

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y

AGUA



**EFFECTO DE LA ROCA FOSFÓRICA SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS
BIOMÉTRICOS DE LOS PLANTONES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES
PRODUCIDOS UTILIZANDO COMO SUSTRATO UN SUELO DEGRADADO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

MAX JEAN GÁLVEZ CÓRDOVA

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 021-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 21 de abril del 2021 a horas 4:00 p. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

**“EFECTO DE LA ROCA FOSFÓRICA SOBRE ALGUNOS
PARÁMETROS BIOMÉTRICOS DE LOS PLANTONES DE CUATRO
ESPECIES FORESTALES PRODUCIDOS UTILIZANDO COMO
SUSTRATO UN SUELO DEGRADADO”**

Presentado por el Bachiller: **GALVEZ CORDOVA, Max Jean**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCION, CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 12 de Julio de 2022

Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO



Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO

Ing. M. Sc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y
AGUA



EFFECTO DE LA ROCA FOSFÓRICA SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS
BIOMÉTRICOS DE LOS PLANTONES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES
PRODUCIDOS UTILIZANDO COMO SUSTRATO UN SUELO DEGRADADO

Autor : Max Jean Gálvez Córdova

Asesor : M.Sc. José Lévano Crisóstomo

Programa de investigación : Gestión de Cuencas Hidrográficas

Línea de investigación : Gestión y Conservación del Recurso Suelo

Eje temático : Suelos Degradados

Lugar de ejecución : Vivero Forestal - UNAS

Duración : Inicio : Marzo 2019
Término : Agosto 2019

Financiamiento : 3.137,2 soles

Propio: Sí.

Tingo María - Perú

DEDICATORIA

A DIOS por darme la oportunidad de existir. Por guiarme, bendecirme todos los días de mi vida y darme la dicha de cumplir mis metas.

A mis queridos padres Roberto Gálvez y Grety Córdova, quienes con paciencia y amor me inculcaron en el camino del bien y la superación.

A mi amada esposa Judith por su constante apoyo, ánimo que me brinda día a día y comprensión en todos los proyectos de mi vida tanto profesionales como personales y a mi adorado hijo Heitor, por ser el motor y motivo de todos mis esfuerzos.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Nacional Agraria de la Selva, porque en sus aulas recibí el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes.

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables.

A todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo, por brindarme su confianza y darme el apoyo necesario para que esta meta se realizé.

A mi asesor M.Sc. José Lévano Crisóstomo, por su apoyo en la elaboración de la presente investigación.

A mis excelentísimos profesores, por su valioso aporte en mi formación académica y profesional.

A mis padres por todo el apoyo brindado haciendo realidad mi sueño y el suyo el de ser profesional para ellos y por ellos.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos:.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. La roca fosfórica	3
2.1.2. Fósforo en el suelo	4
2.1.3. Suelos degradados.....	7
2.1.4. Leguminosas para recuperar suelos degradados	8
2.1.5. Calidad de los plántones	12
2.2. Estado del arte.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Lugar de ejecución.....	16
3.2. Materiales y métodos	16
3.2.1. Materiales y equipos	16
3.2.2. Metodología.....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Determinación de los indicadores físicos y químicos del suelo degradado después de la investigación con leguminosas	23
4.2. Efecto en las mediciones de la mortalidad, altura, diámetro del tallo, número de hojas, volumen radicular y biomasa de las cuatro especies leguminosas sembradas en un suelo degradado.....	24
4.2.1. Mortalidad de plántones.....	24
4.2.2. Altura total de los plántones	25
4.2.3. Diámetro del tallo	29

4.2.4. Índice de robustez	32
4.2.5. Cantidad de hojas.....	36
4.2.6. Volumen radicular	39
4.2.7. Biomasa	43
4.2.8. Relación BPA/BPR.....	46
4.2.9. Índice de calidad de Dickson (ICD)	50
V. CONCLUSIONES	54
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	55
VII. REFERENCIAS	56
ANEXO.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Combinaciones a considerar en el experimento.	17
2. Propiedades físicas y químicas del suelo degradado.	23
3. ANVA para la altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	26
4. Prueba Tukey para la altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado.	27
5. Prueba Tukey para la altura en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	28
6. ANVA para el diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	30
7. Prueba Tukey para el diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado.	30
8. Prueba Tukey para el diámetro del tallo en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	31
9. ANVA para la robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	33
10. Prueba Tukey para la robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado.	34
11. Prueba Tukey para el índice de robustez en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	35
12. ANVA para la cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	37
13. Prueba Tukey para la cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado.	37
14. Prueba Tukey para la cantidad de hojas en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	38

15.	ANVA para el volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	40
16.	Prueba Tukey para el volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	41
17.	Prueba Tukey para el volumen radicular en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	42
18.	ANVA para la biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	44
19.	Prueba Tukey para la biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	44
20.	Prueba Tukey para la biomasa en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	45
21.	ANVA para la relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.	47
22.	Prueba Tukey para la relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	48
23.	Prueba Tukey para la relación BPA/BPR en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	49
24.	ANVA para el índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	51
25.	Prueba Tukey para el índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	51
26.	Prueba Tukey para el ICD en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.	52
27.	Operacionalización de las variables.	65
28.	Variables cuantitativas de los plantones de especies leguminosas producidos en suelos degradados.	66
29.	Índices de los plantones de especies leguminosas producidos en suelos degradados.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.....	19
2. Distribución de los plantones en una unidad experimental.....	20
3. Mortalidad en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	25
4. Altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	26
5. Altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	27
6. Altura en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	28
7. Diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	29
8. Diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	31
9. Diámetro del tallo en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	32
10. Índice de robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	33
11. Robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	34
12. Índice de robustez en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	35
13. Cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	36
14. Cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	38
15. Cantidad de hojas en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	39

16.	Volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	40
17.	Volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado.	41
18.	Volumen radicular en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	42
19.	Biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	43
20.	La biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	45
21.	Biomasa en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	46
22.	Relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	47
23.	La relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	48
24.	La relación BPA/BPR en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	49
25.	Índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.....	50
26.	El índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado.....	52
27.	El índice de calidad de Dickson en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.....	53
28.	Medición del diámetro en <i>L. leucocephala</i>	70
29.	Medición de la altura en <i>I. edulis</i>	70
30.	Medición del sistema radicular en <i>I. edulis</i>	71
31.	Campana de desecación utilizado para enfriar las muestras secas.....	71
32.	Pesado de las muestras secas.....	72
33.	Muestras de suelo llevados al laboratorio.	72

RESUMEN

La tesis enmarcó el objetivo de determinar el efecto de la roca fosfórica sobre algunos parámetros biométricos de cuatro especies forestales sembrados en un suelo degradado, en condiciones de vivero, actividad realizada en el vivero de la Escuela profesional de Ingeniería Forestal en el distrito Rupa Rupa, región Huánuco. Se utilizó como factores de estudio a las especies de leguminosas (A): guaba - a₁, pino chuncho - a₂, tornillo - a₃, leucaena - a₄; y a las dosis de roca fosfórica en kg/ha (B): 0 - b₁, 150 - b₂, 300 - b₃ y 450 - b₄ distribuidos bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial. A los cuatro meses desde el repique se recolectó los datos del suelo y calidad de los plántones, los que fueron sometidos al análisis de varianza. La aplicación de roca fosfórica incrementó los valores de pH, óxido de fósforo y el magnesio; en caso de la calidad de los plántones el pino chuncho y la guaba reportaron mayores valores en altura, diámetro del tallo, volumen radicular, biomasa y cantidad de hojas, siendo estadísticamente superiores a las especies de tornillo y en menor medida a la leucaena; en caso de la aplicación de la roca fosfórica no presentó diferencias estadísticas significativas sobre las variables consideradas. Se concluye que las especies de leguminosas con aportes de 300 kg/ha de roca fosfórica favorece el crecimiento en suelos degradados.

Palabras clave: Leguminosas, suelos degradados, fósforo, vivero, calidad.

EFFECT OF PHOSPHORIC ROCK ON SOME BIOMETRIC PARAMETERS OF THE SEEDLINGS OF FOUR FOREST SPECIES PRODUCED USING A DEGRADED SOIL AS SUBSTRATE

ABSTRACT

The thesis framed the objective of determining the effect of phosphate rock on some biometric parameters of four forest species planted in degraded soil, under nursery conditions, an activity carried out in the nursery of the Professional School of Forestry Engineering in the Rupa Rupa district, Huanuco region. The legume species (A) were used as study factors: guaba - a₁, chuncho pine - a₂, screw - a₃, leucaena - a₄; and at the doses of phosphate rock in kg/ha (B): 0 - b₁, 150 - b₂, 300 - b₃ and 450 - b₄ distributed under a completely randomized design with factorial arrangement. Four months after the pricking, data on the soil and quality of the seedlings were collected, which were subjected to the analysis of variance. The application of phosphate rock increased the values of pH, phosphorous oxide and magnesium; In the case of the quality of the seedlings, chuncho pine and guaba reported higher values in height, stem diameter, root volume, biomass and number of leaves, being statistically superior to the screw species and to a lesser extent to the leucaena; In the case of the application of phosphate rock, it did not present significant statistical differences on the variables considered. It is concluded that legume species with contributions of 300 kg/ha of phosphate rock favor growth in degraded soils.

Key words: Legumes, degraded soils, phosphorus, nursery, quality.

I. INTRODUCCIÓN

La disminución del pH es una causa de degradación de los suelos agrícolas a nivel mundial, y en caso de la provincia de Leoncio Prado no se encuentra ajena dicha problemática; a ello, se viene fomentando la recuperación de los suelos degradados empleando diversas especies de leguminosas debido a su capacidad de generar biomasa y poder adaptarse a condiciones con diferentes grados de acidez. Por otro lado, las plantas recién establecidas necesitan ser complementadas su nutrición requerida mediante el aporte directo por parte del agricultor, debido a que en dichos suelos con deficientes nutrientes no pueden garantizar el crecimiento de dichas plantas donde por lo general las únicas actividades que practican los agricultores es la limpieza o control de maleza (Donoso et al., 2015), este aporte por parte de las hierbas cortadas es poco y su rebrote en áreas degradadas es lento.

El fósforo en el suelo experimenta transformaciones (adsorción, precipitación, transporte, mineralización) afectándose su disponibilidad para las plantas y constituyendo uno de los nutrientes más limitantes en los sistemas de producción (López et al., 2006); es por ello que se puede considerar dicha actividad en la recuperación de los suelos mediante el establecimiento de especies leguminosas con la finalidad de incluir un factor nutritivo a base de fósforo para facilitar la recuperación de los suelos degradados, pero se carece de conocimientos técnicos y científicos específicos de las cuatro especies de leguminosas con tallos leñosos, los cuales generan interrogantes como ¿Existirá efecto de la roca fosfórica sobre algunos parámetros biométricos de los plantones de cuatro especies forestales producidos utilizando como sustrato un suelo degradado?

En la etapa de establecimiento, cuando existen limitantes en el contenido nutricional del suelo ocasionarían limitado crecimiento y que se encontrarían propensos a que sean perjudicados por los diversos factores abióticos y bióticos respecto a la especie vegetal objetivo; tener en cuenta la nutrición vegetal de manera adecuada contribuirá a que se establezca de manera apropiada en el sitio de plantación y se garantice posteriormente su crecimiento. Además, aplicar fertilizantes de manera temprana, durante la fase de instalación, es una labor técnica en el cultivo de árboles que se caracteriza por contribuir en obtener un crecimiento inicial de los arbolitos de una forma más adecuado. Con los resultados alcanzados en el presente estudio incrementan la base de datos sobre temas de recuperación de suelos mediante el establecimiento de plantas leguminosas y además servirán como antecedentes para futuras investigaciones.

