo, produce la reducción de la toxicidad de Al y Fe.

La materia orgánica inicial (2.24 %) al finalizar la evaluación de los tratamientos, resultaron tener un nivel medio el (T₀), (T₂ y T₃) con similar resultado y el (T₁) con 3.27, 2.90 y 2.54 %; estos niveles permiten mejorar la actividad biológica de los microorganismos del suelo que aceleran la mineralización de la materia orgánica. CATIE (2003), menciona que una de las contribuciones más importantes de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fósforo y azufre. Los nutrimentos son secuestrados y liberados de la materia orgánica por 2 procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). Según FARRÚS (2016), la materia orgánica aporta gradualmente N, P, K, Mg, S y micronutrientes, los cuales llegan a ser liberados a través de su mineralización. MEDINA (2010), menciona que las raíces de kudzú micorrizada producen el doble de materia orgánica y asociada con roca fosfórica produce siete veces más en suelos infértiles esto es debido al incremento de absorción de fósforo.

El fósforo inicial muestra un nivel bajo (1.58 ppm), al finalizar la evaluación se incrementó a un nivel alto, el (T₃ y T₂) con 37.44 ppm y 33.80 ppm al aplicar fuentes de fósforo solubles, comparado con el (T₁ y T₀) con 14.18 ppm y 12.19 ppm presentando un nivel medio al incorporar fuentes de fósforo poco solubles y la presencia de fósforo orgánico. Según INIFAP (2005),

las fuentes de fósforo soluble o poco solubles permiten saturar la capacidad de fijación de fósforo por el suelo (arcilla), de manera que cantidades adicionales de fósforo en el suelo son totalmente disponibles por la planta. Según FERNÁNDEZ y MEZA (2004), el pH del suelo es uno de los factores que influyen en la disponibilidad del fósforo proveniente de la roca fosfórica.

4.1.2. Suelo de un cafetal

El análisis físico-químico inicial de la muestra de suelo presenta una clase textural franco arcillo arenoso, de textura moderadamente fina y al término de la evaluación la muestra final resulta una clase textural franco arenoso de textura moderadamente gruesa, en los resultados de textura existen cambios en el porcentaje de arena limo y arcilla, se utilizó arena estéril (50 g/envase) para facilitar el manipuleo de las raicillas en estos suelos arcillosos de excesiva retención de agua y escasa aireación, estos resultados se muestran en los tratamientos T₀ (kudzú y sin fósforo), T₁ (kudzú y roca fosfórica), T₂ (kudzú y superfosfato triple de calcio) y T₃ (kudzú y fosfato de amonio), permitiendo al suelo obtener condiciones adecuadas en aireación y movilidad del agua.

El pH inicial fue 3.35 (suelo extremadamente ácido), al final de la evaluación se incrementó el (T₃, T₂ y T₁) presentando rangos de 6.56, 6.36 y 6.31 (suelo ligeramente ácido), el aluminio está neutralizado y presentando alta disponibilidad de nutrientes; sin embargo, el (T₀) con 5.46 (fuertemente ácido), con poca disponibilidad de nutrientes en la solución suelo que son fijados por el aluminio. Según DEL ÁGUILA (2010), el kudzu y fuentes de fósforo aumentan el pH neutralizando la acidez de los suelos y aumentando los iones OH⁻ que

son responsables de la precipitación y disminución de la toxicidad de aluminio, hierro y manganeso, reduce los iones H^+ y regula la disponibilidad del fósforo e incrementando la disponibilidad de calcio, favorece la actividad microbiana incrementando la mineralización de la materia orgánica, mejorando la fijación de nitrógeno y liberando fosfatos para las plantas.

La materia orgánica inicial (3.36 %) con nivel medio y similar contenido al finalizar la evaluación en los tratamientos (T_0 y T_3) con 3.99 %; asimismo, el (T_2) con 3.63 % se evidencia un incremento numérico en los niveles, comparado con el (T_1) con 3.27 %, se observa un descenso del nivel de materia orgánica. Estos suelos proceden de un cultivo instalado a campo definitivo hace 5 años donde se depositan cantidades apreciables de hojas y ramas para luego entrar en proceso de descomposición y mineralización, lo referente al descenso del (T_1) se debe primero considerar que la materia orgánica tiene un proceso de incorporación con la fase mineral del suelo y en segundo lugar la aplicación de roca fosfórica provoca un incremento de la actividad microbiana. Según MALDONADO (2007), menciona que el kudzú en suelos ácidos con aplicación de fertilizantes hidrosolubles al contener amonio, mejora la disponibilidad de nitrógeno por medio de la doble simbiosis entre la bacteria *Rhizobium leguminosarum* y los hongos formadores de micorrizas vesículo arbuscular, aceleran el proceso de la mineralización e incrementa la materia orgánica. CATIE (2003), menciona que la importancia de la materia orgánica mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y por ende en la retención de los nutrimentos, su función como una fuente importante de nitrógeno y fósforo, mantiene la agregación y retención de agua del suelo.

El contenido de fósforo inicial fue de 8.34 ppm y al final los tratamientos presentaron un nivel alto, siendo mayor el (T₃ y T₂) con 24.10 ppm y 23.77 ppm, estas fuentes son altamente solubles en la solución suelo; asimismo, el (T₁ y T₀) con 13.41 ppm y 11.20 ppm, presentando un nivel medio al incorporar fuentes de fósforo poco solubles y la presencia del fósforo orgánico. DEL ÁGUILA (2010), quien afirma que la aplicación de la roca fosfórica y fuentes de fósforo hidrosolubles incrementan el pH en los suelos aumentando la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, facilitando la absorción del fósforo para formar fosfato de calcio solubles y provocan la insolubilidad de elementos tóxicos como el aluminio y hierro en condiciones ácidas. Sin embargo, Bohn (1991); citado por RUÍZ (2011), demuestra que la aplicación de la roca fosfórica incrementa la actividad microbiológica acelerando la descomposición de la materia orgánica y la consecuente liberación de CO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ y otros microelementos nutritivos de forma mineral fácilmente aprovechables para el crecimiento de la planta.

4.1.3. Suelo de un ex-cocal

El análisis físico-químico tanto inicial y final presenta una clase textural franco arcillo arenoso con calificativo de textura moderadamente fina, en los resultados de textura existen cambios en el porcentaje de minerales del suelo, se utilizó arena estéril (50 g/envase) porque estos suelos arcillosos son pesados, de excesiva retención de agua y escasa aireación por lo tanto la arena va a facilitar el manejo mecánico para la extracción de raicillas.

Los tratamientos T₀ (kudzú y sin fósforo), T₁ (kudzú y roca fosfórica), T₂ (kudzú y superfosfato triple) y T₃ (kudzú y fosfato de amonio),

permitieron al suelo obtener mejor aireación y movilidad del agua. Estos suelos proceden de fuertes cantidades de agroquímicos y fertilizantes sintéticos cuando eran terrenos de sembrío de coca, afectando la proliferación de microorganismos benéficos en la estructura del suelo. Actualmente están en proceso de recuperación por especies vegetales como la gramíneas y leguminosas, por medio de sus raíces, que mejoran los espacios porosos que permiten mejor la circulación de agua y aire; asimismo, se almacena una gran cantidad de residuos orgánicos en proceso de descomposición proporcionados por los restos vegetales.

El pH inicial fue 4.25 (suelo extremadamente ácido), al término de la evaluación se incrementó en los (T₂, T₁ y T₃) con rangos de 7.02, 6.93 y 6.78 (suelo neutro), con alta disponibilidad de nutrientes, sin embargo el (T₀) con rangos de 4.70 (suelo fuertemente ácido), presentó cantidades significativas de aluminio cambiante que son indicadores de toxicidad de los suelos con baja disponibilidad de nutrientes, precipitando al fósforo como fosfato de aluminio por tener baja disponibilidad de materia orgánica en el suelo.

ARÉVALO (2002), suelos con pH inferiores a 4.5 presentan óxido de hierro, aluminio y otros óxidos metálicos. En suelos ácidos los iones de fosfato inorgánico se unen rápidamente a coloides del suelo o se fijan como sales de hierro o aluminio volviéndose insolubles o no disponible fácilmente para las plantas (AGUILERA *et al.*, 2007).

El porcentaje de materia orgánica en la muestra inicial es bajo (1.49 %), posteriormente se incrementó a nivel medio en el (T₃, T₂ y T₀) con 2.90, 2.54 y 2.18 %, comparado con el (T₁) con 0.73 % resultando un

descenso, la aplicación de roca fosfórica provoca un incremento de la actividad microbiana acelerando la descomposición de la materia orgánica. Por su parte Chien (2003); citado por CHIEN *et al.*, (s/a) manifiesta que debido a que la disolución de la roca fosfórica también libera calcio (Ca), en los suelos que tienen alto contenido de Ca la disolución de roca fosfórica es más lenta, como consecuencia de la ley de acción de masas. En muchos suelos tropicales el contenido de Ca es bajo y, por esta razón, presenta condiciones favorables para la disolución de la roca fosfórica. Por otro lado, se ha reportado el efecto positivo de la materia orgánica en el incremento de la efectividad de la roca fosfórica.

El fósforo inicial es bajo (2.04 ppm) y la evaluación final al incorporar fuentes de fósforo presentó un nivel alto, siendo mayor el (T₃ y T₂) con 28.29 y 22.67 ppm, cuando se aplicó fuentes de fósforo altamente solubles se obtuvo el mayor incremento de fósforo disponible, comparado con (T₁ y T₀) con 8.33 ppm y 8.00 ppm que resultaron tener un nivel medio de fósforo y la roca fosfórica mejora la actividad biológica del suelo y la materia orgánica le brinda fósforo orgánico que proviene de la actividad biológica del suelo. BARRER (2009), menciona que suelos con características de terrenos abandonados, degradados, infértiles y erosionados, es evidente el bajo contenido de nutrientes.

La micorriza forma simbiosis con la planta para explorar grandes áreas alrededor de las raicillas para absorber nutrientes poco solubles del suelo, es por ello que una planta micorrizada en suelos ácidos reduce los efectos adversos del pH y toxicidad del aluminio, lo que sugiere una mejora en

la disponibilidad de los elementos nutritivos de baja movilidad tales como fósforo, zinc y cobre.

4.1.4. Suelo de bosque de reserva de la UNAS

El análisis inicial presenta una clase textural franco arcillo arenoso de textura moderadamente fina y la muestra final presenta una clase textural franco arenoso de textura moderadamente gruesa, existe cambios en el porcentaje de arena limo y arcilla, se utilizó arena estéril (50 g/envase) las razones fueron explicadas anteriormente en los suelos del cafetal y ex-cocal; en comparación con los tratamientos T₀ (kudzú y sin fósforo), T₁ (kudzú y roca fosfórica), T₂ (kudzú y superfosfato triple de calcio) y T₃ (kudzú y fosfato de amonio), permitiendo al suelo obtener condiciones adecuadas en aireación y movilidad del agua en suelos arcillosos.

El pH inicial fue 3.86 (extremadamente ácido), luego al finalizar la evaluación se incrementó el (T₃, T₁ y T₂) con 7.16, 7.05 y 7.03 (suelo neutro) caracterizándose por su alta disponibilidad de nutrientes en la solución suelo, sin embargo, el (T₀) quien obtuvo 4.95 (suelo muy fuertemente ácido) presentó aluminio que acidifican el suelo, provocando la retención de nutrientes disponibles. Según BERNIER y ALFARO (2006), la acidez del suelo esta expresada por el pH, lo cual es una cuantificación de los iones H⁺ en la solución del suelo y se encuentra relacionada con el contenido de aluminio.

La materia orgánica inicial es bajo (1.12 %), posteriormente se incrementó a nivel medio en los tratamientos (T₂ y T₃) con 2.54 y 2.18 %, son suelos que almacenan grandes cantidades de residuos orgánicos en proceso de descomposición ocasionados por los microorganismos del suelo que

aceleran la mineralización de la materia orgánica; asimismo, muestra un similar resultado en los tratamientos (T_1 y T_0) con 1.09 % presentando un nivel bajo de materia orgánica con nivel similar al análisis inicial. Según Maser y Trappe (1984) y Dajoz, (2000); citado por DELGADO y PEDRAZA (2002), refieren que los bosques contribuyen a elevar la diversidad y es la microsucesión que se presenta conforme la madera muerta se descompone hasta integrarse al suelo. En cada una de las distintas etapas, desde el árbol en pie recién muerto, la pérdida gradual de la corteza, el derribo parcial o total del fuste, la descomposición del tronco y del tocón, hasta la incorporación de toda esta materia orgánica al suelo, se presentan cientos o miles de especies que se van sucediendo unas a otras y que van creando las condiciones propicias para el establecimiento de las especies propias de la siguiente etapa. De esta forma, se van integrando redes alimentarias muy complejas, formadas por organismos saproxílicos, con distinto papel trófico como los descomponedores de la madera o saproxilófagos, depredadores o consumidores secundarios, parasitoides, micófagos. FERNÁNDEZ (2003), refiere que al incorporar fósforo en el suelo aumenta el rendimiento de la materia orgánica.

El fósforo inicial (1.53 ppm) presenta un nivel bajo, al término de la evaluación presentaron un nivel alto siendo mayor el (T_3 y T_2) con 34.90 ppm y 30.93 ppm, en comparación con el (T_0 y T_1) con 8.33 ppm y 9.99 ppm resultando tener un nivel medio de fósforo. Los desechos de las plantas contienen compuestos orgánicos fosfatados en su estructura y se forman en minerales por los mecanismos de mineralización de la materia orgánica y un fertilizante fosfatado está en relación a su grado de hidrosolubilidad cuanto más

soluble más rápido reacciona con los minerales del suelo BODADILLA y RINCÓN (2008). También García (2006); citado por GRANADOS *et al.* (2010), refiere que la acidez del suelo también puede ser afectada por la proporción de materia orgánica que es descompuesta, ya que al ser degradada se liberan ácidos. Consecuentemente, los suelos que son ricos en materia orgánica tienden a tener un pH bajo; ejemplos de suelos acidificados por material orgánico son las turbas de tierras húmedas y los suelos del bosque.

Es así que suelos del BRUNAS presenta una textura pesada con reacción ácida, con presencia de aluminio e hidrogeno cambiante debido a muchos factores principalmente a la acción de la lluvia, topografía 70% de pendiente, retención fuerte de humedad dentro del bosque, comportamiento y función de micorrizas VA en bosques naturales donde existe acumulación alta de insumos orgánicos en proceso de descomposición. Los factores que afectan la presencia de los microorganismos del suelo son: humedad, temperatura, suministro de nutrientes, pH del suelo y el tipo de planta que se está cultivando.

4.1.5. Suelo del CIPTALD anexo La Divisoria

Clase textural es franco comparado con la muestra de suelo inicial y final, presentando un calificativo de textura media en los tratamientos T₀ (kudzú y sin fósforo), T₁ (kudzú y roca fosfórica), T₂ (kudzú y superfosfato triple) y T₃ (kudzú y fosfato de amonio) por lo tanto es un suelo ligero con poca retención de agua y buena aireación sin pérdida de nutrientes por lixiviación.