Respecto a la hipótesis planteada, se demostró en cierta medida que solamente en el caso de las especies utilizadas se determinó que hubo diferencias significativas sobre algunos parámetros biométricos de los plantones, mientras que para el caso del factor dosis de roca fosfórica, no se registró significancia estadística, excepto en la altura total de los plantones.

1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la roca fosfórica sobre algunos parámetros biométricos de los plantones de cuatro especies forestales producidos utilizando como sustrato un suelo degradado.

1.2. Objetivos específicos:

- Determinar los indicadores físicos y químicos del suelo degradado después de la investigación con la siembra de especies leguminosas.
- Efectuar las mediciones de la mortalidad, altura, diámetro del tallo, número de hojas, volumen radicular y biomasa de los plantones de cuatro especies leguminosas producidos utilizando como sustrato un suelo degradado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. La roca fosfórica

El producto roca fosfórica (rf) se caracteriza por ser una fuente natural inorgánica del elemento fósforo (P) a nivel mundial, se utiliza para sinterizar fertilizantes fosfóricos solubles en un 90,0% y también fósforo elemental en un 10,0% en las diversas industrias como los alimentos, los detergentes y la química (Bhatti y Yawar, 2010).

La roca fosfórica se emplea masivamente debido a que representa un costo bajo; pero hay desventajas en dichos usos por que posee particularidades como la baja solubilidad y de poca eficiencia agronómica; con fines de que se mejore la limitación indicada, hay un grupo cada vez más grande de personas que están interesados en emplear los microorganismos existentes en el suelo que posean la capacidad de disolver y mejorar su valor como fertilizante aportador de fósforo (Osorno y Osorio, 2017).

El rol que tiene el fósforo en las especies leguminosas se encuentra vinculado a formar, crecer y funcionar los nódulos en la cual realiza la fijación del elemento nitrógeno, porque, la enzima denominada nitrogenasa necesita de una elevada síntesis de ATP con el cual funcione (Al-Niemi et al., 1998). La poca existencia del fósforo en una especie vegetal se traduce en una reducción del crecimiento de la parte aérea, porque existe una reacción regulada debido a la cantidad de nitrógeno, caracterizada por moderar el crecimiento, así como el funcionamiento de los respectivos nódulos (Divito y Sadras, 2014).

Sin embargo, existen otras especies de leguminosas, que se caracterizan por ser más tolerante a la falta del elemento fósforo durante las primeras fases del desarrollo, debido a que dicho elemento podría obtenerse de lo que tiene de reserva dentro de su propia semilla (Hoveland et al., 1976). Por ello, el autor Israel (1987) indica que, en el caso de las especies de leguminosas que posean la capacidad de adquirir el nitrógeno a través de la fijación biológica resultan tener mayor sensibilidad cuando existe carencias de fósforo al compararlas con las que son dependientes del nitrógeno existente en el sistema edáfico.

Gómez y González (2018) concluyen que, las especies leguminosas que posean semillas de tamaño pequeño muestran mejor capacidad de respuesta cuando se aplica un fertilizante fosforado al compararlas a las especies que posean semillas de mayor tamaño; pero, puede variar en menor o mayor medida debido a los factores de clima y suelo del lugar donde se

sembrarían dichas leguminosas; motivo por el cual, es de suma necesidad que se diseñe las estrategias para el manejo concordantes con el lugar donde se establecen los cultivos de cobertura. La absorción del fósforo por parte de las plantas depende de un adecuado suministro de humedad del suelo debido a la relativa pobre movilidad del fósforo en el suelo (Goh y Hardter, 2003).

2.1.2. Fósforo en el suelo

Corrales et al. (2014) señalan que, el fósforo es una de las necesidades primordiales para que crezca y funcione un individuo vegetal, se encuentra vinculado para que se desarrolle el sistema radicular, así como los granos. Este elemento en forma disponible se caracteriza por existir en niveles bajos para las plantas, motivo por el cual se tiene que fertilizar con este preciado elemento, debido a que el fósforo no se recicla en la precipitación ni se libera de manera rápida de los restos orgánicos (Fernández, 2007).

Los restos orgánicos de origen vegetal, animal y la biomasa microbiana muerta se caracterizan por contener compuestos de fósforo orgánico pudiendo hidrolizarse y mineralizarse mediante la acción enzimática como los fosfomono-, fosfodi- y fosfotri-esterasas que provienen de los microbios y de los vegetales. El proceso mencionado es conocido como mineralización bioquímica, por realizarse de manera extracelular (Tapia y García, 2013). Como resultado de dicha mineralización bioquímica se obtienen iones libres de fosfato hacia la solución del sistema edáfico, motivo por el cual, en sistemas edáficos intemperizados, el fósforo disponible es muy dependiente de dicha mineralización (Cross y Schlesinger, 2001) y razón por la cual, hay una dependencia directa con la actividad microbiana sintetizadoras de enzimas específicas que se necesitan en esta actividad (Tapia y García, 2013).

Una particularidad a considerar en la disponibilidad del fósforo para los vegetales es que las raíces tienen la capacidad de que modifique la concentración de iones en su alrededor más cercano (Fernández, 2007), siendo las razones:

- Incidencia en el flujo de masas y difusión de iones como resultado de la absorción de agua e iones.
- Segregar exudados radiculares, sustancias orgánicas, cuyo contenido de ácidos quelantes es elevada, pudiéndose intercambiar con el fósforo superficial, pasando éste a la disolución, de donde pudiera absorberse por las plantas.

- Exudados de iones H^+ , OH^- , HCO_3^- , que mantiene el balance de aniones y cationes que seas adsorbidos, dando origen a las alteraciones del pH.
- Actividad microbiana en la rizósfera de los vegetales.

Beltrán (2014) tiende a ratificar que, los fosfatos solubles se absorben por los vegetales, y tiende a mejorar su capacidad de crecer y sea más productivo. Cuando se utilice el fosfato existente del suelo, hay una disminución en el uso de los fertilizantes químicos que, por una parte, pudieran nuevamente ser fijados por iones Al, Ca o Fe con el cual se volvieran insolubles y, también generaría el incremento de los costos para producir sus cosechas. Además, Banerjee et al. (2010) añaden que, el fósforo disponible es primordial para que la planta crezca ya que viene a constituir un poco más del 0,2% de su biomasa. Los vegetales obtienen el fosfato por medio de la solución edáfica en forma inorgánica en estado soluble como fosfatos mono y dibásicos, motivo por el cual se necesita que el valor del pH sea del 6,5 con fines de que el ion ortofosfato en el suelo se aproveche por los vegetales, existiendo una tasa baja de precipitación de los fosfatos de calcio y aluminio a dicho valor del pH edáfico (Sylvia et al., 1995).

Según Beltrán (2014), tanto en lo móvil y concentrado el fósforo en el suelo es limitado en comparación con los demás nutrientes, el coeficiente de difusión del fosfato en el sistema edáfico fluctúa entre los 0,3 hasta los $3,3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ y en el caso de su concentración en la solución edáfica corresponde a 0,02 ppm; razón por la cual es de necesidad una dosificación alta de fertilizantes que contengan fósforo hacia el suelo cuya finalidad sea complementar la elevada necesidad de dicho nutriente por los vegetales; pero, excederse con la dosificación tiende a incrementar que se pierda mediante la escorrentía que ocurre en la superficie, lo que aceleraría las fase de eutroficación en el recurso hídrico. A esto, se le añade que, un valor cercano al 90% de dichos insumos son precipitados bajo las formas insolubles denominados Ca_3PO_4 (fosfato tricálcico) cuando se encuentran en un suelo alcalino, y $FePO_4$ (fosfato de hierro) o $AlPO_4$ (fosfato de aluminio) para el caso de que se encuentre en un suelo ácido (Banerjee et al., 2010), que no pueden utilizar las plantas favoreciendo que se acumulen. Dicho fosfato no disponible existente en el sistema edáfico es suficiente para que se mantenga una máxima producción las cosechas por un periodo aproximado de 100 años.

Gyanaeshwar et al. (2002) reportan que, los fosfatos de inositol, tales como el inositol hexafosfato, resultan ser muy abundantes que su representatividad es aproximadamente del 50% de la totalidad de fósforo orgánico; dichos compuestos se acumulan en suelos vírgenes porque son convertidos en formas insolubles siendo resultante de la formación de moléculas de mayor complejidad con el calcio, el hierro y el aluminio (Gyaneshwar et al., 2002). Además, el

fósforo existente en la biomasa de células microbianas se caracteriza por ser una cantidad de suma importancia de fósforo orgánico que existe en el sistema edáfico; se tiene conocimiento de que los micelios correspondientes a los hongos llegan a contener desde un 0,5% hasta los 1,0% y en el caso de las bacterias, se tiene desde un 1,5% hasta un 2,5% de fósforo respecto a su biomasa seca. Los microorganismos contienen desde un 30% hasta un 50% aproximadamente de fósforo dentro de su ARN (Pérez et al., 2012). El fosfato en mención pudiera actuar como un índice biológico potencial de la disponibilidad de fósforo en el suelo (Guang-Can et al., 2008).

El fósforo por ser poco móvil y poco soluble tiende a que se agote de manera rápida en la rizósfera, generando una gradiente de concentración del fósforo direccionado radialmente hacia la superficie radicular. Por lo general, la cantidad de fósforo en los suelos exceden lo requerido por las plantas, pero como es poco móvil existe una restricción para que esté disponible. En consecuencia, el dinamismo del fósforo en las raíces es controlado por lo que crece y su arquitectura, dichas características están relacionados con las características edáficas tanto químicas y físicas (Neumann y Römheld, 2002).

De todo el fósforo existente en el suelo, solamente una baja proporción es disponible para la planta, su movilización en las actividades de difusión y flujo de masas, también es poco; motivo por el cual, en los alrededores de las raíces se va agotando dicho elemento, siendo su reposición de manera muy lenta, en tal sentido la disponibilidad es menor. Lo expresado origina tomar decisiones como la adición de fertilizantes que contengan fósforo y/o tienden a que se favorezca que se activen los procesos microbiológicos permitiendo que se mineralice el fósforo existente en el sistema edáfico (Lynch y Brown, 2008).

Existe otra manera en la cual un vegetal absorba fósforo, lo realiza mediante la excreción de ácidos orgánicos que también incide sobre su tolerancia al aluminio, garantizando ser más eficiente para que adquiera el fósforo, debido a que hay una coincidencia entre abundante aluminio y deficiencia de fósforo en un suelo ácido (Kochian et al., 2005).

Al querer considerar solo al pH en asimilar el fósforo por los vegetales, lo común sería tener un pH bajo, dicho de otra manera, cuando la disolución del suelo contenga una acidez notable, ya que la forma H_2PO_4^- resulta ser muy asimilable; pero, el mismo valor de pH en un suelo normal, obtienen un resultado distinto. Hay una relación positiva entre el aumento de la acidez edáfica y la solubilidad de los hidróxidos libres de Fe y Al, que originan elementos como el Fe^{+3} y Al^{+3} , que tienden a pasar a la disolución (Navarro, 2003). Bajo condiciones de elevada acidez, elementos como el Fe^{+3} y el Al^{+3} tienden a precipitarse de manera inmediata los

compuestos H_2PO_4^- que se encuentran en la disolución, se originan compuestos que son insolubles en donde el elemento fósforo carece de disponibilidad para los vegetales existentes en dicho medio (Echeverri, 2018).

2.1.3. Suelos degradados

Los suelos tienen valores bajos de pH y alta saturación de aluminio; por tanto, pierden con facilidad sus cationes intercambiables bajo lluvias fuertes. Los suelos ácidos con frecuencia limitada por uno o más de los siguientes factores: toxicidad de aluminio (Al), manganeso (Mn), deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) o molibdeno (Mo) (Rahman, 2010).