El pH inicial es 4.61 (suelo muy fuertemente ácido), al final se incrementó el tratamiento (T₂, T₃ y T₁) con 7.27, 7.18 y 7.05 (suelo neutro) presentando alta disponibilidad de nutrientes. De acuerdo a Mello *et al.* (1988);

citado por ROJAS (2013), la máxima solubilidad de este elemento en el suelo se verifica a pH próximo a la neutralidad y la fijación aumenta con el aumento de la acidez o de la alcalinidad; sin embargo, el grado de acidez del suelo va disminuyendo en el (T₀) con 5.33 (suelo fuertemente ácido), obteniendo poca disponibilidad de nutrientes por presencia de aluminio que fijan los nutrientes disponibles. Los que presentan pH menores o igual que 5.0, indican que tienen deficiencia en elementos como: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ o también pueden tener elementos que pueden estar volviendo tóxico al suelo como: Zn²⁺, Al³⁺, Ni²⁺, etc. (Fassbender, 1987; citado por DEL AGUILA, 2010).

La materia inicial (2.24 %) y final resultaron tener un nivel medio siendo mayor (T₃) y similares resultados en el (T₂, T₁ y T₀) con 2.54% y 2.18 %. La materia orgánica humificada aporta nutrientes y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana (Tisdale y Nelson, 1966; guerrero, 1996; bollo, 1999; tan y Nopamombodi, 1979, Bellapart, 1996; citado por FÉLIX 2008). Asimismo, Libreros (2012); citado por RAMOS y TERRY (2014), refiere que el abono orgánico es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrimentos al suelo y, por tanto, a las plantas.

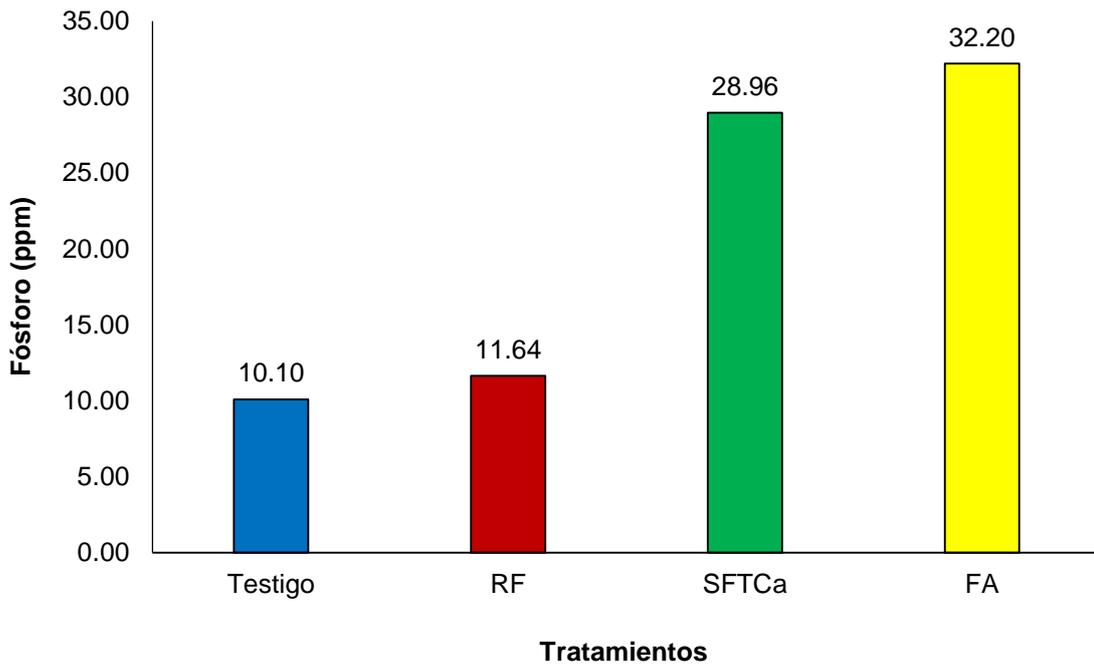
El contenido de fósforo inicial muestra un nivel bajo (2.01 ppm), al finalizar la evaluación se incrementó a un nivel alto el (T₃ y T₂) con 36.33 ppm y 33.58 ppm resultando un nivel alto de fósforo, este comportamiento está en su grado de solubilidad; asimismo, el (T₁ y T₀) con 12.30 ppm y 10.76 ppm que.

Gyaneshwar *et al.* (2002); Oliviera *et al.* (2008); citado por BELTRÁN (2014), manifiestan que el fósforo orgánico está presente en la materia orgánica, que se origina por la degradación microbiana de restos de animales y vegetales. En diversos suelos puede representar cerca de 50% del fósforo total insoluble. Además, Picone *et al.* (2002); citado por BELTRÁN (2014), refiere que el fósforo orgánico puede ser mineralizado como subproducto de la mineralización de la materia orgánica del suelo o mediante la acción de enzimas específicas que son reguladas por la demanda de este nutriente. De acuerdo a los resultados las características químicas de los cinco tipos de suelos al aplicar las fuentes de fósforo han mejorado en el caso de pH, materia orgánica y fósforo. GOMERO (2013), el fósforo soluble y poco soluble corrige la acidez, mejorar las propiedades químicas aumenta los iones OH^- , baja los iones hidrogeno (H^+) en la solución suelo, disminuye la toxicidad del aluminio, hierro, manganeso, regula la disponibilidad del fósforo, incrementa la disponibilidad del calcio y magnesio, eleva el porcentaje de saturación de base cambiables, favorece la actividad microbiana incrementando la mineralización de la materia orgánica, mejorando la fijación de nitrógeno, aumenta el pH y libera el fosfato, haciéndolo disponible para las plantas.

Para QUIÑONES *et al.* (2014), el fósforo poco soluble tiene lenta reacción y baja solubilidad, permitiendo la liberación del fósforo en forma gradual, de tal manera que a partir de este fósforo liberado las plantas lo puedan tomar, evitando la fijación del fósforo por el aluminio existente en suelos ácidos. Las altas concentraciones de fosfato de amonio se deben a que el fósforo es 100% hidrosoluble y el contenido de amonio influye

significativamente sobre la disponibilidad del fosfato en un pH ácido, permitiendo al kudzú mejorar absorción de nutrientes y agua. Según Rodríguez (1993); citado por DEL ÁGUILA (2010), las coberturas vivas como las leguminosas mejoran las condiciones físicas del suelo por medio de su sistema radical superficial que estas poseen, aumentan la biodiversidad (micro y macro fauna), la materia orgánica, devuelven la fertilidad y conservan la humedad del suelo. Para ORÚS *et al.* (2011), el intercambio catiónico se produce cuando las partículas del suelo entran en contacto con la solución acuosa del suelo originando un proceso físico - químico muy complejo. El responsable del proceso de intercambio catiónico es el llamado "complejo de cambio", que posee carga negativa lo cual permite retener en su superficie iones cargados positivamente. Indica la facultad de un suelo para contener nutrientes, es decir su fertilidad "potencial". Un suelo con alta capacidad de intercambio catiónico es capaz de retener temporalmente mayor cantidad de nutrientes y ponerlos progresivamente a disposición de la planta y será más efectivo conservando las aportaciones de fertilizantes. Son la arcilla y la materia orgánica los componentes que dan al suelo esta facultad, por esta razón la capacidad de intercambio catiónico y la textura están muy relacionadas. Los suelos arcillosos son más fértiles o potencialmente más fértiles que los arenosos. Andrades y Martínez (2014); citados por YÁÑEZ (2017) refieren que, el complejo arcillo-húmico del suelo se encuentra saturado cuando se presenta totalmente ocupado por cationes básicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ y Na^+) desplazando a su vez al (H^+ y Al^{3+}). Estos autores agregan que, este complejo arcillo-húmico está formado por pequeñas partículas de arcilla y humus que floculan en el agua del

suelo en presencia del calcio. Este desempeña una función importante con respecto a la estructura y fertilidad del suelo, por lo que en cierta medida la cantidad de nutrientes que la planta tenga a su disposición va a depender de la capacidad que tenga el complejo de retenerlos.



Leyenda

RF : Roca fosfórica
SFTCa : Superfosfato triple de calcio
FA : Fosfato de amonio

Figura 1. Contenido de fósforo de los tratamientos en estudio

En la Figura 1, se muestra el contenido de fósforo disponible en los cinco ecosistemas terrestres de los tratamientos en estudio al final del experimento, observándose que, con la aplicación de fosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), se muestra el mayor contenido de fósforo disponible, el valor fue de 32,20 ppm. Seguido del tratamiento donde se aplicó superfosfato triple de calcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), el valor fue de 28.96 ppm. El tratamiento donde se aplicó roca fosfórica (P_2O_5), se observó contenidos de fósforo disponible similares a los

testigos donde no se aplicó ninguna fuente de fósforo, según los resultados, manifestamos que el fosfato de amonio y superfosfato triple de calcio son más solubles y por ende estas más disponibles para las plantas.

4.2. Altura en planta de kudzú

Para determinar la diferencia estadística entre los tratamientos en estudio con respecto a la altura de la planta (cm) del kudzú a los 30, 60 y 90 días después de la siembra se realizó el análisis de varianza (ANVA) y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$). En el Cuadro 4, se observa que a los 30 días después de sembrado el kudzú el modelo propuesto resulta altamente significativo ($p < 0.05$), indicando rechazo de la hipótesis nula. Para el suelo de un cacaotal, ex-cocal, BRUNAS y cafetal resulta altamente significativo ($p < 0.05$) respectivamente. Lo cual indica que existen diferencias entre los tratamientos en la altura de plántulas de kudzú, cabe asimismo indicar que los suelos de ecosistemas de cacaotal y cafetal presenta 9.34 y 8.31 % de coeficiente de variabilidad (CV), indicando una excelente homogeneidad de datos observados, mientras que los suelos del CIPTALD, ex-cocal y BRUNAS, presentan 11.89, 12.98 y 12.24 % de C.V. respectivamente, indicando una muy buena homogeneidad de los datos observados. Se realizó la prueba de medias con el comparador Tukey para cada uno de los ecosistemas terrestres.

En el Cuadro 5, se observa que los suelos cacaotal y ex-cocal, la mayor altura lo presentó el tratamiento T₃ (Fosfato de amonio), en suelos del cafetal BRUNAS y CIPTALD, la mayor altura fue en el tratamiento T₂ (Superfosfato triple de calcio) respectivamente, mientras que el T₀ (sin aplicación de fósforo) fue el de menor altura en plántulas de kudzú.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del *Pueraria phaseoloides* L. a los 30 días de sembrado.

Fuente de variación	G.L.	Evaluación a los 30 días después de la siembra									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.	
Tratamiento	3	5.42	AS	1.89	S	5.73	AS	13.74	AS	11.47	AS
Error experimental	12	0.63		0.46		0.48		0.55		0.56	
Total	15										
Promedio		8.48		5.72		5.36		6.06		9.03	
C.V. (%)		9.34		11.89		12.98		12.24		8.31	

S: Significativo; AS: Altamente significativo

Cuadro 5. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del *Pueraria phaseoloides* L. a los 30 días de sembrado.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	C.M.	Sig.	Clave	C.M.	Sig.	Clave	C.M.	Sig.	Clave	C.M.	Sig.	Clave	C.M.	Sig.
T ₃	9.50	a	T ₂	6.43	a	T ₃	6.43	a	T ₂	8.83	a	T ₂	10.67	a
T ₂	9.41	a b	T ₃	6.18	a	T ₂	6.33	a	T ₁	5.43	b	T ₃	10.25	a
T ₁	7.83	b c	T ₁	5.25	a	T ₁	4.60	b	T ₃	5.08	b	T ₁	8.08	b
T ₀	7.16	c	T ₀	5.02	a	T ₀	4.08	b	T ₀	4.93	b	T ₀	7.15	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Sin fósforo
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple de calcio
- T₃: Fosfato de amonio

En los cinco ecosistemas terrestres evaluados. En el Cuadro 6, se observa el ANVA a los 60 días después de la siembra, el modelo resulta altamente significativo, indicándonos diferencia estadística entre los tratamientos en la altura de planta (cm) en los cinco ecosistemas terrestres; asimismo, cabe señalar que el suelo de un cacaotal, cafetal y del CIPTALD presentan un 6.15, 4.15 y 4.76 % de CV respectivamente, indicándonos una excelente homogeneidad de datos observados, mientras que los suelos del BRUNAS y ex-cocal tienen 11.51 y 13.52 % de coeficiente de variabilidad respectivamente indicando una muy buena homogeneidad de los datos observados.

En el Cuadro 7, se observa que el suelo cacaotal, la mayor altura lo presentó el tratamiento T₃ (Fosfato de amonio) y en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal la mayor altura lo presentó el tratamiento T₂ (Superfosfato triple de calcio) respectivamente y el tratamiento T₀ (sin aplicación de fósforo) fue el de menor altura, en los cinco ecosistemas terrestres. El fosfato de amonio al igual que el superfosfato triple de calcio tuvo un efecto positivo en la altura de planta logrando el segundo lugar debido a que ambos son altamente solubles en la solución suelo y son aprovechados por la planta en menor tiempo.

Según FAO/OIEA (2007), el comportamiento de la fuente de fósforo está en relación a su grado de solubilidad, es decir mayor índice de crecimiento con fuentes de fósforo más solubles.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del *Pueraria phaseoloides* L. a los 60 días de sembrado.

Fuente de variación	G.L.	Peso de la materia seca parte radicular									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	0.67	AS	2.58	AS	0.83	AS	1.04	AS	6.60	AS
Error experimental	12	0.09		0.18		0.03		0.02		0.12	
Total	15										
C.V. (%)		15.24		41.04		33.00		13.75		10.60	
Promedio		1.97		1.03		0.53		0.94		3.29	

AS : Altamente significativo

Cuadro 7. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del *Pueraria phaseoloides* L. a los 60 días de sembrado.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₃	34.25	a	T ₂	15.66	a	T ₂	16.00	a	T ₂	17.43	a	T ₂	28.00	a
T ₁	28.25	b	T ₃	14.68	a	T ₃	10.00	b	T ₃	9.33	b	T ₃	25.75	b
T ₂	23.50	c	T ₁	10.91	b	T ₁	5.83	c	T ₁	6.43	c	T ₁	16.83	c
T ₀	13.17	d	T ₀	8.41	c	T ₀	5.50	c	T ₀	5.93	c	T ₀	11.33	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Sin fósforo
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple de calcio
- T₃: Fosfato de amonio

En el Cuadro 8, podemos observar que el modelo resulta altamente significativo ($\alpha=0.05$), indicando diferencias entre los tratamientos en estudio con respecto a la altura de plántulas de kudzú. Es necesario mencionar que, en los suelos de cacaotal, cafetal, CIPTALD y ex-cocal presentan un coeficiente de variación de 6.15 %, 3.64 %, 3.93 % y 7.38 %, lo que se caracteriza por ser una excelente homogeneidad de datos observados, con respecto al suelo de BRUNAS que presenta un 11.22 % de coeficiente de variabilidad indicándonos una muy buena homogeneidad de las observaciones. Se realizó la prueba de media con el comparador Tukey para cada uno de los ecosistemas terrestres

En el Cuadro 9, observamos que en suelos de un cacaotal el tratamiento T_1 (Roca fosfórica) presentó la mayor altura frente a los demás tratamientos en estudio, los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal la mayor altura lo presentó el tratamiento T_2 (Superfosfato triple de calcio) respectivamente y el tratamiento T_0 (sin aplicación fósforo) obtuvo la menor altura en los cinco ecosistemas terrestres.