La deficiencia de fósforo es particularmente prevalente, y su aplicación en formas orgánicas, son los abonos animales y residuos de plantas, o formas inorgánicas, como roca fosfórica (rf), es ampliamente recomendada para mantener la productividad; por otro lado, los suelos ácidos pueden tener alta capacidad de fijación de fósforo si en la mineralogía de las arcillas predominan los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro, y porque la materia orgánica puede formar un complejo con el elemento aluminio (Willet et al., 1996).

En Naranjillo, provincia de Leoncio Prado, Mallqui (2019) en suelos degradados incrementó el contenido de fósforo de 5,65 hasta 6,12 ppm al aplicar 2,0 kg de compost mezclados en hoyos y posteriormente establecer pino chuncho, reportando mejores incrementos de las variables altura y el diámetro del tallo en un periodo de seis meses.

Un alto porcentaje de arcilla dispersa en agua indica que la solución del suelo es sódica, los poros del suelo se cierran y se forma una capa superficial sellada, lo cual afecta a la infiltración y aumenta el riesgo a erosión (Senra et al., 2012); además, refleja la facilidad de compactación del suelo (Santos et al., 2010).

En los suelos tropicales los factores: temperatura, niveles de pluviosidad, cantidad y tipo de microorganismos; determinan los procesos de formación y transformación de la materia orgánica (Alloway, 2013).

La presencia de materia orgánica tiene efectos tanto sobre las propiedades físicas como químicas. Arias (2008) resalta algunos de estos: Retención de humedad: la formación de humus en el suelo gracias a la presencia de materia orgánica actúa como una especie de esponja, logrando retener agua y manteniendo la humedad del mismo. es por esta razón que los suelos desprovistos de materia orgánica son más propensos a perder humedad y generar condiciones de estrés hídrico para las plantas. Proporciona nutrientes al suelo: la materia orgánica y su

interacción química en el suelo proporciona nutrientes a éste, principalmente nitrógeno, fósforo y azufre.

2.1.4. Leguminosas para recuperar suelos degradados

Las especies leguminosas son sembradas para la prevención de la erosión del suelo y aporte de nitrógeno al suelo (Gómez y González, 2018). La proliferación de raíces por parte de estas especies, permite una mejor infiltración del agua y mayor aireación del suelo (Lopes-Cruz et al., 2014), lo que favorece el aumento de las poblaciones microbianas benéficas (Carrera et al., 2007).

Además, a estas especies se les conoce por su crecimiento acelerado, su alta área foliar y su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del suelo, son utilizadas como cultivos de cobertura en áreas agrícolas (Tonitto et al., 2006).

En Venezuela, López et al. (2006) observaron la reducción del aluminio de un suelo degradado sometido a manejo conservacionista; después de seis meses de incorporar residuos de especies leguminosas; como resultado presentaron: antes del experimento, el pH fue cercano a 4 (suelo extremada y moderadamente ácido) y después, incrementaron a 5,0, 5,1 y 4,7 de pH en profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 respectivamente; mientras que, la saturación de Al^{+3} fue alta (60%) antes del estudio, después presentó 24%, 48% y 60% respectivamente a cada profundidad.

Manguiat et al. (1990) reportaron el importante rol de las micorrizas en la nutrición de leguminosas; y de actinorrizas (Sidhu y Behl, 1992) en suelos deficitarios en fósforo.

2.1.4.1. *Inga edulis* (guaba)

Esta especie leguminosa, posee un alto potencial para ser utilizado en programas de recuperación de suelos degradados, aporta gran cantidad de hojarasca y materia orgánica; es excelente para revegetar zonas en las que la cubierta vegetal ha sido devastada pues facilita el establecimiento posterior de árboles más exigentes en calidad de suelo; la tasa de generación de biomasa en esta especie se registran promedios aproximadamente 25 t/ha/año (Mesta, 2012).

Bajo condiciones de invernadero, Rodrigues (2021) investigó cómo los parámetros fotosintéticos de las plántulas de *I. edulis* responden al aumento de la adición de CO_2 (eCO_2) y P en un ambiente de sotobosque; las plántulas se cultivaron en cámaras con ambiente (aCO_2 - 500 ppm) y alto (eCO_2 - 700 ppm) CO_2 , en macetas con y sin adición de P, durante diez meses en el sotobosque de la Amazonía Central. Los resultados mostraron que las plántulas cultivadas

en eCO₂ aumentaron la eficiencia del uso de la luz en la fotosíntesis y aumentaron las tasas de asimilación. Las plántulas que crecieron en suelos sin fertilizar pueden adaptarse al P disponible bajo, ya que pueden mantener sus tasas fotoquímicas y bioquímicas, y la adición de P no tuvo una interacción significativa con el eCO₂. Estos resultados mostraron que la estimulación del proceso fotosintético promovido por eCO₂ no estaba limitada por P, y que la adición de P no tuvo efecto sobre la respuesta fotosintética de las plantas estudiadas.

2.1.4.2. *Schizolobium amazonicum* (pino chuncho)

Prefiere suelos arenosos a limosos, de fertilidad media a alta necesariamente bien drenados con pedregosidad baja a media; además, es muy sensible al anegamiento y no lo tolera sobre todo cuando es una plántula; en caso, de los factores ecológicos que influyen en el crecimiento de especies forestales son: la intensidad de la luz, temperatura y humedad, en cuanto a la intensidad de la luz es muy importante para su crecimiento y desarrollo (Reynel et al., 2003).

Además, opta por un clima tropical húmedo a sub húmedo estacional, con una precipitación anual promedio que oscile entre los 1.100 y 2.400 mm; el rango altitudinal de la especie fluctúa entre los 10 y 900 msnm (Ramalho, 2005).

Isla (2013) en plántulas de 75 días (2.5 meses) encontró que alcanzaron 11.20 hojas y 16.7 cm de altura con 50% de mantillo, y las plantas solo con suelo agrícola (testigo) presentó 6,95 hojas y al utilizar 50% de arena y con cuyaza obtuvieron 3,72 y 3,68 hojas respectivamente, además de 13,31 y 10,75 cm en altura respectivamente.

La mortalidad en plántulas de pino chuncho con 2,5 meses de edad fue mayor al emplear 50% de cuyaza en el sustrato con una media de 72,2% posiblemente a su alto contenido de pH (7,66), mientras que el suelo agrícola utilizado registró 6,27 y al aplicar 50% de aserrín disminuyó hasta un pH de 5,94 perjudicando a la cantidad de hojas en los plántulas por presentar 3,18 hojas (Isla, 2013).

En comparación al suelo agrícola (1,72% de M.O.), el añadir arena del río en un 50% disminuye la materia orgánica hasta 0,86%, que repercutió en plántulas con penúltima altura alcanzada con una media de 13,31 cm (Isla, 2013).

En caso del fósforo, se utilizó un suelo agrícola con 23,80 ppm, mientras que al añadir humus se incrementó hasta 56,95 ppm y cuando se le agregó aserrín disminuyó el valor hasta los 20,14 ppm donde la media obtenida de la altura fue 13,54 cm (Isla, 2013).

En suelo degradado con pH de 4,96, materia orgánica 1,21%, nitrógeno de 0,05%, fósforo 5,44 ppm, potasio de 29,99 ppm, calcio de 3,02 Cmol(+)/kg y magnesio en 1,96 Cmol(+)/kg obtuvieron en pino chuncho alturas de 27,75 hasta los 29,35 cm (incremento de 3,60 cm) y en caso del diámetro fue de 0,33 hasta 0,45 cm (incremento de 0,12 cm) en campo definitivo, variación encontrada en un periodo de seis meses (Mallqui, 2019).

Al producir plantones de pino chuncho con cuatro meses de edad en tubetes de 115,0 cm³, Sáenz et al. (2016) encontró una altura total de 21,43 cm, relación BPA/BPR de 2,25 y el ICD de 0,61 fueron superiores al utilizar 42,9% de materia orgánica + 14,3% de arena de río + 28,6% de compost cervecero + 14,3% de cascarilla de arroz semi carbonizada, mientras que, el diámetro del tallo mayor fue 4,64 mm en el sustrato que estaba compuesto por 16,7% de compost + 33,3% de cascarilla de arroz semi carbonizada + 50% de fibra de coco.

En un suelo franco arenoso, el pino chuncho con cuatro meses de repicado presentó altura de 64,57 cm, diámetro de 0,81 cm, 12,13 g del vástago, 3,26 g de la raíz y con una relación BPA/BPR de 3,72, resultados atribuidos en un suelo con pH de 7,32, 0,08 de nitrógeno, 20,28 ppm de fósforo, 1.653,08 kg/ha de K₂O, 14,12 Cmol(+)/kg de Ca y 2,85 Cmol(+)/kg de Mg (Schmidt, 2013).

2.1.4.3. *Cedrelinga cateniformis* (tornillo)

Su rango altitudinal varía desde los 120 hasta los 800 msnm, con temperaturas que varían desde los 15 °C hasta los 38 °C y precipitaciones entre 2,500 a 3,800 mm anuales (López, 1970). Habita naturalmente en lugares húmedos y hasta pantanosos, con presencia de humus, en los bosques altos de tierra firme prefiere las nacientes y cursos superiores de los ríos en suelos arcillosos (Dasilva et al., 1992).

El crecimiento de la especie *C. cateniformis*, es el suelo ácido (pH 4,50), de la clase textural franco arcillo arenoso y se clasifica como Inceptisol (Lévano, 1994).

En una altitud comprendida entre los 750 hasta los 900 msnm, Paúcar (2011) encontró regeneración de *C. cateniformis* en un suelo cuyas propiedades fueron: textura franco arcilloso (34,57% de arena, 29,00% de arcilla y 36,43% de limo), pH muy ácido (4,1), materia orgánica muy bajo (0,98%), fósforo bajo (3,14 ppm) y potasio muy bajo (16,62 ppm).

En Tingo María, Rojas (2013) reportó plantones con cuatro meses de edad cuyas dimensiones fueron de 17,32 cm de altura, 2,96 mm de diámetro del tallo, 5,85 de robustez y 0,10 del índice de calidad de Dickson, al utilizar sustrato de bosque donde se encontraban

árboles de *C. cateniformis*; estos resultados superaron a los plantones que recibieron abonamiento adicional.

En la región Loreto, Robles (2017) reporta incrementos de los plantones de *C. cateniformis* en cuatro meses durante la fase de vivero, con valores de 4,58 cm para la altura total y 0,99 mm para el diámetro del tallo al utilizar el sustrato compuesto por 30% de tierra natural + 20% de aserrín descompuesto + 30% de palo podrido + 20% de arena, pero carecieron de diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. La mortalidad fluctuó desde 16,67% hasta los 43,3%.

2.1.4.4. *Leucaena leucocephala* (leucaena)

Es una especie tropical que requiere temperaturas diurnas entre 25 °C a 30 °C para un crecimiento óptimo (FAO, 1991). Es muy resistente a la sequía, ya que posee un sistema radical profundo, el cual se puede extender hasta 5 m para obtener el agua subterránea. Tiene la capacidad de desarrollarse en zonas con precipitaciones entre los 300 y 3.000 mm/año. Las leguminosas arbóreas son un componente importante para mejorar las condiciones físicoquímicas y biológicas del suelo; dentro de éstas se destaca *L. leucocephala* por su alto rendimiento en biomasa (21 t.ha⁻¹ MS), elevado contenido proteico, resistencia a sequías, habilidad de fijar el nitrógeno atmosférico y alta selectividad por los bovinos (Chamorro, 2000).