A nivel de fuentes de fósforo solubles el superfosfato triple de calcio resultó tener mejor efectos para la altura de planta que las demás fuentes, especialmente en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal, al presentar valores de 27.18 cm, 21.08 cm, 20.43 cm y 42.58 cm respectivamente, este mayor efecto se debe a la alta solubilidad del superfosfato triple de calcio (T_2) más que el fosfato de amonio (T_3), permitiendo la solubilidad y acumulación de los iones fosfato en la solución suelo beneficiando a la planta, en comparación con la aplicación de fósforo poco soluble (roca fosfórica) influencio en el crecimiento del kudzú en suelos del

cacaotal explicándose este resultado por su lenta solubilidad lo que permite liberar el fósforo en forma gradual favoreciendo el crecimiento de la planta y desfavoreciendo de esta forma la fijación del fósforo por el aluminio existente en los suelos ácidos. Probablemente las micorrizas nativas necesitan aparentemente de la aplicación de fuentes fosforadas para actuar sobre el crecimiento del kudzú. Por lo mencionado anteriormente para el parámetro de altura de planta en promedio el mayor valor a los 90 días después de la siembra, donde las plantas del kudzú sembradas en suelos del cafetal y cacaotal alcanzaron 41.22 y 29.62 cm.

Mientras que los suelos del CIPTALD, ex-cocal y BRUNAS solo alcanzaron 18.42, 12.79 y 11.75 cm respectivamente, esta superioridad de los suelos del cacaotal esté relacionada al pH del suelo, el cual tiene un valor inicial de 5.79 por lo que en estas condiciones el fósforo está más disponible mientras que en suelos extremadamente ácidos o con un pH menor de 4 existe poca disponibilidad de nutrientes minerales tal como ocurre en los suelos del CIPTALD, ex-cocal y BRUNAS.

Específicamente se deba a la concentración de fósforo más que al pH el cual fue mayor que en los demás suelos con un valor de 8 ppm lo cual muestra que el suelo extraído presentó nutrición a base de abonos orgánico otorgado por proyectos alternativos; estos suelos, al tener fósforo, incrementa la actividad de las micorrizas vesículo arbuscular actuando como medio de transporte de los nutrientes la superioridad de la altura de plantas en suelos de un cafetal,

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la evaluación del *Pueraria phaseoloides* L. a los 90 días de sembrado.

Fuente de variación	G.L.	Evaluación a los 90 días después de la siembra									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	1084.44	AS	226.38	AS	168.03	AS	153.88	AS	686.79	AS
Error experimental	12	6.42		0.39		0.89		1.74		1.16	
Total	15										
C.V. (%)		6.15		3.39		7.38		11.22		3.64	
Promedio		41.23		18.42		12.79		11.75		29.62	

AS: Altamente significativo

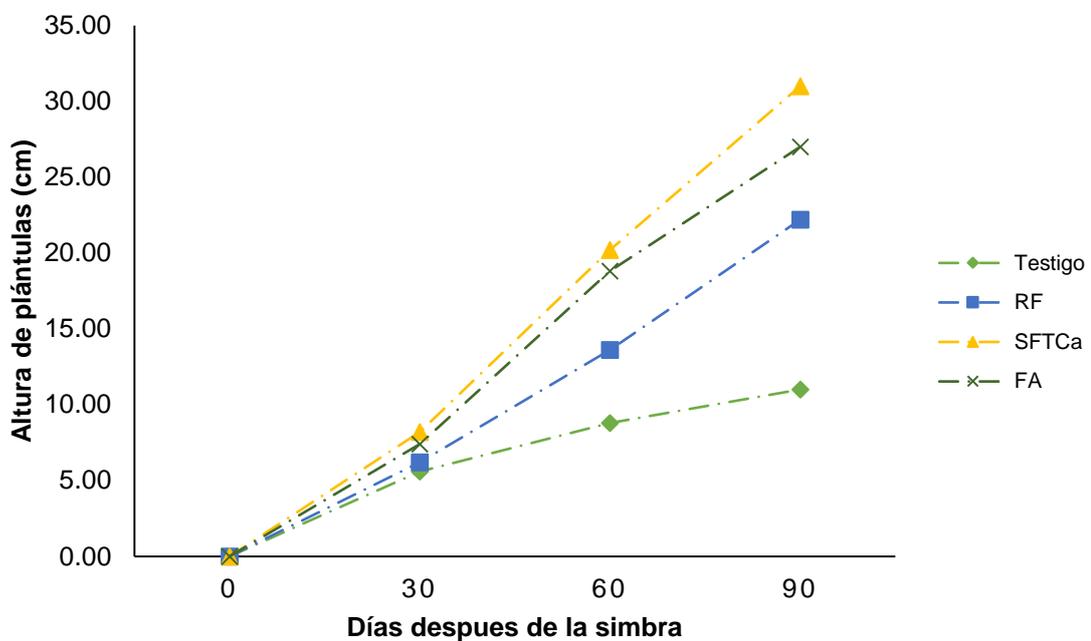
Cuadro 9. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la altura de plantas del *Pueraria phaseoloides* L. a los 90 días de sembrado.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	55.25	a	T ₂	27.18	a	T ₂	21.08	a	T ₂	20.43	a	T ₂	42.58	a
T ₃	47.91	b	T ₃	21.50	b	T ₃	14.50	b	T ₃	12.00	b	T ₃	38.00	b
T ₂	44.25	b	T ₁	15.08	c	T ₁	9.25	c	T ₁	7.65	c	T ₁	23.91	c
T ₀	17.50	c	T ₀	9.91	d	T ₀	6.32	d	T ₀	6.93	c	T ₀	13.99	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí
 Leyenda:

- T₀: Sin fósforo
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple de calcio
- T₃: Fosfato de amonio

En la Figura 2, se muestra la tasa de desarrollo de altura de plántulas, desde la siembra hasta los 90 días después de la siembra, de los tratamientos en estudio, observamos que con el tratamiento T₂ (superfosfato triple de calcio), muestra las plántulas de kudzú con mayor altura, seguido del tratamiento T₃ (fosfato de amonio). Es posible que esto se deba a la alta solubilidad de los elementos aplicados y la condición adecuada del suelo, lo que estaría ayudando para tener un mayor crecimiento.



Leyenda:

RF : Roca fosfórica
SFTCa : Superfosfato triple de calcio
FA : Fosfato de amonio

Figura 2. Tasa de crecimiento de plántulas del kudzú desde la siembra hasta los 90 días después de la siembra

FAO/OIEA (2007), las fuentes de fósforo soluble o poco soluble son totalmente disponibles por la planta, haciendo que la producción de biomasa se incremente y por ende la productividad, al incorporar fósforo al suelo aumenta el rendimiento de materia orgánica.

MEDINA (2010), las micorrizas vesículo-arbuscular estimulan grandemente el crecimiento de las plantas, esto es debido a que responden favorablemente a niveles bajos y medios del contenido de fósforo en suelo a bajas concentraciones las plantas micorrizadas tienen una elevada capacidad de absorción de fósforo. Casanova (1987); citado por FERNÁNDEZ y MEZA (2004), menciona que la roca fosfórica es de baja solubilidad y tiene un mayor efecto residual, el cual va liberando paulatinamente el fosfato a la solución suelo, esto quiere decir que se puede esperar mejores resultados con el tiempo.

4.3. Materia fresca y seca de la parte aérea y radicular

4.3.1. Peso fresco parte aérea

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro 10) para el peso de la materia fresca de la parte aérea del kudzú se deduce que existen diferencias estadísticas altamente significativas en cada ecosistema terrestre, indicando de esta manera que existe diferencia entre los tratamientos en estudio. Asimismo, el coeficiente de variabilidad para el suelo de BRUNAS es de 5.65 % el cual nos muestra una excelente homogeneidad de los datos, los suelos del CIPTALD, ex-cocal y cafetal presentan 17.88, 19.65 y 17.25 % de C.V. respectivamente indicándonos una buena homogeneidad de datos observados y el suelo del cacaotal presenta un 13.09 % de CV mostrando una muy buena homogeneidad de datos observados. Se realizó prueba de Tukey.

Cuadro 10. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte aérea del *Pueraria phaseloides* L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L	Peso de la materia fresca de la parte aérea									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	110.80	AS	51.67	AS	25.59	AS	27.57	AS	78.63	AS
Error experimental	12	2.77		1.07		0.69		0.07		2.85	
Total	15										
C.V. (%)		13.09		17.88		19.65		5.65		17.25	
Promedio		12.72		5.77		4.23		4.58		9.78	

AS: Altamente significativo

Cuadro 11. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte aérea del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Media	Sig.	
T ₁	16.70	a	T ₂	10.66	a	T ₂	7.48	a	T ₂	7.15	a	T ₂	14.18	a
T ₃	15.46	a	T ₃	5.87	b	T ₃	4.68	b	T ₃	5.81	b	T ₃	12.61	a
T ₂	13.70	a	T ₁	4.37	b	T ₁	3.30	c	T ₁	4.32	c	T ₁	7.85	b
T ₀	5.05	b	T ₀	2.18	c	T ₀	1.48	d	T ₀	1.05	d	T ₀	4.50	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Sin fósforo
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple de calcio
- T₃: Fosfato de amonio

El Cuadro 11, el mayor peso lo presentó el T₁ (roca fosfórica) en el suelo del cacaotal y en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal el T₂ (Superfosfato triple de calcio) es el que presenta mayor peso de materia fresca de la parte aérea respectivamente; asimismo, cabe mencionar que el T₀ (sin fósforo) obtuvo el menor peso en frente a los demás tratamientos y en los cinco ecosistemas terrestres

4.3.2. Peso seco parte aérea

En el Cuadro 12, se observa los resultados del ANVA para el peso de la materia seca de la parte aérea, donde existen diferencias estadísticas altamente significativas en cada ecosistema terrestre, indicando de esta manera que existe diferencia entre los tratamientos en estudio. Asimismo, el C.V. para el suelo de BRUNAS es de 5.65 %, el cual nos muestra una excelente homogeneidad de los datos, los suelos del CIPTALD, ex-cocal y cafetal presentan 17.88, 19.65 y 17.25 % de C.V. respectivamente indicándonos una buena homogeneidad de datos observados y el suelo de cacao presenta un 13.09 % de C.V. mostrando una muy buena homogeneidad de datos observados. Como se observa en el Cuadro 13, en el suelo de cacao, el T₁ (roca fosfórica) es el de mayor peso seco frente a los demás tratamientos y en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal el T₂ (Superfosfato triple de calcio) tiene el mayor peso de materia seca respectivamente; es necesario indicar que el T₀ (sin fósforo) presenta el menor peso frente a los demás tratamientos en estudio y en los cinco ecosistemas terrestres.

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte aérea del *Pueraria phaseoloides* L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Peso de la materia seca parte aérea									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	3.42	AS	2.55	AS	1.45	AS	0.32	AS	2.92	AS
Error experimental	12	0.11		0.21		0.02		0.01		0.04	
Total	15										
C.V. (%)		13.26		42.87		25.85		11.29		10.38	
Promedio		2.50		1.06		0.60		0.58		1.97	

AS: Altamente significativo

Cuadro 13. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte aérea del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	3.24	a	T ₂	2.19	a	T ₂	1.47	a	T ₂	1.40	a	T ₂	2.93	a
T ₃	3.12	a	T ₃	1.20	b	T ₃	0.85	b	T ₃	1.07	b	T ₃	2.39	b
T ₂	2.42	b	T ₁	1.13	b	T ₁	0.50	c	T ₁	0.92	b	T ₁	1.50	c
T ₀	1.23	c	T ₀	0.60	b	T ₀	0.38	c	T ₀	0.40	c	T ₀	1.04	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Sin fósforo
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

Al igual que la altura de planta, las variables de materia fresca y seca de la parte aérea, obtuvieron bajos resultados en suelos de pH menor de 4, mientras que en los suelos de pH mayor a 5.5 y el suelo de un cacaotal alcanzo mayores valores. Además, la respuesta del kudzú a las diversas fuentes de fósforo, cuya eficiencia se logra según su grado de solubilización.

Según MEDINA (2010), una leguminosa micorrizada, con la incorporación de roca fosfórica, obtuvo buenos resultados incrementando la materia seca (biomasa vegetal); esto es debido a su lenta solubilización para transformarse en fosfato asimilables por la planta, asimismo, la relación de materia seca de la parte aérea entre la parte radicular es normalmente en plantas micorrizadas; esto se debe a la capacidad de formar un micelio intenso. Este incremento no solo está asociado a la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, sino que es la interacción conjunta de tres factores que son: suelo, especies de hongo micorríticos y plantas hospedantes (Bethlenfalvay y Brown, 1982; citado por CAMARENA, 2012).

El suelo del cafetal, como ya se había mencionado, la mayor cantidad de peso de materia fresca y seca en la parte aérea se debe al contenido inicial de fósforo disponible. Al respecto ZAPATA (2007), menciona que el fósforo es un elemento nutritivo esencial para las plantas y en suelos tropicales la deficiencia es fuerte debido a la fijación de fósforo. A nivel de fuentes de fósforo se encontró diferencias significativas en cada suelo del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal, el superfosfato triple de calcio resultó tener un efecto mayor en peso (g) al tener valores altos con respecto a las demás fuentes; es decir, los fertilizantes de alta solubilidad resultan favorables

en suelos donde existe un porcentaje bajo de micorrizas debido a que estas ayudan al fósforo a no fijarse existiendo una relación directa entre la solubilidad de fuente de fósforo y las micorrizas.

En suelos de un cacaotal el mayor peso seco y fresco de la parte aérea fue alcanzada con la aplicación de la roca fosfórica, debido su lenta solubilidad que frente a una gran cantidad de infección de micorrizas, alcanzó una simbiosis más eficiente en suelos con pH neutro donde la cantidad de inoculo e infección juegan un papel indispensable en la fijación y disponibilidad de fósforo en el suelo, entonces se puede concluir que las micorrizas influyen significativamente en el peso de la materia seca con o sin aplicación de fuentes solubles o poco solubles en suelos tropicales.

La estructura y función de comunidades de micorrizas también puede variar con la edad de la planta, especialmente en especies perennes o semiperennes, y se ha encontrado, empleando métodos moleculares de evaluación, que los HMA dominantes en plántulas recién germinadas de especies forestales tropicales eran reemplazadas por otros tipos de HMA al realizar evaluaciones un año más tarde; más aún, plantas de diferentes edades en un mismo sitio, presentaban diferentes comunidades de HMA asociadas a ellas (Husband *et al.*, 2002; citado por PÉREZ *et al.*, 2011). Además, Cuenca *et al.* (2007); citado por GARZÓN (2016), en su trabajo de inoculación de especies de HMA (*Glomus manihotis*, *Scutellospora fulgida*, *Entrophospora colombiana*, muy adaptadas a suelos ácidos) en plantas de la especie *V. luteola* para evaluar su cambio en la productividad, reportaron un aumento de un 4000% del peso seco de la planta y un incremento del 315 % en la

producción de biomasa. Además, se dilucidó que existe una compatibilidad funcional entre micorrizas, suelo y plantas, por lo cual hay combinaciones mejores

Según VARGAS (2005), al agregar fuentes de fósforo facilita la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo del kudzú obteniendo mayor cantidad de materia seca.