Su limitante para desarrollarse en suelos ácidos, principalmente con problemas de aluminio intercambiable (Espinoza et al., 2007). Así también, Espinoza (1996) añade que, no tolera suelos con mal drenaje interno, puede crecer en suelos de baja fertilidad natural, pero con buen drenaje y sin problemas de aluminio intercambiable. Para el establecimiento de *L. leucocephala* en suelos ácidos, se debe realizar estudios de fertilización y considerar la densidad de siembra a utilizar (Espinoza et al., 2007).

Por ello, la fertilización es más importantes en el manejo de la *L. leucocephala* en los suelos ácidos; el crecimiento de cepas de *Rhizobium* es más difícil; sin embargo, dependiendo del grado de acidez algunas son más tolerantes; en el caso que no se tenga a disposición este material, es recomendable la aplicación de nitrógeno en una proporción menor a los 25 kg N/ha, dependiendo de los análisis de suelo (Espinoza y Gil, 1999).

Espinoza et al. (1992) estudiaron la adaptabilidad de *L. leucocephala* en suelos viejos, lavados, con problemas de drenaje, pobres en fertilidad natural y con problemas de acidez han mostrado la adaptabilidad con valores de proteína cruda (PC), ceniza, calcio (Ca) y fósforo (P)

para el período seco de 19%, 5%, 1,17% y 0,26%, mientras que para el período lluvioso fue de 20%, 6%, 1,18% y 0,22%, respectivamente.

2.1.5. Calidad de los plántones

Uno de los factores principales que influyen en el establecimiento y desempeño inicial de las plantaciones forestales es la calidad de la planta utilizada (Mas, 2003). Concepto que se define como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen (Rodríguez, 2008), la cual depende de las características genéticas del germoplasma, así como de las técnicas utilizadas para su reproducción (Prieto et al., 2009).

La evaluación de la calidad de planta en viveros forestales se remonta a 1917, cuando el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América generó el primer manual de procedimientos para producción de planta forestal (Sánchez y Murillo, 2004). No obstante, fue hasta las décadas de los 30 y 40 que se definieron los primeros criterios de valoración, basados en el diámetro del cuello de la raíz y la altura (Mexal y Landis, 1990). En la actualidad, existen métodos más sofisticados para determinar la calidad de la planta, fundamentados en las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas (Haase, 2007). Al utilizar planta de calidad en las plantaciones, se incrementa su probabilidad de éxito (Villar et al., 2000). Por lo tanto, conocer los elementos morfológicos y fisiológicos que influyen en la que es producida en vivero debe ser una prioridad de los agentes involucrados en los programas relacionados con el establecimiento de plantaciones forestales. Entre las variables correspondientes a la calidad de los plántones se tienen los siguientes:

2.1.5.1. Altura total

Variable que influye en la competencia de los plántones con la vegetación herbácea o arbustiva que le rodea cuando se establecen en terreno definitivo; es recomendable que los individuos se encuentren con valores entre los 15 a 20 cm (Prieto et al., 2009). Esta variable se relaciona con su capacidad fotosintética y su superficie de transpiración (Quiroz et al., 2009). Para especies latifoliadas los plántones de calidad baja presentan < 12,0 cm, con calidad media miden entre 12,0 a 14,9 cm y los de calidad alta son superiores a 15,0 cm (Rueda-Sánchez et al., 2014).

2.1.5.2. Diámetro del tallo

Variable que define la robustez del tallo y está asociada con el vigor y sobrevivencia de los plántones. Individuos con diámetro superiores a 5 mm presentan mayor resistencia a doblarse y toleran de la mejor manera a los daños posibles por plagas o alguna fauna nociva; aunque esta variable no es similar entre especies (Prieto et al., 2009).

El diámetro a la altura de cuello es un indicador de la capacidad de transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas de la planta (Quiroz et al., 2009). Arnold (1996) añade que, mientras mayor es el diámetro y el peso fresco de un plantón, mejor será la calidad del mismo. En especies latifoliadas los plántones de calidad baja presentan < 2.5 mm, con calidad media miden entre 2,5 a 4,9 mm y los de calidad alta son superiores a 5,0 mm (Rueda-Sánchez et al., 2014).

2.1.5.3. Robustez

Es el cociente o razón entre la altura (cm) y el dac (mm) (Alt/Dac). Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Toral, 1997). Valores entre 5,0 y 10,0 indican una mejor calidad de los plántones, valores superiores a 10, refleja un plantón muy alto, respecto al diámetro del tallo, por su parte valores inferiores a 5 se registran en plántones con muy poca altura respecto al diámetro del tallo (Quiroz et al., 2009). Para especies latifoliadas los plántones de calidad baja presentan mayor o igual a 8,0, con calidad media tienen entre 7,9 a 6,0 cm y los de calidad alta son inferiores a 6,0 (Rueda-Sánchez et al., 2014).

2.1.5.4. Volumen radicular

Variable conformada fundamentalmente por el número de raíces laterales, la fibrosidad y la longitud del sistema radicular. Un mayor número de raíces laterales y una mayor longitud de estas y de la raíz principal puede significar un aumento en la estabilidad de la planta y una mejor capacidad exploratoria de la parte superior e inferior del suelo para mantener el estado hídrico. Por su parte, una mayor fibrosidad conduce a una mayor capacidad de absorción y a un mayor contacto suelo-raíz (Quiroz et al., 2009).

2.1.5.5. Biomasa

Variable que refleja el desarrollo que obtuvo el plantón en fase de vivero; esta variable presenta una correlación directamente proporcional con la sobrevivencia y el crecimiento de las

plantas en terreno definitivo. Similar al diámetro del tallo, la biomasa de la parte aérea (vástago) es un indicador de la superficie fotosintética y del área de transpiración, asimismo, representa su capacidad para el almacenamiento de carbohidratos (Prieto et al., 2009).

2.1.5.6. Relación biomasa parte aérea/sistema radical (BPA/BPR)

Una relación favorable debe estar comprendido en el intervalo de 15 hasta 2.5, valores superiores representan la desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para que provea energía hacia la parte aérea de la planta (Prieto et al., 2009). Los plantones de calidad baja presentan mayor o igual a 2,5 cm, con calidad media miden entre 2,4 a 2,0 cm y los de calidad alta son inferiores a 2,0 (Rueda-Sánchez et al., 2014).

2.1.5.7. Índice de calidad de Dickson

Variable compuesta por el agrupamiento de las variables relacionadas con la calidad del plantón; a mayor valor de dicho índice, los plantones poseen mejor calidad (Prieto *et al.*, 2009), siendo lamentable que aún no se definan dicho índice para las especies tropicales del Perú. Este grupo de variables expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura, pero con mayor vigor (Fonseca et al., 2002). Los plantones de calidad baja alcanzan hasta 0,2, en la calidad media alcanzan entre 0,2 a 0,4 y los de calidad alta son superiores o iguales a 0,5 (Rueda-Sánchez et al., 2014).

2.2. Estado del arte

Caycedo (2012) observó el efecto de la roca fosfórica sobre el crecimiento de la especie *Dipteryx micranta* (shihuahuaco), después de un año de instalación en un suelo degradado (pH: 4.21 y MO: 1.82%) en el centro poblado menor de Neshuya; los individuos que fueron tratados con 400 gr/planta de roca fosfórica presentaron un incremento de 31,6 cm de altura promedio, 5,9 mm de diámetro promedio y 34,5 hojas por planta; las plantas que fueron dosificados con 500 gr/planta alcanzaron un incremento de 37,3 cm de altura, 7,0 mm de diámetro y 46,8 hojas por planta; y las plantas dosificados con 600 gr/planta alcanzaron un incremento de 38,0 cm de altura, 7,1 mm de diámetro y 48 hojas por planta.

En Pucallpa, durante dos años de observación sobre el crecimiento de especies forestales en un suelo infértil y compactado; presentaron como resultados: 2.4 m en altura y 92% de

sobrevivencia de la especie *Ceiba pentandra* (lupuna blanca) con humus de lombriz; 2,2 m en altura y 88% de sobrevivencia del *S. amazonicum* con humus de lombriz; y 4,4 m en altura y 66% de sobrevivencia de la *Guazuma crinita* (bolaina blanca) con roca fosfórica (INIA/ICRAF, 1996).

Así también, Gonzáles (1999), observó el efecto del diámetro y la profundidad de hoyos sobre un suelo compactado y ácido (pH 4,6) con la adición de 200 gr de roca fosfórica, sobre el crecimiento en altura y sobrevivencia. Como resultado presentó para *Calycophyllum spruceanum* “capirona”, 2,10 m en altura y 87% de supervivencia; para *G. crinita* 2,06 m y 82% respectivamente, para ambas especies en hoyos de 20 x 40 cm; y para *Swietenia macrophilla* (caoba), 1,80 m en altura y 66% de sobrevivencia en hoyos de 20 x 60 cm

Aching (2011), evaluó el crecimiento inicial del *C. cateniformis* utilizando superfosfato triple (SFT) en vivero, CIEFOR, Loreto. Donde las dosis de SFT se ha incrementado en 5 g por cada tratamiento; sin embargo, el crecimiento de los plántones durante el tiempo de vivero fue menor de acuerdo al incremento de la dosificación: los plántones con 5 g de SFT alcanzó 49 cm de altura, con 9.00 mm de diámetro y con 100% de sobrevivencia; seguido por los plántones con 10 g de SFT presentaron 38 cm de altura, con 9.00 mm de diámetro y 99,35% de sobrevivencia; y menor valor alcanzaron los plántones con 30 g de SFT que alcanzó 23 cm de altura, con 5,5 mm de diámetro, y 2,94% de sobrevivencia.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La tesis se ejecutó en el vivero perteneciente a la Escuela profesional de Ingeniería Forestal. Políticamente área para producir plántones se encuentra en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado de la región Huánuco. El vivero es de tipo permanente, que presenta tinglado con malla tipo Raschel de color rojo.

El clima característico de la zona concierne en 29,4 °C como temperatura máxima, 19,2 °C como temperatura mínima y el promedio anual es de 24,3 °C, la precipitación acumulada en un año es de 3300 mm y la humedad relativa promedio está comprendida en 87,00%. Considerando los parámetros de temperatura y precipitación (Holdridge, 1987), el distrito Rupa Rupa se encuentra en la región biogeográfica de bosque muy húmedo Pre montano Tropical (bmh - PT). El vivero se localiza a una altitud de 660 metros sobre el nivel del mar.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Entre el material biológico o unidad de estudio se consideró a las semillas de *I. edulis*, semillas de *S. amazonicum*, semillas de *C. cateniformis* y las semillas de *L. leucocephala*. Los materiales utilizados fueron: tablero para facilitar el registro de los datos, libreta de campo, wincha de 5 m y vernier mecánico.

Entre las herramientas se utilizó a el machete, la lima para afilar y la pala recta. Como equipos se consideró el uso de la cámara fotográfica, el computador portátil, la estufa eléctrica, la balanza de precisión y el receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Aspectos de la tesis

Tipo de estudio. En base a lo expuesto por Supo (2014) y considerando el número de mediciones de las variables dependientes, el tipo de estudio fue transversal, debido a que se obtuvo los resultados con una sola medición de la calidad de los plántones, el cual se realizó a los cuatro meses de establecido y todas las especies de leguminosas tuvieron similar uniformidad en la edad de las unidades experimentales.

Diseño de estudio. De acuerdo a Hernández et al. (2014), el diseño consiste en la estrategia o plan para obtener los resultados; el diseño al que pertenece el estudio fue un experimento puro, porque los sujetos (plántones de las especies de leguminosas) de estudios se tomaron al azar y se emparejaron de acuerdo a la edad; además las condiciones fueron homogéneas para todas las especies.