4.3.3. Peso fresco radicular

Se realizó un análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso fresco de la parte radicular de las plantas de kudzú; se encontró diferencias significativas entre los tratamientos para la materia fresca (Cuadro 14) y también se observa que los suelos del cacaotal, CIPTALD y BRUNAS presentan 9.88, 9.75 y 7.34 % de coeficiente de variabilidad respectivamente, indicando una excelente homogeneidad de datos observados, el suelo del cafetal con 10.61 % de coeficiente de variabilidad, mostrando una muy buena homogeneidad de datos observado, el suelo del excocal con 19.86 % de coeficiente de variabilidad indica una buena homogeneidad de datos observados.

En Cuadro 15, se puede observar que el (T₂) con aplicación de superfosfato tripe de calcio, presenta el mayor peso en los suelos del CIPTALD, Excocal, BRUNAS y cafetal respectivamente; el T₁ (roca fosfórica) presenta mayor peso en suelo de un cacaotal, comparado el T₀ (sin fósforo) con los demás tratamientos presenta menor peso fresco en los cinco ecosistemas terrestres.

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte radicular del *Pueraria phaseloides* L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Peso de la materia fresca parte radicular									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.	
Tratamientos	3	3.53	AS	9.12	AS	4.77	AS	2.55	AS	6.60	AS
Error experimental	12	0.17		0.08		0.09		0.02		0.12	
Total	15										
C.V. (%)		9.88		9.75		19.86		7.34		10.60	
Promedio		4.20		2.82		1.56		1.86		3.29	

AS: Altamente significativo

Cuadro 15. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) fresco parte radicular del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	5.02	a	T ₂	4.43	a	T ₂	2.99	a	T ₂	2.73	a	T ₂	4.44	a
T ₃	4.78	a b	T ₃	3.75	b	T ₃	1.72	b	T ₃	2.22	b	T ₃	4.16	a
T ₂	4.07	b	T ₁	1.87	c	T ₁	1.13	b	T ₁	1.60	c	T ₁	2.94	b
T ₀	2.93	c	T ₀	1.24	d	T ₀	0.41	c	T ₀	0.88	d	T ₀	1.63	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

El suelo del cacaotal y cafetal a nivel de fuentes de fósforo, la roca fosfórica resultó, en promedio, el mayor peso seco y fresco en raíces; esta superioridad en suelos del cacaotal se debe al efecto combinado de una gran cantidad de hongos y una liberación lenta de fósforo como es característico de la roca fosfórica, el cual lo diferencia del superfosfato triple y fosfato de amonio

Las micorrizas mejoran la absorción de fósforo por las raíces micorrizadas, ya que estas incrementan el número de sitio de absorción por área de la raíz. Esto es corroborado por VALENCIA (2005), quien menciona que los hongos no solo aumentan la biomasa vegetal, sino que el aumento es proporcional con la parte radicular y un buen sistema de raíces le permite a la planta explorar suficiente volumen de suelo para absorber agua y nutrientes para la planta.

4.3.4. Peso seco radicular

En el Cuadro 16, se observa un análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso seco de la parte radicular en plantas de kudzú; se encontró diferencias altamente significativas entre los tratamientos, cabe mencionar que los suelos del cafetal, BRUNAS y Cacaotal presentan 10.60, 13.75 y 15.24 % de coeficiente de variabilidad respectivamente indicando una muy buena homogeneidad de datos y el suelo del CIPTALD y ex-cocal con 41.04 y 33 % de C.V. mostrando un resultado muy variable. Cuadro 17, el T₁ (roca fosfórica) es de mayor peso seco en el suelo de cacao, como también se puede observar que el T₂ es el de mayor peso seco en los suelos de CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal respectivamente, y el T₀ (sin fósforo) es el de menor peso seco en los diferentes suelos.

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte radicular del *Pueraria phaseloides* L. en suelo de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Peso de la materia seca parte radicular									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	0.67	AS	2.58	AS	0.83	AS	1.04	AS	6.60	AS
Error experimental	12	0.09		0.18		0.03		0.02		0.12	
Total	15										
C.V. (%)		15.24		41.04		33.00		13.75		10.60	
Promedio		1.97		1.03		0.53		0.94		3.29	

AS: Altamente significativo

Cuadro 17. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el peso (g) seco parte radicular del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	2.41	a	T ₂	1.77	a	T ₂	1.14	a	T ₂	1.37	a	T ₂	1.94	a
T ₃	2.14	a	T ₃	1.67	a	T ₃	0.59	b	T ₃	1.17	a b	T ₃	1.80	a
T ₂	1.85	a b	T ₁	0.44	b	T ₁	0.31	b c	T ₁	1.02	b	T ₁	1.29	b
T ₀	1.46	b	T ₀	0.24	b	T ₀	0.09	c	T ₀	0.21	c	T ₀	0.90	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

En pH menores de 5 como los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal; el mayor efecto lo tuvo el superfosfato triple de calcio y fosfato de amonio, es debido a su alta solubilidad en la solución suelo afectando la proliferación de estructuras micorríticas. Mientras que la roca fosfórica por ser menos soluble, no afecta la actividad de estos microorganismos, incrementando el contenido de materia seca de la parte radicular del kudzú.

Al respecto IPNI (s/a), menciona que a mayor peso de la parte aérea le corresponde un menor peso radicular, esto se debe a que el fósforo forma parte de los ácidos nucleicos y fosfolípidos. Por lo tanto, al haber una mayor disponibilidad de fósforo, a pesar de un menor volumen radicular, lo absorbe con facilidad favoreciendo el crecimiento de la planta. Estos resultados se muestran en suelos de un cacaotal incorporado con roca fosfórica como también en suelos del CIPTALD, BRUNAS, ex-cocal y cafetal obteniendo mayores resultados con la aplicación de súper triple de calcio

4.4. Área foliar del kudzú

De los resultados del análisis de variancia (ANVA) (Cuadro 18), el área foliar de las hojas presenta diferencias altamente significativas entre los tratamientos en lo que respecta al suelo del cacaotal, CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal respectivamente; cabe así mismo indicar que presenta 15.78, 18.51, 14.67 y 18.70 % los suelos del cacaotal, CIPTALD, BRUNAS y cafetal respectivamente de coeficiente de variabilidad indicándonos una buena homogeneidad de datos observados y el suelo ex-cocal con 28.67 % de C.V. indicando un resultado de datos variable.

Cuadro 18. Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el área foliar del *Pueraria phaseloides* L. en suelo de cinco de ecosistema terrestre.

Fuente de variación	G.L.	Área Foliar									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	713212.41	AS	119032.92	AS	329616.61	AS	191433.94	AS	409350.02	AS
Error experimental	12	31126.72		5130.38		21287.43		4904.88		17079.23	
Total	15										
C.V. (%)		15.78		18.51		28.67		14.67		18.70	
Promedio		1117.91		387.04		508.95		477.31		698.80	

AS: Altamente significativo

Cuadro 19. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el área foliar del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	1371.30	a	T ₂	625.12	a	T ₂	824.20	a	T ₂	698.59	a	T ₂	1052.02	a
T ₂	1322.90	a	T ₃	374.50	b	T ₃	659.40	a b	T ₃	602.55	a	T ₃	887.23	a
T ₃	1291.00	a	T ₁	333.43	b c	T ₁	367.80	b c	T ₁	401.25	b	T ₁	432.23	b
T ₀	486.50	b	T ₀	215.11	c	T ₀	184.50	c	T ₀	206.86	c	T ₀	423.70	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Legenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

En el Cuadro 19, observamos que en suelos de cacao el T₁ (roca fosfórica) obtuvo la mayor área frente a los demás tratamientos y el T₂ (superfosfato de calcio) presentó la mayor área frente a los demás tratamientos, en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y Cafetal respectivamente y el T₀ (sin fósforo) es el que menor área presenta comparado con los demás tratamientos. Esta evaluación complementa a los resultados encontrados por la materia seca y fresca de la parte aérea, en suelos del cacaotal y cafetal, alcanzando mayores valores de área foliar y absorbiendo una mayor cantidad de nutrientes; sobre todo, aquellas poco móviles como el fósforo, que interactúan con las raíces micorrizadas, incrementando el número de sitios de absorción de los nutrientes (TORRES *et al.*, 2013). Un pH cercano al neutro influye la mayor respuesta al área foliar y todo el desarrollo vegetativo de la planta que inicialmente los suelos de cacaotal tuvieron un pH de 5.79.

4.5. Volumen y longitud radicular del kudzú

El Cuadro 20, se presenta los resultados del ANVA para el volumen radicular, donde se puede observar que existe alta diferencias estadísticas en los cinco ecosistemas terrestres, indicando de esta manera que existen diferencias en los tratamientos. El C.V. de los suelos del cacaotal (18.19 %), CIPTALD (15.71 %) y cafetal (18.79 %) presenta una buena homogeneidad de datos y el suelo del ex-cocal (21.72 %) y BRUNAS (22.60 %) de coeficiente de variabilidad tienen una regular homogeneidad en las observaciones.

En el Cuadro 22, se presenta los resultados del ANVA para la longitud radicular, donde se puede observar que existe alta diferencias estadísticas en los cinco ecosistemas terrestres, el coeficiente de variabilidad de los suelos de

cacaotal (15.12 %), CIPTALD (15.77 %) y ex-cocal (15.23 %) presentan una buena homogeneidad de los datos, el suelo de BRUNAS (21.21 %) indicando una regular homogeneidad de las observaciones y el suelo de café con un 11 % de C.V. tiene una muy buena homogeneidad de datos observados.

En el Cuadro 21, observamos que en los suelos del cacaotal el mayor volumen lo presenta el T₁ (Roca fosfórica) y en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal el mayor volumen es en el T₂ (Superfosfato triple de calcio) respectivamente y el T₀ (sin fósforo) fue el que presentó menor volumen en los cinco ecosistemas terrestres.

En el Cuadro 23, se observa la mayor longitud radicular en los suelos de un cacaotal, lo presenta el T₁ (Roca fosfórica) y en los suelos del CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y cafetal, el T₂ (Superfosfato triple de calcio) respectivamente fue el que presentó la mayor longitud frente a los demás tratamientos en estudio; el T₀ (sin fósforo) es el de menor longitud en los cinco ecosistemas terrestres. Estos resultados aseveran la superioridad de los suelos del cacaotal y cafetal, además, confirman los resultados encontrados por el peso de materia fresca y seca de la parte radicular.

Los suelos de BRUNAS, ex-cocal y CIPTALD alcanzaron menores valores para ambas variables indicando que no existió un buen porcentaje de infección a nivel de raíz, ya que estas fueron reguladas por la luminosidad y temperatura, el cual no solo afecta a las micorrizas sino a la planta hospedera tal como lo indica SÁNCHEZ (2009).

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el volumen radicular del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Volumen radicular									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.	
Tratamientos	3	4.81	AS	6.83	AS	2.39	AS	0.93	AS	4.42	AS
Error experimental	12	0.37		0.13		0.12		0.12		0.29	
Total	15										
C.V. (%)		18.19		15.71		21.72		22.60		18.79	
Promedio		3.34		2.25		1.59		1.53		2.88	

AS: Altamente significativo

Cuadro 21. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el volumen radicular del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	4.13	a	T ₂	3.50	a	T ₂	2.50	a	T ₂	2.00	a	T ₂	4.00	a
T ₃	4.00	a	T ₃	3.25	a	T ₃	1.75	b	T ₃	1.75	a	T ₃	3.50	a
T ₂	3.50	a	T ₁	1.25	b	T ₁	1.50	b	T ₁	1.50	a b	T ₁	2.25	b
T ₀	1.75	b	T ₀	1.00	b	T ₀	0.63	c	T ₀	0.88	b	T ₀	1.75	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

Cuadro 22. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la longitud radicular en *Pueraria phaseoloides* L. en cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Longitud radicular									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.		C.M.	
Tratamientos	3	298.22	AS	121.83	AS	24.83	AS	24.00	AS	168.71	AS
Error experimental	12	15.06		3.84		2.29		3.21		5.48	
Total	15										
C.V. (%)		15.12		15.77		15.23		21.21		11.00	
Promedio		25.66		12.42		9.94		8.44		21.28	

AS: altamente significativo

Cuadro 23. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud radicular del *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	34.50	a	T ₂	20.33	a	T ₂	11.50	a	T ₂	10.45	a	T ₂	27.70	a
T ₃	29.40	a b	T ₃	11.63	b	T ₃	11.15	a	T ₃	10.43	a	T ₃	23.53	a b
T ₂	24.50	b	T ₁	10.08	b	T ₁	10.90	a	T ₁	7.48	a b	T ₁	21.58	b
T ₀	14.25	c	T ₀	7.65	b	T ₀	6.23	b	T ₀	5.43	b	T ₀	12.33	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

VALENCIA (2005), menciona que un buen sistema de raíces permite a la planta explorar suficiente volumen de suelo para obtener agua y nutrientes, lo que se traduce en buen crecimiento vegetativo. Pero los hongos MA no solo incrementan la masa vegetal, sino que también influyen sobre la proporción en el cual esta se distribuye entre la parte aérea y la parte radical. La estimulación de la captación de nutrientes y la subsiguiente translocación de estos a la parte aérea, ocasiona a que se envíen a la luz, relativamente menos productos de la fotosíntesis, y una mayor proporción de estos sea retenida en la parte aérea y utilizada en la producción de materia verde (ALEMÁN, 2006). Como consecuencia, la relación peso seco de la parte aérea/peso seco de la raíz es normalmente más alta en plantas micorrizadas (Manjarrez, 1999; citado por ALEMÁN, 2006).

Las micorrizas nativas asociadas con plantas hospedantes presentan especialmente mayor crecimiento, producción de materia seca de la parte aérea y volumen radicular en suelos de baja fertilidad; asimismo, responden favorablemente a fuentes de fósforo solubles y poco solubles, produciendo un incremento en la nutrición mineral a través de las hifas que captan fosfato de la solución suelo, también incrementa la mineralización de la materia orgánica; físicamente une las partículas minerales y los microorganismos del suelo para formar agregados, esto resulta ser una alternativa a largo plazo para su utilización en los suelos ácidos.

En los cuadros 11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 al evaluar el kudzú, se encontró la mejor respuesta en suelos de un cacaotal relacionado con los hongos micorríticos nativos e incorporado con roca fosfórica (T₁), se debe a su interacción positiva entre el hongo y el fósforo poco soluble en la absorción de nutrientes poco móviles a

través de las raíces micorrizadas del kudzú, por medio de las hifas que forman el micelio externo que explora el suelo y acceden a zonas que la raíz no puede llegar, disminuyendo las distancias entre los nutrientes que se mueven lentamente por difusión a la raíz.

En suelos del cafetal, CIPTALD, BRUNAS y ex-cocal, obtuvieron buenos resultados con la incorporación superfosfato triple de calcio (T_2), mejorando las propiedades químicas, facilitando la disponibilidad de nutrientes esenciales en beneficio para la planta, como también corrige algunas deficiencias nutricionales manteniendo la fertilidad del suelo; por otro lado, el (T_0) cuando no se aplica fuentes de fósforo resulta tener menor valor en la mayoría de la evaluación del kudzú.

4.6. Porcentaje de infección micorrítico en raíz de kudzú

En el Cuadro 24, el ANVA nos muestra que en todos los tratamientos presenta alta significación estadística ($\alpha=0.05$); es decir, que existe diferencia en los tratamientos en estudio; asimismo, los coeficientes de variabilidad de 5.13 % (suelo de un cacaotal) y 7.83 % (suelo de un cafetal) nos muestran que los datos tienen una excelente homogeneidad, el suelo del BRUNAS (10.62 %) y ex-cocal (12.83 %) presentan una muy buena homogeneidad de datos y el suelo del CIPTALD (16.64 %) con buena homogeneidad de datos observados.

En el Cuadro 25, se muestra que las micorrizas nativas incrementan el porcentaje de infección de micorrizas siendo mayor en los tratamientos que tuvieron fuentes de fósforo.

Cuadro 24. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de infección micorrítico en raíz del *Pueraria phaseoloides* L. en suelos de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Porcentaje de infección micorrítico									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	1739.58	AS	1124.92	AS	675.00	AS	1421.58	AS	799.06	AS
Error experimental	12	11.75		27.25		10.50		12.75		16.23	
Total	15										
C.V. (%)		5.13		16.64		12.83		10.62		7.83	
Promedio		66.88		31.38		25.25		33.63		51.44	

AS: Altamente significativo

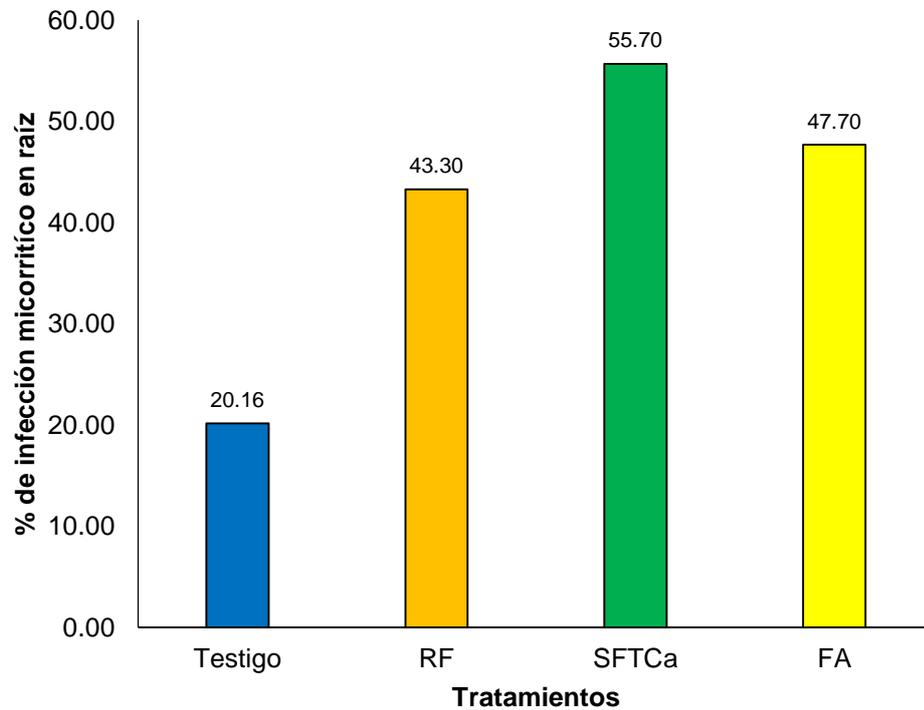
Cuadro 25. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de infección micorrítico en raíz del *Pueraria phaseloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	85.50	a	T ₂	52.00	a	T ₂	40.00	a	T ₂	54.00	a	T ₃	64.50	a
T ₃	73.50	b	T ₁	32.50	b	T ₃	28.00	b	T ₃	42.50	b	T ₂	61.00	a
T ₂	71.50	b	T ₃	30.00	b	T ₁	24.50	b	T ₁	27.50	c	T ₁	46.50	b
T ₀	37.00	c	T ₀	11.00	c	T ₀	8.50	c	T ₀	10.50	d	T ₀	33.75	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio



Leyenda

RF : Roca fosfórica
SFTCa : Superfosfato triple de calcio
FA : Fosfato de amonio

Figura 3. Porcentaje de infección micorrizica en raíz de kudzú de los tratamientos en estudio

Los mejores resultados los tenemos en el T₁ (roca fosfórica) en suelo del cacaotal con 85 % de infección de micorrizas, seguido del T₃ (fosfato de amonio) en suelo del cafetal con 64.5 % de infección de micorrizas y T₂ (superfosfato triple de calcio) en suelo del BRUNAS, CIPTALD y del ex-cocal alcanzaron un 54.00, 52.00 y 40.00 % de infección micorrizica y el T₀ (sin fósforo) resultó menor porcentaje de infección micorrizica en suelo de los cinco ecosistemas terrestres con 37.00, 33.75, 10.50, 11 y 8.50 % respectivamente.

En estos resultados, al igual que las demás variables evaluadas, las propiedades físicas y químicas juegan un papel importante para el porcentaje de infección de micorrizas; siendo el pH por lo que un suelo con acidez débil, como el suelo del cacaotal, propició mayores condiciones de infección de micorrizas, mientras que en el suelo de un cafetal la mayor infección de micorrizas estuvo determinada por un mayor contenido de fósforo inicial (8 ppm), las fuentes fosforados y el porcentaje de infección micorrítico, se insiste que los mayores resultados alcanzados por la roca fosfórica en los suelos del cacaotal se deba a la gran cantidad de esporas frente a una liberación lenta de fósforo en suelos de pH mayores a 5.5, que hace que se incremente el porcentaje de infección de micorrizas y en efecto tenga mejores resultados en el crecimiento del kudzú, lo que no sucede con las demás fuentes que son más solubles reduciendo el porcentaje de infección micorrítico al final del experimento.

En términos generales, se reporta que la aplicación de fuentes de fósforo influye de manera diferente el porcentaje de infección micorrítico y que la aplicación de fósforo soluble favorece en mayor o menor grado la infectividad de los hongos formadores de micorrizas vesículo-arbuscular y esto va a depender de las características edáficas del suelo y las condiciones del hábitat donde se puedan multiplicar beneficiando a las plantas hospedantes.

Tunjar (1989); citado por CANCHACHÍ (2000), menciona que en suelos ácidos, el kudzú asociado con micorrizas y fertilizada con roca fosfórica estudiadas en condiciones de invernadero, causó una rápida infección de las

raíces. MORALES y DURANGO (2008), mencionan que factores como hospedero, temperatura y humedad influyen en la producción de inoculo

4.7. Número de esporas del hongo micorrítico en el suelo

El Cuadro 26, nos muestra que el ANVA es altamente significativo en los cinco ecosistemas terrestres, indicándonos que existen diferencias en los tratamientos en estudio, cabe así mismo mencionar que el suelo del cacaotal tiene 15.46 % de coeficiente de variación, indicándonos buena homogeneidad de los resultados, mientras que los suelos del CIPTALD (24.01 %), suelo de BRUNAS (23.91 %) y suelo del cafetal (21.23 %) presentan regular homogeneidad de datos y el suelo de ex-cocal tiene 27.92 % de coeficiente de variabilidad indicándonos resultados variables.

En el Cuadro 27, en los suelos del cacaotal y cafetal el mayor número de esporas lo presenta el T₁ (Roca fosfórica) y en los suelos del CIPTALD y BRUNAS el T₃ (Fosfato de amonio) respectivamente y en los suelos de Ex cocal el T₂ (Superfosfato triple) tuvo el mayor número de esporas; y el T₀ (sin fósforo) es el de menor número de esporas en los cinco ecosistemas terrestres. Es decir en los suelos de los cinco ecosistemas con aplicación de fuentes de fósforo se ha logrado encontrar esporas micorríticas por lo que estarían propiciando poco o mayor aprovechamiento de los fertilizantes fosfatados y nutrientes del suelo, favoreciendo una mayor captación de agua, estimulando el crecimiento aéreo y radicular. VEGA *et al.* (2011), menciona que no todas las especies de micorrizas vesículo-arbuscular tienen la misma capacidad de formar esporas o la producción de esporas está condicionada a los cambios edáficos del suelo, la época y las condiciones de muestreo.

Cuadro 26. Cuadrados medios del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para el número de esporas micorríticas en suelos de cinco ecosistemas terrestres.

Fuente de variación	G.L.	Número de esporas micorríticas									
		Suelo de un cacaotal		Suelo del CIPTALD		Suelo de un ex-cocal		Suelo del BRUNAS		Suelo de un cafetal	
		C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS	C.M.	AS
Tratamientos	3	952.83	AS	208.73	AS	131.23	AS	145.17	AS	290.17	AS
Error experimental	12	29.29		26.81		20.10		22.88		25.96	
Total	15										
C.V. (%)		15.46		24.01		27.92		23.91		21.23	
Promedio		35.00		21.56		16.06		20.00		24.00	

AS: Altamente significativo

Cuadro 27. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el número de esporas de hongo micorrítico de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Suelo de un cacaotal			Suelo del CIPTALD			Suelo de un ex-cocal			Suelo del BRUNAS			Suelo de un cafetal		
Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.	Clave	Media	Sig.
T ₁	50.25	a	T ₃	28.50	a	T ₂	20.75	a	T ₃	25.00	a	T ₁	31.50	a
T ₂	38.50	b	T ₂	25.00	a	T ₁	18.50	a	T ₂	24.75	a	T ₂	29.25	a
T ₃	37.75	b	T ₁	21.00	a b	T ₃	17.25	a	T ₁	17.75	a b	T ₃	22.75	a b
T ₀	13.50	c	T ₀	11.75	b	T ₀	7.75	b	T ₀	12.50	b	T ₀	12.50	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí

Leyenda:

- T₀: Suelo agrícola
- T₁: Roca fosfórica
- T₂: Superfosfato triple
- T₃: Fosfato de amonio

Mientras que PEÑA (2006), quien menciona que la cantidad de esporas varía de acuerdo con el tipo de cobertura muestreada, al mismo tiempo el pH y el contenido de nutrientes influyeron determinantemente en la cantidad de número de propágulos infectivos de hongos MVA.

CORAL (2015), refiere que en suelos de bosque las micorrizas vesículo-arbuscular algunos tienden a fructificar en determinadas épocas del año y que las raíces superficiales de los árboles hacen que las hifas no requieran trasladarse a grandes distancias para invadir nuevas raíces; por lo tanto, no requieren de la producción de esporas en el suelo, es probable que por estas características registren mínima cantidad de esporas. En suelos del cacaotal y cafetal presentan mayor número de esporas en comparación con los demás suelos que reportan un número menor de inóculos, esto es debido que en cada suelo existe una gran variabilidad de especies y la capacidad de cada uno de ellos para producir esporas es diferente al respecto. CARDONA (2000), menciona que las condiciones de muestreo, época y la capacidad de esporulación de cada especie son factores determinantes en la abundancia de esporas en el suelo, entonces es correcto pensar no todos los hongos formadores de micorrizas tienen la misma capacidad de formar esporas, por lo que se ve las diferencias en los ecosistemas.

Por todo lo mencionado se puede decir que la diferencia entre el número de esporas en los diferentes suelos es básicamente a las características internas de cada ecosistema siendo el pH y el nivel nutricional; mientras que a nivel fuentes de fósforo, el número de esporas está básicamente ligado a la capacidad de esporulación de la diversidad de hongos existentes en cada

ecosistema, por lo que se ha demostrado que no existe correlación con el porcentaje de infección ni con ninguna otra variable, probablemente la solubilidad de la fuentes poco han influenciado en el número de esporas.

4.8. Análisis de fósforo de la parte vegetativa

En el Cuadro 28, presentamos los análisis de fósforo total en hojas del kudzú con o sin aplicación de fertilizantes fosforados en los cinco ecosistemas terrestres. Para BLASCO (1992), la tabla de contenido de fósforo foliar en leguminosas presentan un nivel deficiente a 0.25 % y nivel normal a 0.40 %.

Cuadro 28. Análisis de fósforo en hojas de *Pueraria phaseoloides* L. de cuatro tratamientos en cinco ecosistemas terrestres.

Tratamientos	<i>Pueraria phaseoloides</i> L. asociado en suelo				
	Cacaotal	Cafetal	CIPTALD	BRUNAS	Ex-Cocal
T ₀	0.28	0.20	0.18	0.13	0.10
T ₁	0.48	0.32	0.26	0.18	0.20
T ₂	0.67	0.58	0.44	0.32	0.29
T ₃	0.42	0.38	0.36	0.27	0.23

Leyenda:

- T₀ = Suelo
- T₁ = Selo + roca fosfórica
- T₂ = Suelo + superfosfato triple de calcio
- T₃ = suelo + fosfato de amonio

La absorción del fósforo por el kudzú fue favorecida a través de la aplicación de fuentes fosfatados, el mayor contenido de fósforo lo representa el superfosfato triple de calcio, seguido por el fosfato de amonio y el menor contenido con la aplicación de roca fosfórica a excepción del testigo (sin fósforo). Siendo el mayor valor de fósforo asimilado en suelo del cacaotal y cafetal.

El hongo micorrítico aumentó la captación de fósforo del suelo, la misma que repercutió en los mayores resultados obtenidos en los indicadores de crecimiento del kudzú, esto se debe que las raíces micorrizadas, al producir una masa de micelio externo, se extiende a mayor distancia que los pelos absorbentes, reduciendo la distancia de nutrientes del suelo a la planta por medio de las hifas que realiza la transferencia de fósforo de una planta a otra.

Los hongos micorríticos incrementan la captación de fósforo para la planta necesitando un aporte de fuentes de fósforo soluble y poco soluble, en caso contrario su efecto no es tan significativo.

4.9. Correlación entre el porcentaje de infección micorrítico en raíz y fósforo foliar

Se correlacionan los porcentajes de infección del hongo micorrítico con el contenido de fósforo en la parte vegetativa del kudzú (Cuadro 29).

Las micorrizas incrementan la absorción de fósforo por aumento del volumen del suelo que explora la gran masa de micelio y la absorción de fósforo por parte de la hifa. Los suelos con alta capacidad de fijación de fósforo las plantas micorrizadas son más aptos para tener fósforo en la parte vegetativa (GUERRA, 2007).

Cuadro 29. Evaluación del porcentaje de colonización micorrízico con el contenido de fósforo en la parte vegetativa, por tipo de suelo.