Nivel de estudio. En el nivel explicativo, los estudios completan otros criterios de causalidad, donde el experimento es el más conocido, pero no indispensable para llegar a concluir el estudio (Supo, 2014). La conclusión referida a la causa y efecto se realizó con la necesidad de experimentar (estudios experimentales) ya que el tesista realizó una manipulación deliberada de las unidades de estudio (plántones de especies leguminosas) y de los tratamientos aplicados en la presente tesis.

Tratamientos y/o combinaciones. Para la obtención de las combinaciones en estudio, se consideró los siguientes factores:

Factor A: Especies de leguminosas. Niveles considerados en base a las especies leguminosas que se encontraban en la zona donde se realizó el experimento y presentaban tallos leñosos, siendo estos los siguientes:

- Plántones de *I. edulis* : a₁
- Plántones de *S. amazonicum* : a₂
- Plántones de *C. cateniformis* : a₃
- Plántones de *L. leucocephala* : a₄

Factor B: Dosis de roca fosfórica. Se consideró dichos niveles en base a los estudios reportados por Gómez y González (2018), siendo estos los siguientes:

- 0 kg de roca fosfórica/ha : b₁
- 150 de roca fosfórica/ha : b₂
- 300 de roca fosfórica/ha : b₃
- 450 de roca fosfórica/ha : b₄

De los dos factores en estudio, se realizaron las combinaciones de sus respectivos niveles, obteniendo 16 combinaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Combinaciones a considerar en el experimento.

Factor A	Factor B	Combinaciones
a ₁	b ₁	<i>I. edulis</i> sin adición de roca fosfórica
a ₁	b ₂	<i>I. edulis</i> con adición equivalente a 150 kg de roca fosfórica/ha
a ₁	b ₃	<i>I. edulis</i> con adición equivalente a 300 kg de roca fosfórica/ha
a ₁	b ₄	<i>I. edulis</i> con adición equivalente a 450 kg de roca fosfórica/ha
a ₂	b ₁	<i>S. amazonicum</i> sin adición de roca fosfórica
a ₂	b ₂	<i>S. amazonicum</i> con adición equivalente a 150 kg de roca fosfórica/ha
a ₂	b ₃	<i>S. amazonicum</i> con adición equivalente a 300 kg de roca fosfórica/ha
a ₂	b ₄	<i>S. amazonicum</i> con adición equivalente a 450 kg de roca fosfórica/ha
a ₃	b ₁	<i>C. cateniformis</i> sin adición de roca fosfórica
a ₃	b ₂	<i>C. cateniformis</i> con adición equivalente a 150 kg de roca fosfórica/ha
a ₃	b ₃	<i>C. cateniformis</i> con adición equivalente a 300 kg de roca fosfórica/ha
a ₃	b ₄	<i>C. cateniformis</i> con adición equivalente a 450 kg de roca fosfórica/ha
a ₄	b ₁	<i>L. leucocephala</i> sin adición de roca fosfórica
a ₄	b ₂	<i>L. leucocephala</i> con adición equivalente a 150 kg de roca fosfórica/ha
a ₄	b ₃	<i>L. leucocephala</i> con adición equivalente a 300 kg de roca fosfórica/ha
a ₄	b ₄	<i>L. leucocephala</i> con adición equivalente a 450 kg de roca fosfórica/ha

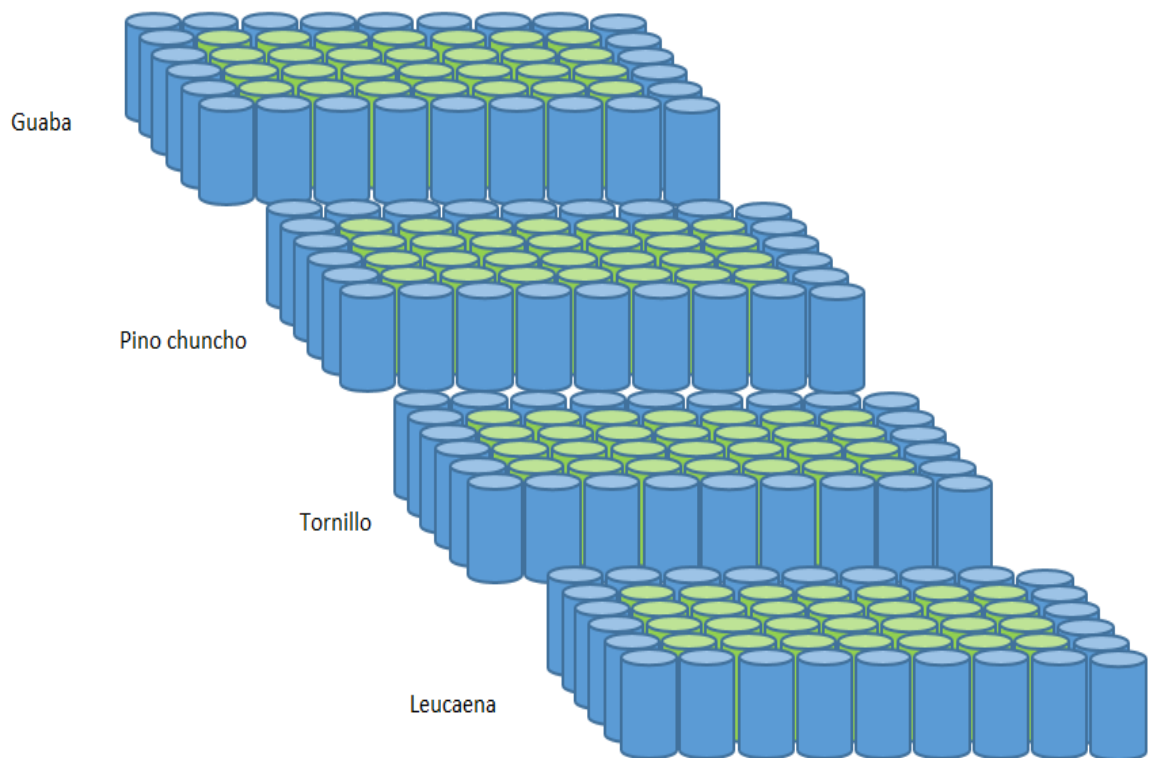


Figura 1. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores, el estudio se ejecutó bajo un diseño completo al azar (DCA). La cantidad de repeticiones por combinación fueron de siete (07) unidades experimentales o plantones y el total de plantones por especie fueron de 54 plantones con todo el efecto de borde, todos colocados en una cama de 1 m de ancho y 10 m de largo (Figura 1).

Una parcela constituida por una especie de leguminosa estuvo conformada por 54 plantones, de los cuales 26 plantones cumplieron la función de efecto de borde, a los que también se les agregó dosis de roca fosfórica, pero se excluyó al momento de realizar las mediciones de la variable en estudio (Figura 2).

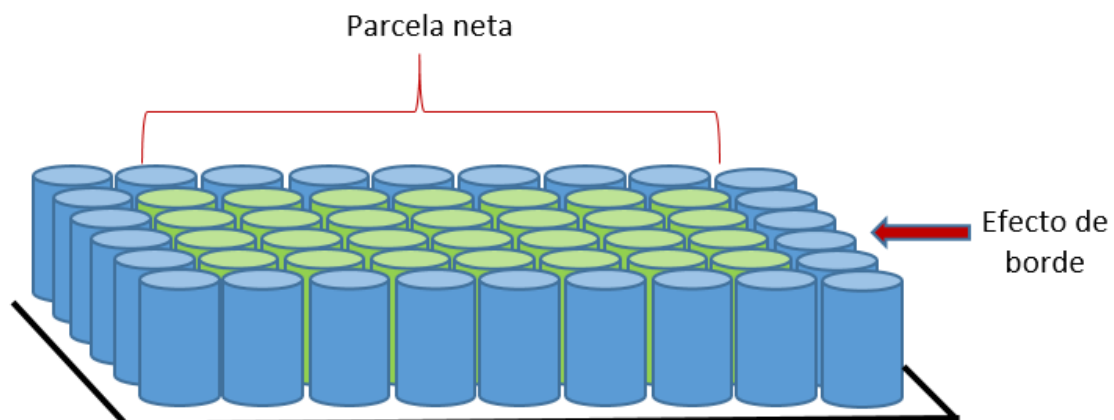


Figura 2. Distribución de los plantones en una unidad experimental.

3.2.2.2. Determinar los indicadores físicos y químicos del suelo degradado antes y después de la investigación con leguminosas

En el terreno donde se encontraba el suelo degradado, se realizó un muestreo de suelos realizando un recorrido en zig-zag, de los cuales se mezcló y se tomó una muestra aproximada de 1,0 kg; en caso de obtener la muestra de suelos culminada la ejecución correspondiente a la fase de vivero, se escogió los sustratos de las bolsas con las dosis de roca fosfórica aplicadas, en este muestreo se aprovechó al sustrato que los plantones estaban siendo sacrificadas para obtener su biomasa y volumen radicular, no considerándose el muestreo por especies y dosis aplicadas debido a que las modificaciones a las propiedades del suelo se consideró sin efecto a causa del poco tiempo que estaban establecidos los plantones (cuatro meses); las muestras fueron llevadas al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la facultad de Agronomía en donde se realizaran los análisis de las siguientes propiedades: Propiedades físicas (textura – Bouyoucus), propiedades químicas (materia orgánica - Colorimetría (Walkey y Black), capacidad de intercambio catiónico - Colorimetría (Reactivo Nessler), nitrógeno total – Kjeldahl, fósforo disponible – coloración Bray y Kurtz, potasio – Espectrometría de absorción atómica, entre otros).

En el análisis de los resultados, se realizó una comparación numérica teniendo en cuenta las dosis de roca fosfórica utilizado en el suelo degradados.

3.2.2.3. Efectuar las mediciones de la mortalidad, altura, diámetro del tallo, número de hojas, volumen radicular y biomasa de las cuatro especies leguminosas sembradas en un suelo degradado

Como primera actividad, se solicitó autorización al docente encargado del Vivero Forestal con la finalidad de realizar la tesis en los ambientes de dicho vivero. Posteriormente, se realizó la extracción de suelo degradado del predio de la propietaria Flor Martel Viaflor con DNI: 7168255 ubicada en las coordenadas: 392677 Este y 8973485 Norte a una altitud de 673 msnm, de un área de 2,8 ha, en donde el suelo presentaba a la especie vegetal *Andropogon bicornis* L. “rabo de zorro” debido a que dicho suelo anteriormente se había realizado un sembrío de *Erythroxylum coca* Lam., 1786 “coca” que se dejó de cultivarlo hace cuatro años aproximadamente. La extracción de suelo se realizó empleando pala recta, pico y azadón hasta una profundidad aproximando de 20 cm desde la superficie debido a que cuando se instalan las

plantaciones de especies recuperadoras de suelos se hacen hoyos a profundidades muy similares.

Los suelos extraídos fueron trasladados en costales hacia el vivero forestal en donde se procedió al llenado en bolsas de polietileno (6" x 12") previa aplicación de los tratamientos respectivos según las dosis señaladas en los párrafos anteriores y se realizó el acomodo en las camas de cría que cuenta dicho vivero.

Como actividad seguida, se obtuvieron las semillas de las cuatro especies de leguminosas, de los cuales en caso de *C. cateniformis* se realizó la colecta de regeneración natural que se encontraba en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), mientras que las demás especies se obtuvieron las semillas mediante la compra directa y se realizó la germinación de las misma. Las plántulas fueron repicadas en cada bolsa de acuerdo a la distribución de la parcela experimental.