Suelo	Cacaotal		Cafetal		CIPTALD		BRUNAS		Ex-Cocal	
	% Colonización	% P								
T ₀	37.00	0.28	33.75	0.20	11.00	0.18	10.50	0.13	8.50	0.10
T ₁	85.50	0.48	46.50	0.32	32.50	0.26	27.50	0.18	24.50	0.20
T ₂	71.50	0.67	61.00	0.58	52.00	0.44	54.00	0.30	40.00	0.23
T ₃	73.50	0.42	64.50	0.38	30.00	0.36	42.50	0.27	28.00	0.23
Prom.	66.88	0.46	51.44	0.37	31.38	0.31	33.63	0.22	25.25	0.19

Leyenda:

- T₀ = Suelo
- T₁ = Suelo + roca fosfórica
- T₂ = Suelo + superfosfato triple de calcio
- T₃ = Suelo + fosfato de amonio

Hayman (1987); citado por PAREDES (2002), refiere que las propiedades como el pH, así como los macroelementos y microelementos asimilables ejercen una influencia favorable sobre distintas especies de hongos micorrizas vesículo-arbuscular y el número de esporas varían en cada zona; esto depende del nivel de fósforo en la planta más que el suelo, es que controla el funcionamiento de las micorrizas.

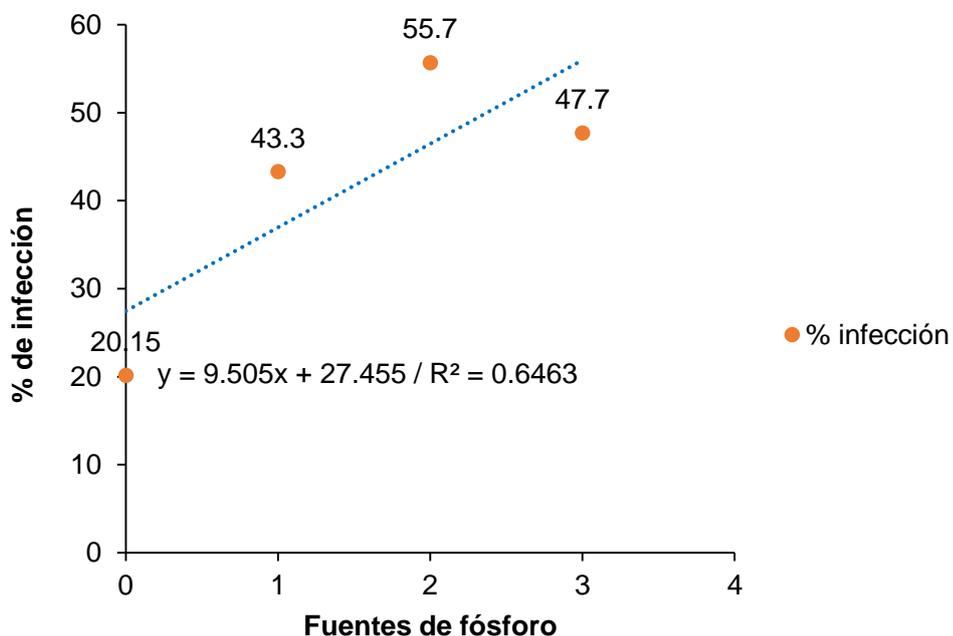


Figura 4. Relación entre las variables fuentes de fósforo (X) y porcentaje de colonización en la parte vegetativa (Y) de los cinco ecosistemas terrestres

En la Figura 4, se muestra que la variable dependiente Y (porcentaje de infección en la parte vegetativa) en función de la variable independiente X (fuentes de fósforo), no se ajusta al modelos de predicción, ya que el valor de R^2 fueron iguales a 0.6463, valores de R^2 lejanos a 1, lo que indica que no sirve para hacer pronósticos del porcentaje de infección a las fuentes de fósforo, en

los cinco ecosistemas de suelo, este valor de R^2 indica que la variación porcentaje de infección es explicada por las fuentes de fósforo en función de los cinco ecosistemas terrestres usados en el experimento en un 64.63 %. En tal sentido el incremento de infección micorrítico estaría en función a los diferentes ecosistemas terrestres. GUTIÉRREZ (2012), afirma que el R^2 mide la proporción de la variabilidad en los datos (Y) que explica por el modelo de regresión lineal; además, indican que los valores del R^2 cercanos a unidad nos confirman una relación positiva en los diferentes suelos indicando que al usar superfosfato triple de calcio y fosfato de amonio presentan los mayores porcentajes de infección con micorrizas, que se relaciona a los suelos de un cacaotal y cafetal. Esto es corroborado por IPNI (s/a), quien menciona que las plantas micorrizadas incrementan la concentración y/o contenido de fósforo en los tejidos vegetales. Por el contrario, los suelos del BRUNAS, CIPTALD y del ex-cocal muestran que a menor colonización hay una baja asimilación de P por la parte vegetativa contrarrestando la influencia en el crecimiento de la planta, probablemente debido a la baja disponibilidad de nutrientes por presencia de aluminio y menor mineralización por ser procedente de suelos lixiviados, encharcados y erosionados, respectivamente que retienen la actividad de exploración en el suelo para la absorción del P por parte del hongo micorrítico. El alto contenido de fósforo en hojas del kudzú con la fuente Superfosfato triple de calcio, según se muestra en el cuadro 28, está en concordancia con lo expuesto por el IPNI (2015), que sostiene que más del 90 % del P-total en el superfosfato triple de calcio es soluble en agua, por lo que se vuelve

rápidamente disponible para las plantas, y que también podría haber sido aumentado por la presencia de micorrizas.

Pearson y Jakobsen (1993); citado por AGUILERA (2007), sostienen que la efectividad en la absorción de fósforo por plantas colonizadas varía dependiendo de la fuente del nutriente. Asimismo, Powell y Daniel (1987); citado por AGUILERA (2007), encontraron que las raíces de las plantas se ven estimuladas en su capacidad de absorción de fósforo dependiendo de la especie o cepa del hongo que las colonice, además, la aplicación de fósforo soluble provoca un descenso en la formación de las micorrizas.

FRACCHIA (2002), refiere que el mayor significado agronómico de esta simbiosis consiste en aumentar la capacidad de la planta para absorber nutrientes de lenta difusión en el suelo tales como fósforo, zinc y cobre. De esta manera, el fósforo es translocado del suelo a las raíces de las plantas a través de las hifas del hongo.

VEGA *et al.*, (2011), manifiesta que en todas las zonas de estudio se muestran asociaciones simbióticas con los hongos micorrizas vesículo-arbuscular en raíz por lo que estarían proporcionando un mayor aprovechamiento de los fertilizantes y nutrientes del suelo, favoreciendo mayor absorción de fósforo y captación de agua estimulando el crecimiento aéreo y radicular, protegiéndoles de ciertos agentes patógenos y mejorando la estructura del suelo.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos bajo las condiciones en las que se realizó el estudio, se puede concluir lo siguiente:

1. El mejor contenido de fósforo se muestra con la aplicación de fosfato de amonio con un contenido de 32.20 ppm, seguido del superfosfato triple de calcio con 28.96 ppm. Asimismo, la aplicación de fósforo mejoró la fertilidad de cada ecosistema, elevando el pH y el fósforo.
2. En general, el kudzú prosperó mayormente en los suelos del cacaotal y cafetal, generando mejores resultados en altura de planta, peso fresco y seco, parte aéreo y radicular, longitud de raíz, volumen radicular, área foliar. De las tres fuentes de fósforo aplicados el mejor resultado se muestra con la aplicación del superfosfato triple de calcio.
3. El mayor porcentaje de infección micorrítico en las raíces fue en suelos de un cacaotal y cafetal con la incorporación de roca fosfórica y fosfato de amonio (85.50 y 64.50 %), respectivamente. Asimismo, para el número de esporas las mejores fuentes de fósforo fueron roca fosfórica y el fosfato de amonio.
4. Cuando se realizó la regresión del efecto de colonización micorrítico en la asimilación de fósforo se observa la mayor asimilación con la aplicación de superfosfato triple de calcio, con una dependencia de 64.63 %.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos de investigación en diferentes parcelas con diferentes cultivos en campo definitivo.
2. Clasificar las micorrizas en los diferentes ecosistemas de suelos con la finalidad de aislarlos para proceder a la inoculación artificial.
3. Usar otras fuentes de fertilizante para el mejoramiento de la fertilización de los suelos.

VII. RESUMEN

El presente trabajo tuvo por finalidad determinar los efectos de tres fuentes de fósforo en el desarrollo de micorrizas y el incremento de la fertilidad en cinco ecosistemas terrestres de Tingo María. Para cada ecosistema se aplicó roca fosfórica, superfosfato triple de calcio y fosfato de amonio.

De acuerdo a los resultados y a la discusión, la mayor disponibilidad de fósforo lo presenta con la aplicación de fosfato de amonio, en general los suelos del cacaotal y del cafetal resultaron con mayor contenido de fósforo, altura de planta, materia seca y fresca tanto de la parte aérea y radicular, longitud de raíz, área foliar, porcentaje de infección y número de esporas con aplicación y sin aplicación de fósforo. La aplicación roca fosfórica al suelo del cacaotal alcanzó un mejor peso de materia fresca y seca de la parte aérea del kudzú al presentar valores de 16.70 y 3.24 g respectivamente mientras que en los suelos de CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y de café, la aplicación del superfosfato triple resultó tener mayor efecto. La aplicación roca fosfórica al suelo de cacao alcanzo un mejor peso de materia fresca y seca de la parte radicular del kudzú al presentar valores de 5.02 y 2.41 g respectivamente mientras que en los suelos de CIPTALD, ex-cocal, BRUNAS y de café la aplicación del superfosfato triple resultó tener mayor efecto.

El mayor porcentaje de infección micorrítico en las raíces fue alcanzado por los suelos del cacaotal con la adición de la roca fosfórica al presentar 85.50 % de infección en el sistema radicular, seguido de los suelos del cafetal que resultó con un 64.50 % de infección con la aplicación de fosfato de amonio. Para el cálculo del número más probable de esporas micorríticas el mejor

resultado lo obtuvo el suelo en cultivos de cacao y café con la aplicación de roca fosfórica al presentar valores de 50.25 y 31.50 esporas/10 g de suelo respectivamente.

ABSTRAT

The objective of this work was to determine the effects of three phosphorus sources on the development of mycorrhizae and the increase of fertility in five terrestrial ecosystems of Tingo María. For each ecosystem, phosphate rock, triple calcium superphosphate and ammonium phosphate were applied.

According to the results and the discussion, the greater availability of phosphorus is present with the application of ammonium phosphate, in general the soils of a cacao plantation and the coffee plantation resulted in a higher content of phosphorus, plant height, dry and fresh matter, both the aerial and radicular part, root length, leaf area, infection percentage and number of spores with application and without application of phosphorus. The application of phosphate rock to the soil of the cacao plantation reached a better weight of fresh and dry matter from the area of the kudzu, presenting values of 16.70 and 3.24 g respectively, while in the soils of CIPTALD, ex cocal, BRUNAS and coffee the application of the triple super phosphate turned out to have greater effect. The application of phosphate rock to the cocoa soil achieved a better weight of fresh and dry matter from the radicular part of the kudzu, presenting values of 5.02 and 2.41 g respectively, while in the soils of CIPTALD, ex cocal, BRUNAS and coffee the application of the triple super phosphate turned out to have greater effect.

The highest percentage of mycorrhizal infection in the roots was reached by the soils of the cacao plantation with the addition of the phosphate rock, with 85.50% of infection in the root system, followed by the soils of the coffee

plantation that resulted in a 64.50% infection with the application of ammonium phosphate. For the calculation of the most probable number of mycorrhizal spores, the best result was obtained in cocoa and coffee crops with the application of phosphate rock, with values of 50.25 and 31.50 spores / 10 g of soil, respectively.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA, L.; PORTUGAL, V.; ARRIAGA, M. y CONTRERAS, R. 2007. Micorrizas arbusculares. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
2. AGRIOS, G. 2002. Fitopatología. Academic Press Inc. Mexico. 38p.
3. ALEMÁN, V. 2006. Efectos de niveles de composta y hongos micorrízico arbuscular en el desarrollo y crecimiento de frijol (*phaseolus vulgaris* L.). Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. [En línea]: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/ALEMAN_MARTINEZ_VICTOR.pdf. (Revisado el 31 de julio del 2018).
4. ALTIERI, M. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Ecosistemas. California. USA. 16 (1):3-12.
5. ALLEN, M.; SWENSON, J.; QUEREJETA, L.; EGERTON, K. y TRESEDER, N. 2003. Ecology of Mycorrhizae: A Conceptual Framework for Complex Interactions Among Plants and Fungi, Ann. Rev. Phytopatol. 41 p.
6. ARÉVALO, L. 2002. Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo. S.I. ICRF-CHEMONICS. 48 p.
7. ARVILDO, R. 2009. Efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas químicas y biológicas de un suelo degradado de súpate San Jorge-Tingo María” Tesis para optar el título de Ing. Recursos Naturales y Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Pp. 51 - 53.

8. BARRER, S. E. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol 7 No. 1. [En línea]: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>. (Revisado el 28 de julio del 2018).
9. BERNAL, G. y MORALES, R. 2006. Micorrizas: Importancia, Producción e Investigación en el Ecuador. ANCUPA y GAIA. Ed. Massgraficos. Quito, EC. Pp. 65-86.
10. BERNIER, R; ALFARO, M. 2006. Acides de los suelos y efecto del encalado. [En línea]: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33824.pdf>. (Revisado el 26 de julio del 2018).
11. BOLAÑOS, M. 1996. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares y su relación con características físicas y químicas de los suelos en la zona cafetera de Colombia. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe. Bogotá 68 p.
12. BODADILLA, C; RINCÓN, S. C. 2008. Aislamiento y evaluación de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos plaza. Trabajo de grado. [En línea]: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis130.pdf>. (Revisado el 30 de julio del 2018).
13. BONFANTE-FASOLO, P.; GENRE, A. y BIANCIOTTO, V. 2004. The Colonization Strategies of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: An Overview of their Cellular Interactions with Plants and Bacteria, en: Frias–Hernandez J.; Olalde-Portugal, V. y Ferrera–Cerrato, R. (Eds.). Avance

en el conocimiento de la biología de las micorrizas. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México. 65 p.

14. BLASCO, M. 1992. Absorción y distribución de nutrientes en leguminosas 18a Reunión anual del PCC MCA. Managua NICARAGUA.
15. CAMARENA, G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares plant-arbuscular mycorrhizal fungi interactions. vol. 18, N°3, Pp. 409-421. [En línea]: <http://www.redalyc.org/pdf/629/62926234012.pdf>. (Revisado el 30 de julio del 2018).
16. CANCHACHÍ, N. K. 2000. Efecto de la inoculación bruta de micorriza V.A. y fertilización fosfatada en el cultivo de coca (*Erythroxylum coca Lam.*), en Tingo María. [En línea]: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/469/AGR-420.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Revisado el 30 de julio del 2018).
17. CORAL, L. 2015. Estudio de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares nativos y su potencial micorrízico en el cultivo de café (*Coffea arabica L.*) en diferentes condiciones agroecológicas de la Región San Martín. [En línea]: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/664/TFCA_63.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Revisado el 31 de julio del 2018).
18. CARDONA, G. 2000. Ocurrencia y cuantificación de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a las especies del genero Capsicum cultivadas en la Amazonía Colombiana. Informe técnico. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2(12):75-97.

19. CARVAJAL, J. 2009. Producción de semillas de cultivos de cobertura: *Pueraria phaseoloides*. Centro de Investigación Regional del Sureste. Valladolid, Yucatán México. Livestock Research for Rural Development 21 (3) 2009. [En línea]: <http://tinyurl.com/mrt8e4qdocumento>. (Revisado el 21 de abril del 2014).
20. CATIE. 2003. Caracterización ambiental y de los principales sistemas de cultivo en fincas pequeñas de San Carlos, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 24 p.
21. CERVANTES, C. S. 2014. Establecimiento de plantas de *Prosopis laevigata* y *Agave salmiana* inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de invernadero. [En línea]: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_cervantes_gonzalez_cynthia.pdf. (Revisado el 28 de julio del 2018).
22. CHIEN, S; PROCHNOW, L; MIKKELSEN, R. (s/a). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. IPNI. [En línea]: [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/4469D11E5D4BD93D0525784E0060BF85/\\$file/Uso+agron%C3%B3mico+de+la+roca+fosf%C3%B3rica+para+aplicaci%C3%B3n+directa.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/4469D11E5D4BD93D0525784E0060BF85/$file/Uso+agron%C3%B3mico+de+la+roca+fosf%C3%B3rica+para+aplicaci%C3%B3n+directa.pdf). (Revisado el 24 de julio del 2018).
23. DELGADO, L; PEDRAZA, R. A. 2002. La madera muerta de los ecosistemas forestales. ISSN: 1405-7247. [En línea]: <http://www.redalyc.org/pdf/497/49740209.pdf>. (Revisado el 24 de julio del 2018).

24. DEL AGUILA, R. 2010. "Efecto de la *Pueraria phaseoloides* (Kudzú) y dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo de selva alta" Tesis Ing. Recursos Naturales y Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Pp. 51 - 53.
25. ESCOBEDO, T 2010. Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Zona de Selva de Huánuco. [En línea]: http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1526.pdf . (Revisado el 14 de marzo del 2017).
26. ESPEJO, J. 2010. Efecto de diferentes sustratos en la producción de plántones de "cacao criollo" (*Theobroma cacao* L.) en el sector de Jacintillo, Tingo María. Tesis ing. en Recursos Naturales Renovables, Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 57 – 63 p.
27. EVARISTO, J. y HUAMANÍ, H. 1994. Evaluación de hongos MVA nativos en dos localidades de Tingo María, y efecto de MVA introducido en tres niveles de fósforo (Fosfato de bayóvar), en achiote (*Bixa orellana*.L).Universidad Nacional Agraria de la Selva .Tingo María, Perú. Pp.63-75.
28. FARRÚS, E. 2016. Influencia de la fertilización sobre la actividad biológica del suelo. estudio comparativo de diferentes fuentes de materia orgánica. Tesis. [En línea]: http://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/4474/Farrus_Miro_Edelweiss_tes.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Revisado el 26 de julio del 2018).

29. FATECHA, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis (Ing. Agrónomo). San Lorenzo, PY: De SOT, CIA, FCA, UNA. 88 p.
30. FAO. 2007. Utilización de la roca fosfórica para una agricultura sostenible. Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal N° 13. Italia. 707p.
31. FAO. 2004. Boletín de tierras y aguas. Manejo y conservación de suelos. España. 200 p.
32. FAO/OIEA, 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. ISBN 978-92-5-305030-7. [En línea]: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/y5053s/y5053s00.pdf>. (Revisado el 28 de julio del 2018).
33. FÉLIX, J. A; SAÑUDO, R. R; ROJO, G. E; MARTÍNEZ, R; OLALDE, V. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai 4 (N° 1): 57-67. [En línea]: <http://www.ejournal.unam.mx/rxm/vol04-01/RX M004000104.pdf>. (Revisado el 22 de julio del 2018).
34. FENG, G.; ZHANG, F.; LI, X.; TIAN, C.; TANG, C. y RENGEL, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12:185–190.
35. FERNÁNDEZ, J. E. 2003. Fuentes y niveles de fertilización fosforada en la obtención de plantones de café (*Coffea arabica* L.) variedad catimor. [En línea]: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/>

- UNAS/518/AGR-465.pdf?sequence=1&isAllowed= y. (Revisado el 22 de julio del 2018).
36. FERNÁNDEZ, L; ROJAS, N; ROLDÁN, T; RAMÍREZ, M; ZEGARRA, H; URIBE, R; REYES, R; FLORES, D y ARCE, J. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. [En línea]: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/509.pdf>. (Revisado el 12 de enero del 2017).
 37. FERNÁNDEZ, SH; MEZA, C. 2004. Efecto residual de la roca fosfórica de ricito modificado por calcinacion o acidulacion sobre plantas de maize n suelos con nivel variable de calico. *Bioagro* 16(2): 93-98. [En línea]: <http://www.redalyc.org/pdf/857/85716203.pdf>. (Revisado el 26 de julio del 201).
 38. FRACCHIA, S. 2002. Hongos saprotrofos del suelo como microorganismos auxiliares de la micorrización. [En línea]: http://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n3430_Fracchia.pdf. (Revisado el 31 de julio del 2018).
 39. GUERRA, B. E. 2007. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible *Tecnología en Marcha*, Vol. 21-1, PP. 191-201. [En línea]: <file:///C:/Users/ERICK/Downloads/1352-4380-1-SM.pdf>. (Revisado el 31 de julio del 2018).
 40. GOREHCO (Gobierno Regional de Huánuco). 2016. Zonificación ecological y economica. [En línea]: http://zee.regionhuanuco.gob.pe/wp-content/uploads/2016/08/mem-Clima_Leoncio_Prado.pdf. (Revisado el 28 de julio del 2018).

41. GARZÓN, L. P. 2016. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonía Colombiana. Luna Azul ISSN 1909-2474. N° 42. [En línea]: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n42/n42a14.pdf>. (Revisado el 30 de julio del 2018).
42. GUTIÉRREZ, H. 2012. Análisis y diseño de experimentos. Tercera edición Editorial MC Graw Hill. 489 p.
43. GRACEY, J. 2010. La mesofauna y macrofauna en relación a las propiedades físicas y químicas del suelo de ex cocal y bosque secundario en el sector Los Milagros. Tesis para optar el título de Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 70 p.
44. GRANADOS, D; LÓPEZ, G; HERNÁNDEZ, M. 2010. La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(2): 187-206 p. [En línea]: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v16n2/v16n2a9.pdf>. (Revisado el 30 de julio del 2018).
45. HERNÁNDEZ, M. 2001. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) [Tesis de Maestría], INCA. 16p.
46. HUAMANI, H. 2004. La técnica de los sabers andinos amazónicos en la recuperación en la recuperación de suelos degradados y conservación de la agrobiodiversidad en Tingo María. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. Pp. 109-111.

47. (INIFAP) Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria. 2005. La fertilización de los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. [En línea]: https://www.intagri.com/public_files/Manual%20de%20fertilizacion.pdf. (Revisado el 26 de julio del 2018).
48. IPNI. 2015. Micorrizas VA, Perspectiva y posible manejo para la disponibilidad de nutrientes de baja movilidad. [En línea]: <http://nla.ipni.net/article/NLA-3112>. (Revisado el 10 de julio 2015).
49. IPNI. s/a. Funciones del fósforo en las plantas. [En línea]: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf). (Revisado el 31 de julio del 2018).
50. LINARES, D. 2007. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el Parque Nacional Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 49 p.
51. MEDINA, A. 2010. Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhizal fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of soil science and plant nutrition*. (USA). 10 (3): 354-372.
52. MORALES, R. y DURANGO, W. 2008. Resultados en la obtención de inóculos nativos de hongos micorrizicos en cultivos de cacao (*theobroma cacao*) y soya (*glycine max*) XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador. 9 p.

53. ORÚS, F; BETRÁN, J; IGUÁCEL, F; LÓPEZ, M. 2011. Fertilización con subproductos orgánicos. Hacia una gestión sostenible de los nutrientes en la agricultura. [En línea]: http://digital.csic.es/bitstream/10261/49631/1/LopezMV_InfTecn_2011.pdf. (Revisado el 30 de julio del 2018).
54. PADILLA. E. 2002. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. Pub. Apuntes Técnicos Palmaven. Caracas. 124 p.
55. PAREDES, P. 1990. Efecto de la Dolomita, Fuentes de Niveles de Fósforo y Micorrizas V.A. en la Nutrición y crecimiento de la Soya (*Glycine max. L.*) en Suelos Ácidos Tingo María, Perú. Pp. 50-58.
56. PAREDES, R. 2012. Efecto del abonamiento con estiércol tratado de llama en la producción de fitomasa forrajera en morfotipos del pasto *Nassella sp.* en viacha provincia Ingavi, la Paz-Bolivia. [En línea]: <http://bibliotecadigital.umsa.bo:8080/rddu/bitstream/123456789/4382/1/T-1763.pdf>. (Revisado el 31 de julio del 2018).
57. PAVÓN, A. s/n. ANEJO III análisis de suelo. [En línea]: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-Anejolll.pdf. (Revisado el 12 de enero del 2017).
58. PEÑA, C. P; CARDONA, G. 2010. Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación. ISBN 978-958-8317-62-5. [En línea]: <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/librosuelosweb.pdf>. (Revisado el 28 de julio del 2018).

59. PEREZ, A; ROJAS, J; MONTES, D. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *cienc. Anim.* 3(2). [En línea]: [file:///C:/Dialnet-Hongos FormadoresDeMicorrizasArbusculares-3817504.pdf](file:///C:/Dialnet-Hongos%20FormadoresDeMicorrizasArbusculares-3817504.pdf). (Revisado el 28 de julio del 2018).
60. PETERS, M; FRANCO, L. H; SCHMIDT, A; HINCAPIÉ, B. 2010. Especies forrajeras multipropósitos opciones para productores del trópico americano. CIAT. [En línea]: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes _tropicales/pdf/Books/Especies%20Forrajeras%20MultipropositoTropico%20Americano.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes_tropicales/pdf/Books/Especies%20Forrajeras%20MultipropositoTropico%20Americano.pdf). (Revisado el 28 de julio del 2018).
61. PUERTA, R. 2007. Modelo Digital de Elevación Del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Maestro en Ciencias en Agroecología Mención Gestión Ambiental. Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 70 p.
62. QUIÑONES, E. E; LÓPEZ, L, RINCÓN, G. 2014. Dinámica del crecimiento de papaya por efecto de la inoculación micorrízica y fertilización con fósforo. *Chapingo Serie Horticultura. México* 20(2): 223-237. [En línea]: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v20n2/v20n2a8.pdf>. (Revisado el 26 de julio del 2018).
63. RAJAN, K; REDDY, B. y BAGYARAJ, D. 2000. Screenng of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. *Forest. Ecol. Manage.* 126:91-95.

64. ROJAS, A. J. 2013. Aplicación de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en el cultivo de soja en un oxisol. [En línea] <http://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/TES-BN-017.pdf>. (Revisado el 23 de julio del 2018).
65. RAMOS, D y TERRY, A. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35, (N° 4), 52-59. [En línea]: <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493007.pdf>. (Revisado el 22 de Julio dl 2018).
66. RUIZ, V. 2011. Efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de acidez, en Ricardo Palma-Naranjillo. Tesis. [En línea]: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/430/T.CSA-47.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Revisado el 24 de julio del 2018).
67. SAGAN, M. 2002. Departamento de edafología y química agrícola. In: Universidad de Granada. España – Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. [En línea]: <http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/14hoja.html>, (Revisado el 25 de enero del 2013).
68. SALAZAR, J. y GARCÍA, S. 2002. Las micorrizas pueden mejorar la nutrición del árbol, en *Nutrición del aguacate principios y aplicaciones*. INIFAPINPOFEOS. México. 2:42-53.

69. SALDAÑA, J. 2010. Platanillos o bijao de la selva. [En línea]: <http://fichas.infojardin.com/bulbosas/heliconia-bihai-platanera-silvestre-bijao-platanillo.htm>. (Revisado el 18 de junio del 2013).
70. SÁNCHEZ, I. 2009. Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a plantas de especial interés ecológico en ambientes mediterráneos. [En línea]: <https://hera.ugr.es/tesisugr/18131360.pdf>. (Revisado el 31 de julio del 2018).
71. SIEVERDING, E.; 1983. Manual de métodos para la identificación de la micorriza vesículo arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 121 p.
72. SIMARD, S.; DURALL, D. 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance. *Canadá*. 82:1140-65.
73. TOCTO, J. G. 2016. Evaluación de tres fuentes de fertilización fosforada en la nutrición del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) en la etapa de vivero en la empresa plantaciones de Ucayali S.A.C. [En línea]: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/2150/TP_AGRO_00694_2016.pdf?sequence=1. (Revisado el 30 de julio del 2018).
74. TORRES, C. A; ETCHEVERS, J; FUENTES, M. H; GOVAERTS, B; DE LEÓN, F y HERRERA, J.M. 2013. Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo *Terra Latinoamericana*, vol. 31, N°1, Pp. 71-84. [En línea]: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57327411007.pdf>. (Revisado el 31 de julio del 2018).

75. VALENCIA, G. 2005. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Consultor privado. Colombia. 10 p.
76. VARGAS, G. 2005. Recuperación mediante leguminosas rastreras; de suelos degradados ex cicales en la selva alta de Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 120 p.
77. VEGA, M. 2011. Identificación de Micorrizas Vesículo Arbuscular en Especies Agrícolas y Forestales en la zona de Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 86 p.
78. VÉLEZ, J.; ARTEAGA, G.; CASTILLO, J. y MENJIVAR, J. 2006. Variaciones en el pH de la rizosfera y en el porcentaje de materia seca de *Vicia sativa* al aplicar dos fuentes fosfatadas de baja solubilidad en un andisol del departamento de Nariño, Colombia. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. [En línea]: <http://tinyurl.com/nhxg9na>, pdf. (Revisado el 21 de mayo del 2014).
79. WONG, E. 2010. Información técnica. agronomía mesoamericana 21(2):349-356. [En línea]: http://www.Mag.go.cr/rev_meso/v21n02_349.pdf. (Revisado el 30 de julio del 2018).
80. YÁÑEZ, F. 2017. Caracterización de la infiltración en 3 sistemas de uso de suelo de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, microcuenca del rio suncha, Huarochiri Lima. Tesis. [En línea]: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3002/P10-Y3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Revisado el 31 de julio del 2018).

81. YONG G.; SMITH, A. y SMITH, S. 2003. Phosphorus efficiencies and responses of barley (*Hordeumvulgare* L.) to arbuscular mycorrhizal fungi grown in highly calcareous soil, mycorrhiza. 13(2):75-97.
82. ZERBINO, S. 2013. Biodiversidad del suelo y su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. Uruguay. [En línea]: http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_186.pdf.
(Revisado el 10 de enero del. 2013).