A los plántones de les mantuvo mediante riego permanente, limpieza de la vegetación competidora que aparecía en sus alrededores. A los cuatro meses de repicado se les realizó las siguientes mediciones:

Mortalidad. Fe calculado mediante el conteo de los individuos que perecieron al culminar la investigación, dicho valor se ha tenido que procesar mediante una regla de tres simples con fines de obtener un valor porcentual con la cual se tomó en cuenta la unidad de medida de esta variable. El valor fue calculado por cada repetición de los tratamientos utilizados.

Altura total. Se midió a los plántones desde la base del tallo hasta la yema terminal de la misma, la unidad de medida fue en centímetros y para ello se contó con una wincha de 3,0 m.

Diámetro del tallo. se midió en el cuello del plánton entre la base del tallo y el inicio del sistema radical, para esta actividad fue necesario el uso de un vernier mecánico y la unidad de medida fue en milímetros.

Cantidad de hojas. Se obtuvo por conteo directo de las hojas vivas que presentaban los plántones, siendo no contadas los que se cayeron por el proceso de madurez.

Volumen radicular. Con las mediciones de la altura total, se escogió a cuatro individuos que se acercaban a la altura promedio de cada tratamiento, estos individuos fueron

separados del sustrato y se les lavaron las raíces para eliminar partículas de suelos adheridas a las raíces. Luego se ha utilizado una probeta graduada al que se le llenaba el agua hasta un volumen conocido, luego se le introducía el sistema radicular de los plantones para conocer el volumen del mismo mediante diferencia de volúmenes (volumen final menos el volumen inicial).

Biomasa. Para alcanzar esta variable, se ha tenido que seccionar los plantones a nivel del cuello de los mismos, actividad realizada en el Laboratorio de Semillas que pertenece a la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, seguidamente se colocaron en sobres hechos de papel reciclado donde se les codificaron por especie y la dosis aplicada de roca fosfórica para que sean secadas en la estufa a una temperatura de 65 °C por un periodo de tiempo de 72 horas (Gómez y González, 2018), cumplido dicho tiempo, se colocó por un periodo de 30 minutos a las muestras en una campana de desecación y finalmente se procedió al pesado de la materia seca empleando una balanza de precisión tanto de la parte aérea como de la parte radical.

Análisis de los datos. Antes de analizar los datos se ha tenido que calcular los valores del índice de robustez o esbeltez (IR) y el índice de calidad de Dickson (ICD), los cuales fueron obtenidos mediante las fórmulas consideradas por Prieto et al. (2003), siendo estos:

$$\text{Robustez (IR)} = \text{Altura total} / \text{Diámetro del tallo}$$

$$\text{RBA/BR} = \text{Biomasa aérea} / \text{biomasa radicular}$$

$$\text{ICD} = \text{Peso seco total (g)} / (\text{IR} + \text{RBA/BR})$$

Los datos fueron tabulados y verificados en el software Ms Excel 2010 y luego se analizó empleando el paquete estadístico SPSS v 25 con la finalidad de obtener los estadísticos descriptivos y posteriormente se realizó la contrastación de hipótesis mediante el análisis de la varianza (ANVA). En caso de rechazar la hipótesis (H_0), se realizó la comparación de medias mediante la prueba Tuckey a un 95% de confiabilidad. Luego del análisis de datos, se realizó la interpretación de los resultados para finalmente se elaboró el informe final de la tesis empleando el software Ms Word 2010.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los indicadores físicos y químicos del suelo degradado después de la investigación con leguminosas

La aplicación de dosis diferentes de roca fosfórica en suelos degradados bajo condiciones de vivero modificó de una manera directamente proporcional los niveles de pH en el suelo, comportamiento muy similar se le atribuye a la materia orgánica a excepción de la dosis de 300 kg/ha de roca fosfórica; mientras que los niveles de óxido de fósforo en el suelo se incrementaron respecto al incremento de las dosis utilizadas. El contenido de calcio en el suelo no mantuvo alguna relación con los niveles de roca fosfórica aplicadas al suelo degradado, así como el nivel de potasio (Tabla 2).

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del suelo degradado.

Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	Clase textural	pH	M.O.	N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
			(%)		(ppm)		(Cmol(+)/kg)	
0	Arcilla	4,47	1,08	0,05	1,46	28,49	1,07	0,24
150	Arcilla	4,74	1,23	0,06	2,09	110,41	4,01	0,64
300	Arcilla	4,68	1,10	0,06	2,33	50,48	3,52	0,91
450	Arcilla	5,16	1,59	0,08	2,73	103,45	4,28	0,84

Debido al suelo donde se extrajo el suelo presentaba poca vegetación, su contenido de óxido de fósforo fue bajo, esto es acorde a lo expresado por Tapia y García (2013), quienes señalan que en un medio donde existen residuos orgánicos de las plantas, animales y biomasa microbiana muerta pueden mineralizarse por acción de enzimas de origen microbiano o vegetal.

El pH del suelo degradado fue mejorando mientras mayor se incrementó la dosis de roca fosfórica aplicada, este cambio favoreció ligeramente en la mayor absorción de dicho elemento por parte de las leguminosas; al respecto Navarro (2003) y Echeverri (2018) reportan que, si un suelo es ácido debería el fósforo ser más asimilable, pero debido a la presencia de hierro y aluminio se restringe dicho proceso al formarse compuestos no solubles para las plantas.

El suelo degradado utilizado registró un pH de 4,47 lo cual hace que el fósforo del suelo se encuentre con limitaciones en su asimilación por las plantas, debido a que para Sylvia et al. (1995) reportan que debe ser necesario un pH de 6,5 para que el ion ortofosfato en el suelo sea

aprovechable por las plantas. Además, se observa contenidos de calcio y aluminio en el suelo degradado y con una acidez marcada que originaron la poca asimilación del fósforo por parte de las plantas sembradas a pesar que para Banerjee et al. (2010) este elemento es de suma prioridad para los vegetales por constituir más del 0,2% de la biomasa, dicha limitación ocurre debido a que se generan compuestos como el fosfato de hierro o fosfato de aluminio en un suelo con pH muy bajo; para Lynch y Brown (2008), lo señalado conlleva a que sea necesario la aplicación de fertilizantes fosfóricos.

El óxido de fósforo en el suelo fue incrementándose mientras se suministró mayor cantidad de roca fosfórica, esto también lo reportan Willet et al. (1996) que cuando un suelo presenta bajo contenido de dicho elemento y se requiera mejorar la productividad, se debe utilizar fuentes inorgánicas como la roca fosfórica; mientras que en caso de Mallqui (2019) recomienda el uso de fuentes orgánicas como el compost que modificó los contenidos de fósforo con valores desde 5,65 a 6,12 ppm (4,95 a 5,36 de P_2O_5) al utilizar puntualmente en hoyos y aplicarlos 2,0 kg de compost mezclados en con el suelo degradado.

4.2. Efecto en las mediciones de la mortalidad, altura, diámetro del tallo, número de hojas, volumen radicular y biomasa de las cuatro especies leguminosas sembradas en un suelo degradado

4.2.1. Mortalidad de plántones

A los cuatro meses posteriores a la siembra de las semillas de las especies leguminosas en los suelos degradados, se observa que la *I. edulis* registró menor cantidad de mortalidad respecto a las dosis de la roca fosfórica utilizada, mientras que en caso del *S. amazonicum* y *C. cateniformis* se determinó mayor cantidad de plántones muertos, que en muchos casos llegó hasta el 33% de mortalidad; en caso de la *L. leucocephala*, se observó mortalidad intermedia en base a las dosis de roca fosfórica utilizada (Figura 3).

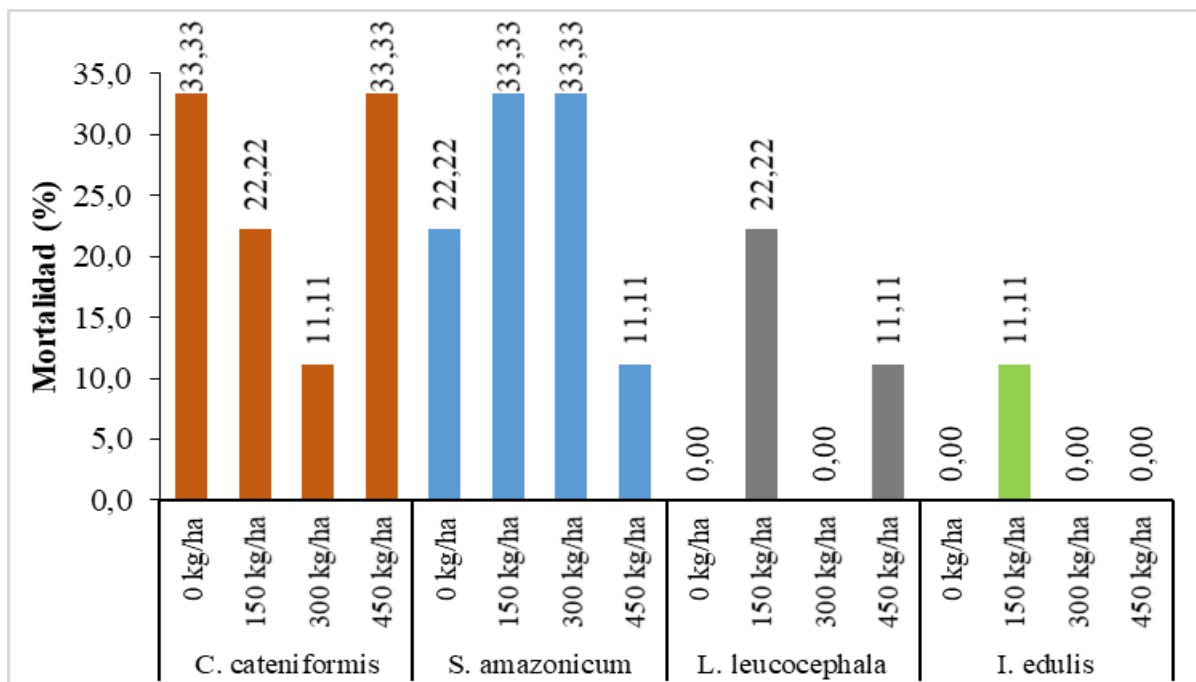


Figura 3. Mortalidad en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Mayor tasa de mortalidad se observó en los plántones de *S. amazonicum* y *C. cateniformis* que llegaron en ambas especies hasta los 33,33%, esto es reportado por Isla (2013) quien obtuvo mortalidad elevada (50%) en sustratos con 7,66 de pH y fue notorio la pérdida de hojas en sustratos con pH de 5,94 ratificando su poca tolerancia a suelos muy ácidos, en caso de *C. cateniformis* ocurrió debido a que necesita un poco más de sombreado por ser una especie esciófita (Paúcar, 2011 y Robles, 2017); mientras que los menores valores se observó en la *I. edulis*, ratificando lo expresado por Mesta (2012) al otorgarle calificativos a esta especie como presentar un alto potencial para considerarse en programas de la recuperación de suelos degradados.

4.2.2. Altura total de los plántones

La altura de los plántones en un periodo de cuatro meses registra que los promedios más altos se encontraban en la *I. edulis* tanto en suelos con y sin aplicación de roca fosfórica, siendo seguido dicho comportamiento por el *S. amazonicum* y los menores valores se registró en la *L. leucocephala* y *C. cateniformis* (Figura 4).

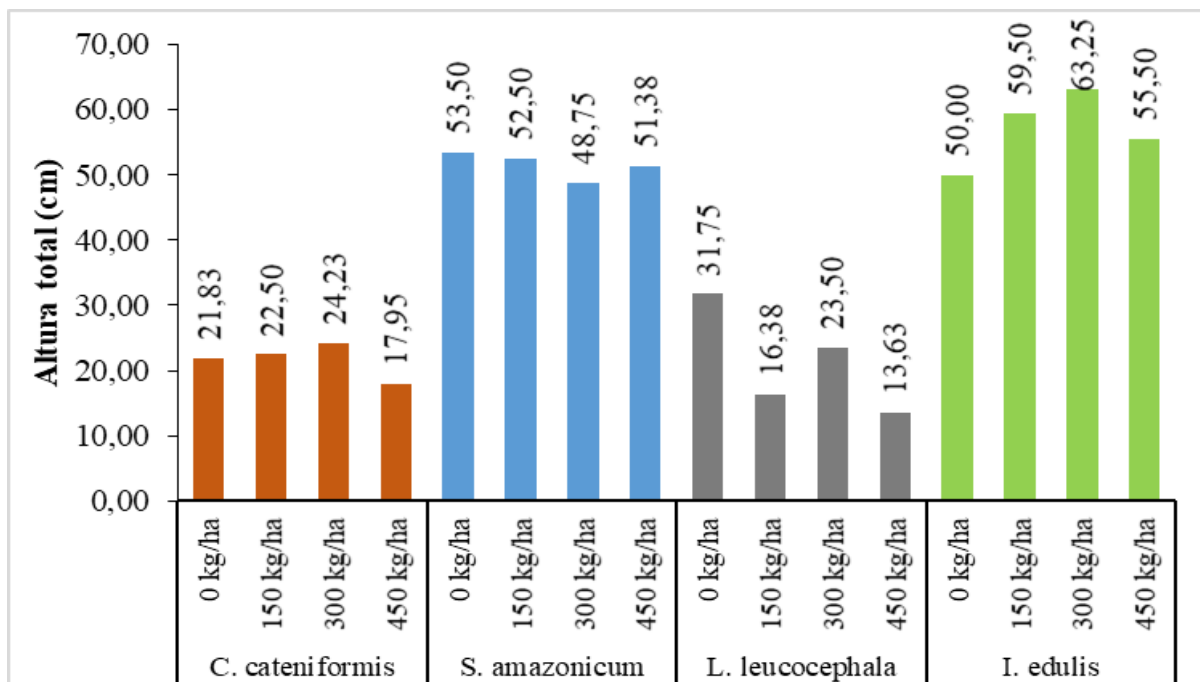


Figura 4. Altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En el ANVA se demuestra que la altura presentó diferencias estadísticas significativas por parte de las especies, de manera similar se registró diferencias al utilizar diferentes dosis de roca fosfórica; además, se reporta que existe interacción entre los factores especies con las dosis de roca fosfórica utilizada. En caso de las repeticiones consideradas en el experimento, se observa que los datos correspondientes a dicha variable fueron muy homogéneos por presentar un coeficiente de variabilidad del 14,59% que es inferior a los 20% considerados por convención de los estadísticos en caso de estudios para ingeniería (Tabla 3).

Tabla 3. ANVA para la altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	17488,512	3	5829,504	190,725	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	269,420	3	89,807	2,938	0,043*
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	1040,161	9	115,573	3,781	0,001*
Error experimental	1467,118	48	30,565		
Total	20265,211	63			

CV = 14,59%; ***: Significativo al 99%; *: significativo al 95%.

En la comparación de medias representada por la prueba de Tukey, se generaron estadísticamente tres subconjuntos bien diferenciados en donde el mayor tamaño promedio de la altura lo presentaban los plantones de *I. edulis* con un valor de 57,06 cm, siendo diferenciados estadísticamente de la especie *S. amazonicum* con una media de 51,53 cm que originó el segundo subconjunto; existiendo finalmente un tercer subconjunto conformada por la especie forestal *C. cateniformis* y la especie recuperador de suelos *L. leucocephala* con medias muy cercanas entre ambos con valores de 21,63 y 21,31 cm respectivamente (Tabla 4 y Figura 5).

Tabla 4. Prueba Tukey para la altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media (cm)	Subconjunto
1	<i>I. edulis</i>	16	57,06	a
2	<i>S. amazonicum</i>	16	51,53	b
3	<i>C. cateniformis</i>	16	21,63	c
4	<i>L. leucocephala</i>	16	21,31	c

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

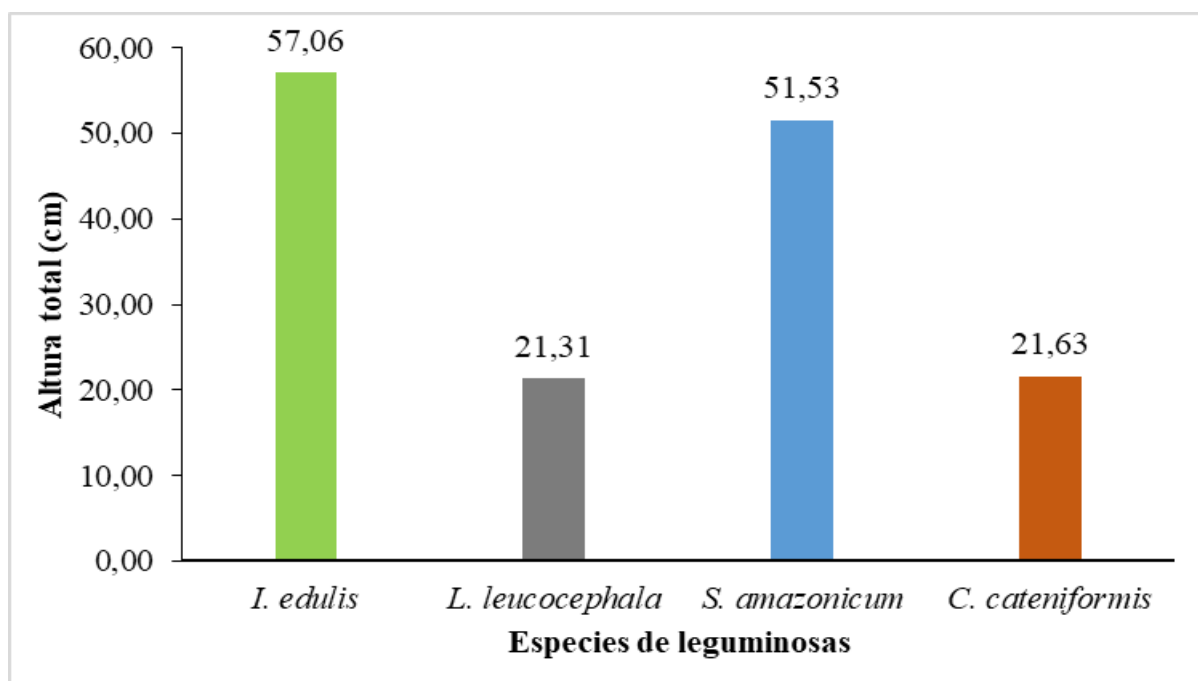


Figura 5. Altura en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

EL uso de la roca fosfórica en un suelo degradado con cuatro especies leguminosas forestales en condiciones de vivero generó diferencias estadísticas entre las dosis utilizadas, es por esto que, al aplicar 300 kg de roca fosfórica se obtuvo plantas más altas (39,93 cm) y al

utilizar 450 kg de roca fosfórica el crecimiento en altura obtuvo una media de 34,61 cm (Tabla 5 y Figura 6).

Tabla 5. Prueba Tukey para la altura en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media (m)	Subconjunto
1	300	16	39,93	a
2	0	16	39,27	ab
3	150	16	37,72	ab
4	450	16	34,61	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

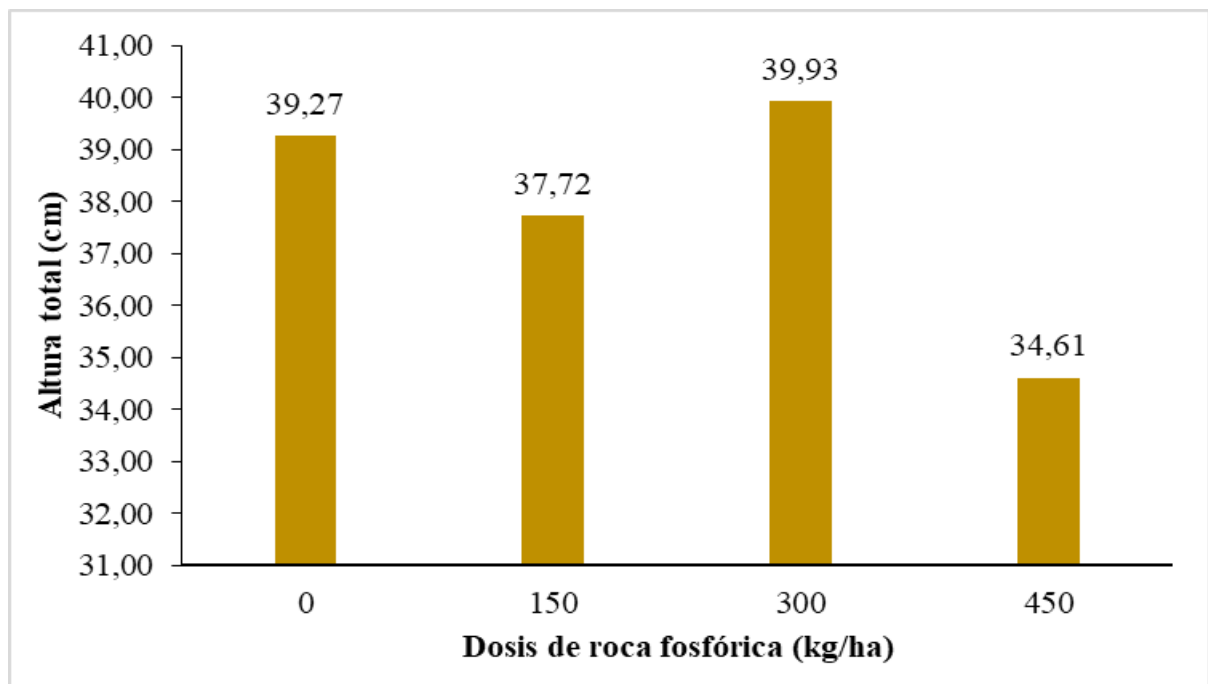


Figura 6. Altura en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mayor altura total se reportó en la *I. edulis* con de 300 kg/ha de roca fosfórica aplicado en suelo degradado (63,25 cm), al respecto Mesta (2012) ratifica que la especie es utilizada por su rápido crecimiento en suelos degradados cubriendo el área deforestada y posteriormente estableciendo otras especies; menor valor se reportó en las especies *C. cateniformis* y *L. leucocephala* aplicada dosis de 450 kg de roca fosfórica por hectárea con medias de 17,95 y 13,63 cm respectivamente, siendo la última especie mencionada recomendada por Chamorro (2000) por presentar entre una de sus características su tolerancia a las sequías. Además, todas

las especies superaron la calidad alta respecto a la altura, ya que los autores Prieto et al. (2009), Quiroz et al. (2009) y Rueda-Sánchez et al. (2014) indican que dicha variable debe presentar un valor superior a 15 cm.

4.2.3. Diámetro del tallo

En el diámetro del tallo, se observa que los mayores valores en el *S. amazonicum*, presentando valores inferiores en la *I. edulis* y ligeramente inferior se encontraban los plantones de *C. cateniformis*; en caso de la *L. leucocephala* se obtuvo resultados muy inferiores en la variable mencionada (Figura 7).