IX. ANEXO

Cuadro 30. Análisis físico químico inicial de suelo de los cinco ecosistemas terrestres

Descripción	Textura	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	Cmol(+)/Kg							%
		01:01	%	%	ppm	Ppm	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Sat. Al
SCF	Fr Ao Ar	3.35	3.4	0.15	8.34	43.67	8.28	4.10	0.84	0.00	0.00	2.34	1.00	28.30
SEC	Fr Ao Ar	4.25	1.5	0.07	2.04	42.04	6.92	4.38	0.87	0.00	0.00	1.17	0.50	16.92
SBR	Fr Ao Ar	3.86	1.1	0.05	1.53	59.45	8.98	4.68	1.05	0.00	0.00	2.26	0.99	25.17
SCP	Fr	4.61	2.2	0.10	2.01	161.7	8.42	6.93	1.19	0.00	0.00	0.17	0.13	1.99
SCA	Fr	5.79	2.2	0.10	1.58	122.3	10.85	8.65	1.56	0.40	0.24	0.00	0.00	0.00

Leyenda:

SCF = Suelo de cafetal
 SEC = Suelo de ex – cocal
 SBR = Suelo del BRUNAS
 SCP = Suelo de CIPTAL
 SCA = Suelo de cacaotal

Cuadro 31. Análisis físico químico final del suelo de los cinco ecosistemas terrestres

Descripción	Textura	pH 1:1	M.O. %	N %	P ppm	k ppm	Cmol(+)/Kg						% Sat. Al		
							CIC	Ca	Mg	K	Na	Al		H	
Suelo de un cafetal	T ₀	franco arenoso	5.46	3.99	0.18	11.20	86.96	9.97	7.53	1.52	0.00	0.00	0.80	0.12	8.03
	T ₁	franco arenoso	6.31	3.27	0.15	13.41	102.46	8.21	6.94	1.12	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00
	T ₂	franco arenoso	6.36	3.63	0.16	23.77	112.95	7.16	5.93	1.07	0.12	0.05	0.00	0.00	0.00
	T ₃	franco arenoso	6.56	3.99	0.18	24.10	103.95	6.32	5.26	0.87	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00
Suelo de un ex-cocal	T ₀	franco arcillo arenoso	4.70	2.18	0.10	8.00	105.95	9.16	7.29	1.12	0.00	0.00	0.60	0.15	6.55
	T ₁	franco arcillo arenoso	6.93	0.73	0.03	8.33	136.94	7.16	6.01	0.94	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00
	T ₂	franco arcillo arenoso	7.02	2.54	0.11	22.67	122.95	6.29	5.15	0.96	0.15	0.04	0.00	0.00	0.00
	T ₃	franco arcillo arenoso	6.78	2.90	0.13	28.29	131.94	6.91	5.77	0.96	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00
Suelo del BRUNAS	T ₀	franco arenoso	4.95	1.09	0.05	8.33	153.43	8.75	6.05	1.00	0.00	0.00	1.16	0.54	13.26
	T ₁	franco arenoso	7.05	1.09	0.05	9.99	150.93	7.49	6.26	1.03	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00
	T ₂	franco arenoso	7.03	2.54	0.11	30.93	137.94	7.95	6.55	1.15	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00
	T ₃	franco arenoso	7.16	2.18	0.10	34.90	160.93	7.83	6.42	1.11	0.21	0.10	0.00	0.00	0.00
Suelo del CIPTALD	T ₀	Franco	5.33	2.18	0.10	10.76	142.94	7.91	6.68	1.15	0.00	0.00	0.06	0.02	0.76
	T ₁	Franco	7.05	2.18	0.10	12.30	160.43	9.12	7.59	1.23	0.26	0.04	0.00	0.00	0.00
	T ₂	Franco	7.27	2.18	0.10	33.58	135.44	8.24	6.86	1.09	0.24	0.05	0.00	0.00	0.00
	T ₃	Franco	7.18	2.54	0.11	36.33	164.43	8.97	7.43	1.29	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00
Suelo de un cacaotal	T ₀	Franco	6.40	3.27	0.15	12.19	150.93	8.57	7.01	1.22	0.27	0.08	0.00	0.00	0.00
	T ₁	Franco	7.41	2.54	0.11	14.18	105.95	8.86	7.31	1.32	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00
	T ₂	Franco	7.41	2.90	0.13	33.80	175.42	9.13	7.44	1.36	0.26	0.08	0.00	0.00	0.00
	T ₃	Franco	7.38	2.90	0.13	37.44	126.44	8.25	6.77	1.23	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00
Ref. (*)			>6.6	>2.0	>0.1	>12	>300	>12	>10	>1.5	>0.60	>0.6	>50		>35



Figura 5. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo.



Figura 6. Extracción de muestras de cinco ecosistemas terrestres: a) cafetal b) cacaotal c) ex-cocal d) BRUNAS e) CIPTALD.



Figura 7. Fase de ejecución y evaluación en el invernadero de la Facultad de Agronomía: (a) Aplicación del fertilizante (b) Selección y siembra (c) Crecimiento (d) Plagas (e) Evaluación de altura (f) Culminación del experimento.



Figura 8. Crecimiento del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo de un cacaotal: (a) a los 30 días (b y c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular.



Figura 9. Crecimiento del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo de un cafetal: (a) a los 30 días (b y c) A los 90 días (d) longitud del sistema radicular.



Figura 10. Crecimiento del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo de un ex-cocal: (a) a los 30 días (b) y (c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular.

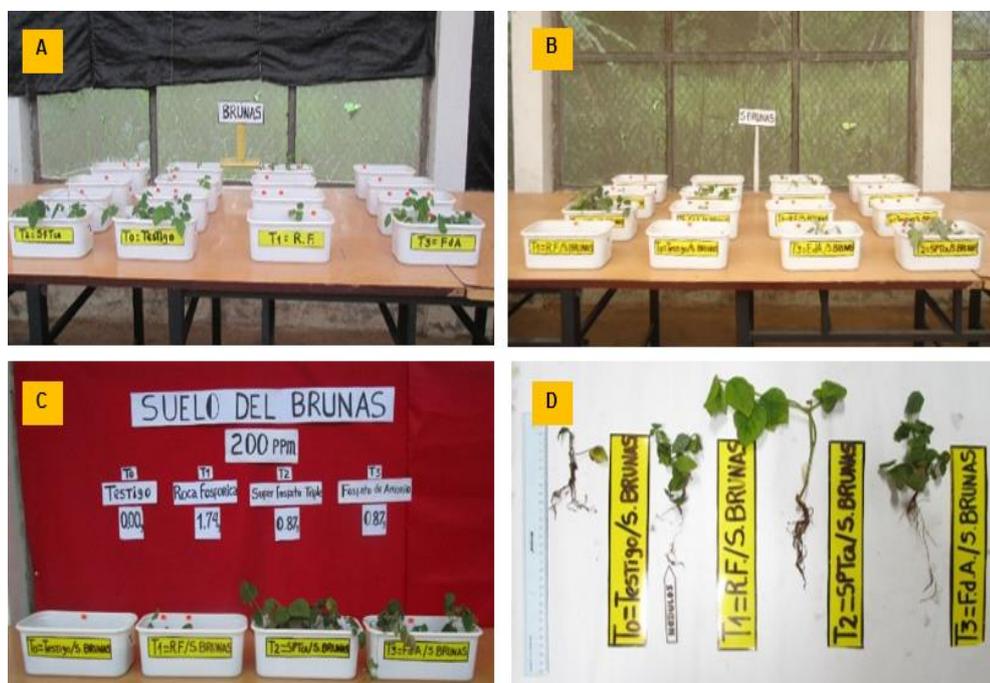


Figura 11. Crecimiento del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo del BRUNAS: (a) a los 30 días (b) y (c) A los 90 días (d) longitud del sistema radicular.



Figura 12. Crecimiento del *Pueraria phaseoloides* L. en suelo del CIPTALD: (a) a los 30 días (b y c) a los 90 días (d) longitud del sistema radicular.



Figura 13. Evaluación en el laboratorio de semillas a los 90 días (a) área foliar (b) peso fresco parte aérea y radicular (c) longitud y volumen en raíz (d) peso seco parte aérea y radicular.

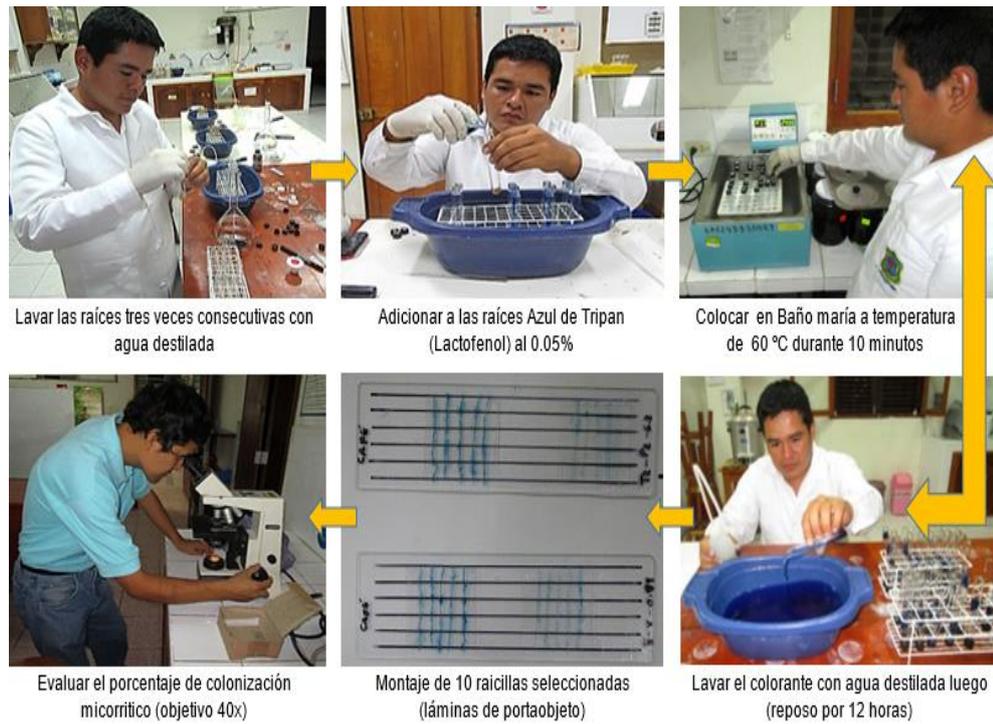


Figura 14. Proceso de tinción y evaluación del porcentaje de colonización micorrízica en raíces de *Pueraria phaseoloides* L. en los cinco ecosistemas terrestres.

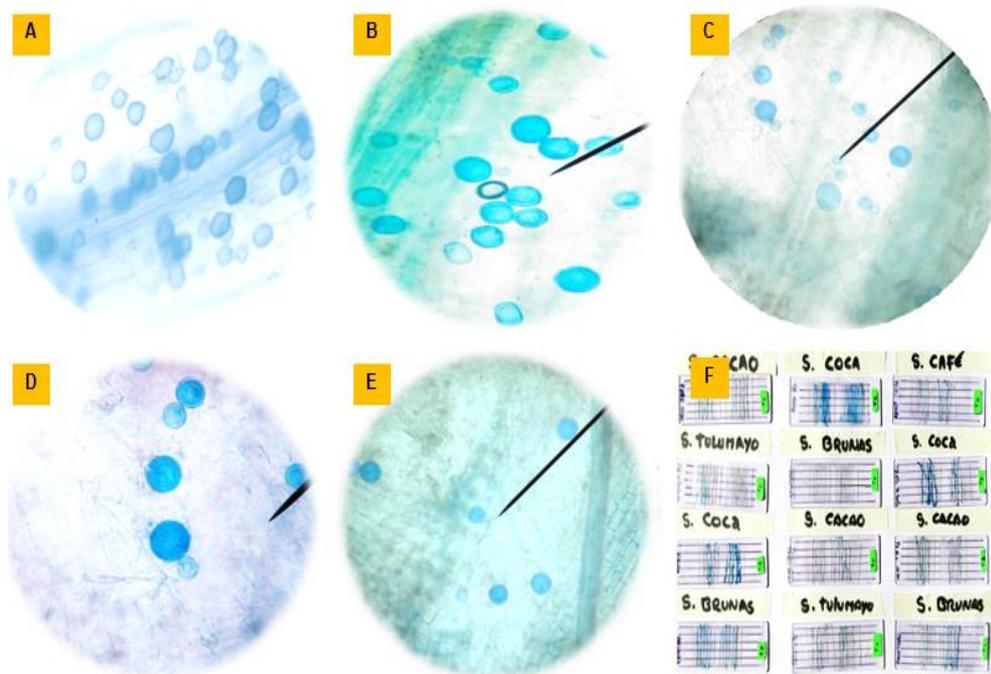


Figura 14. Estructuras vesiculares del hongo micorrízico en raíces del *Pueraria phaseoloides* L en suelo: (a) cacaotal (b) cafetal (c) CIPTALD (d) BRUNAS (e) ex-cocal (f) Muestras evaluadas.



Figura 15. Proceso de aislamiento para el conteo de espora micorrízica en los cinco ecosistemas terrestres.

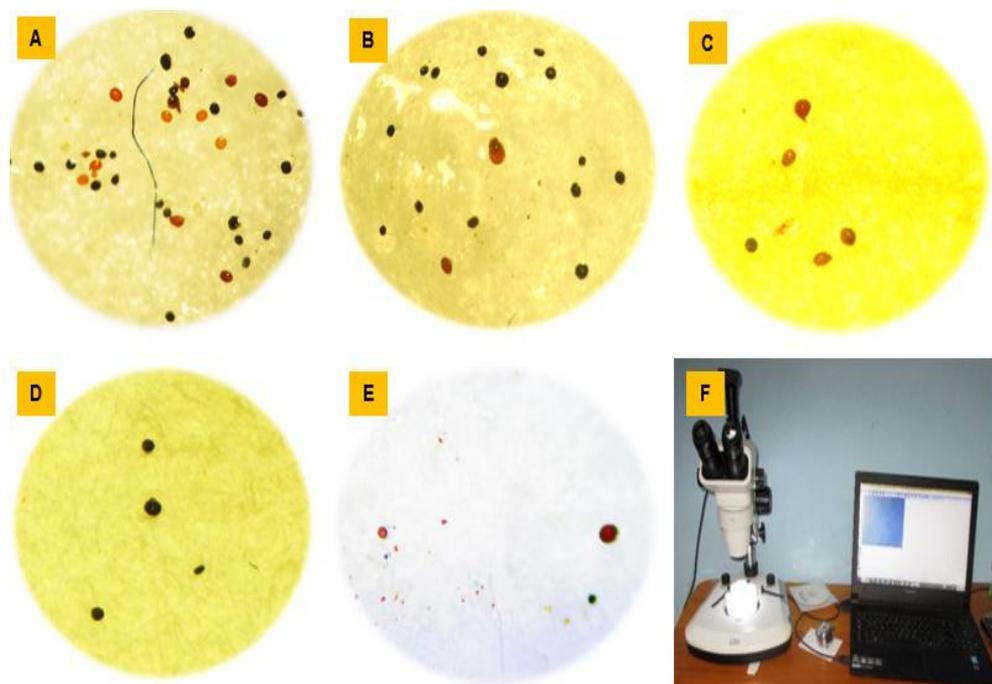


Figura 16. Esporas del hongo micorrízico en suelos de cada ecosistema terrestre: (a) cacaotal (b) cafetal (c) CIPTALD (d) BRUNAS (e) ex-cocal (f) Estereoscopio con cámara digital incorporado.