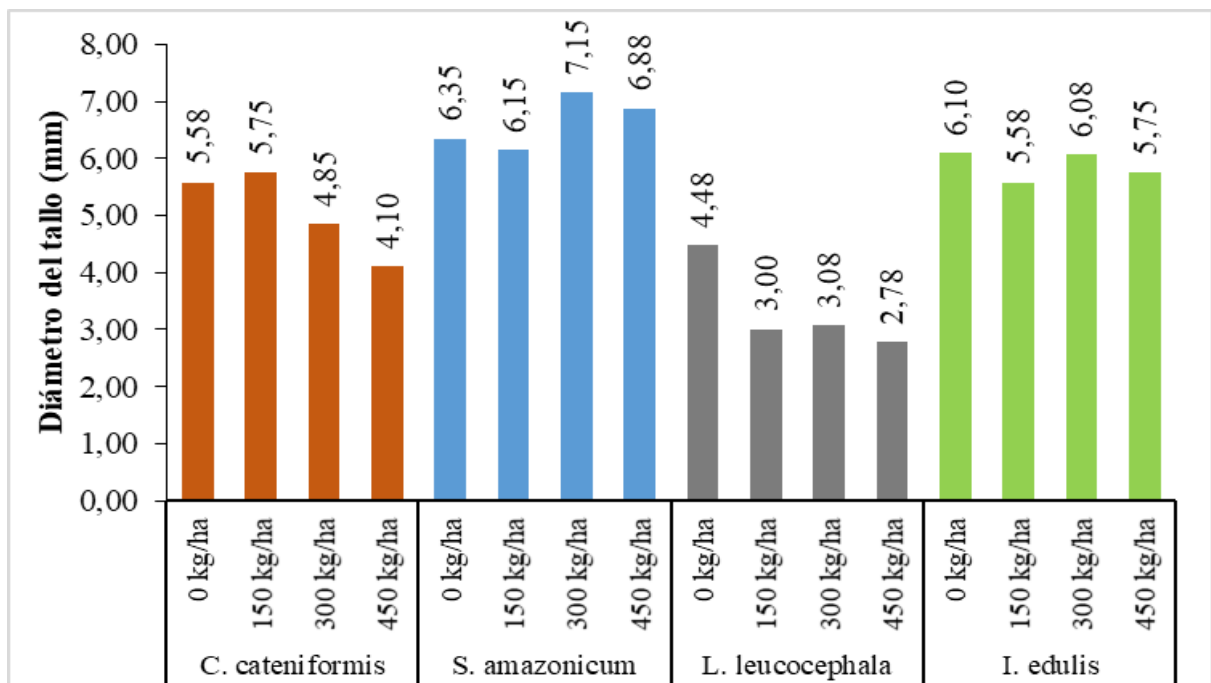


Figura 7. Diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

El uso de leguminosas establecidas en un suelo degradado bajo condiciones de vivero permanente generó diferencias estadísticas significativas en el diámetro del tallo, mientras que, en caso de las dosis de roca fosfórica utilizadas en dicho experimento, no se logró demostrar la significancia estadística; además no hubo interacción estadística significativa entre los niveles de cada factor. En caso de la variabilidad de los datos, observando el coeficiente de variación se determinó que los valores fueron homogéneos entre las repeticiones utilizados (Tabla 6).

Tabla 6. ANVA para el diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	0,962	3	0,321	32,578	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	0,048	3	0,016	1,613	0,199 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	0,126	9	0,014	1,420	0,206 ^{ns}
Error experimental	0,472	48	0,010		
Total	1,607	63			

CV = 18,98%; **: Significativo al 99%; ns: no significativo.

Las siembras de especies leguminosas en los suelos degradados bajo condiciones de vivero presentaron efectos diferentes respecto al diámetro del tallo generando se tres subconjuntos bien diferenciados, en donde la especie que fue superior presentó 6,63 mm de diámetro y pertenecía al *S. amazonicum*, siendo seguido por otra subconjunto constituido por *C. cateniformis* con una media de 5,07 mm y finalmente se encontró a la *L. leucocephala* que fue la especie con menor diámetro con un valor de 3,33 cm; en caso de la *I. edulis*, se reportó que estadísticamente obtuvo un valor de 5,88 cm, la cual lo ubicaba en una intersección de los subconjuntos que abarcaban a las especies forestales pino chuncho (variación de 0,75 cm entre ambos) y *C. cateniformis* con una variación de 0,81 cm (Tabla 7 y Figura 8).

Tabla 7. Prueba Tukey para el diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media (mm)	Subconjunto
1	<i>S. amazonicum</i>	16	6,63	a
2	<i>I. edulis</i>	16	5,88	ab
3	<i>C. cateniformis</i>	16	5,07	b
4	<i>L. leucocephala</i>	16	3,33	c

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

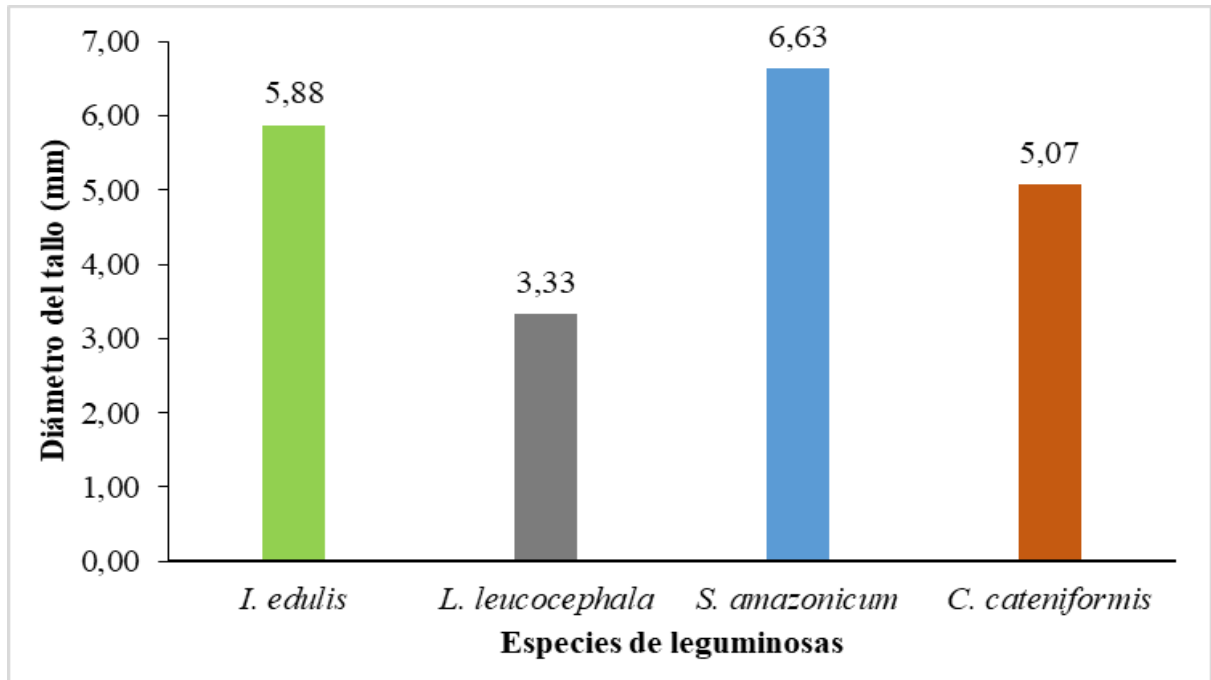


Figura 8. Diámetro del tallo en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

EL diámetro de tallo de las especies vegetales sembradas en suelos degradados no reportó diferencias estadísticas significativas, es por esto que, en base al análisis numérico, se obtuvo que el promedio más alto se encontró en las plantas sin dosificación adicional de roca fosfórica y el valor más bajo se reportó cuando la dosis de roca fosfórica fue de 450 kg/ha (Tabla 8 y Figura 9).

Tabla 8. Prueba Tukey para el diámetro del tallo en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media (mm)	Subconjunto
1	0	16	5,63	a
2	300	16	5,29	a
3	150	16	5,12	a
4	450	16	4,88	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

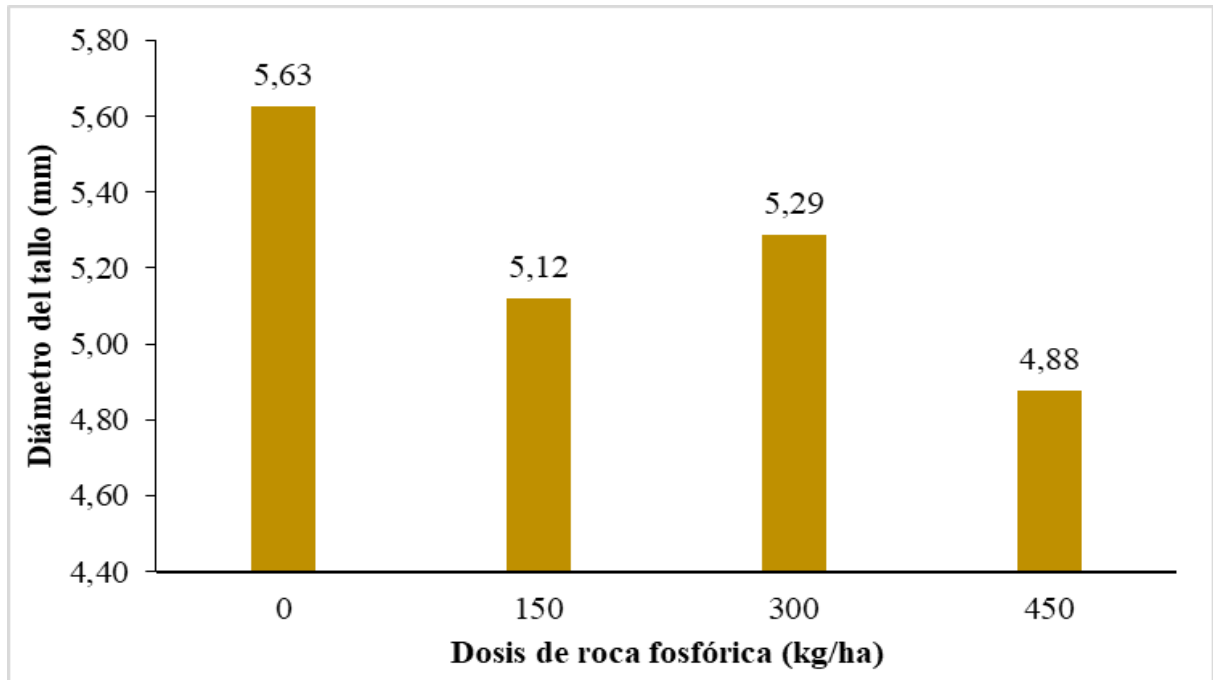


Figura 9. Diámetro del tallo en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

El diámetro del tallo superó estadísticamente en el *S. amazonicum* aplicadas una dosis de 300 kg de roca fosfórica por hectárea que reportó una media de 6,63 mm, resultados inferiores reporta Mallqui (2019) al tener individuos con medias de 4,50 mm que fueron establecidos en terreno suelos degradados, comportamiento atribuible a que en campo existen más factores que se deban controlar como la pendiente, variabilidad espacial de los suelos que no favorecen su crecimiento adecuado de las plantas. Por otra parte, Schmidt (2013) obtuvo plantones con 8,1 mm de diámetro del tallo al utilizar un suelo con mejores propiedades fisicoquímicas: 7,32 de pH y 20,28 ppm de fósforo, que ratifican a que esta especie se encuentran mucho más en suelos que fueron quemados donde los minerales se encuentran en el momento para ser aprovechados. Además, los plantones de las tres especies presentaron calidad alta con los rangos señalados por Arnold (1996) y Rueda-Sánchez et al. (2014) al superar los 5,0 mm de diámetro, a excepción de la *L. leucocephala* que no llegó a dicha categoría y se considera como plantones de calidad media.

4.2.4. Índice de robustez

EL indicador de la esbeltez o robustez en los plantones de las especies leguminosas con cuatro meses de edad, repercutió con mayor grado sobre la especie *C. cateniformis* y la *L. leucocephala*, mientras que las especies *S. amazonicum* y la *I. edulis* presentaron valores muy

elevados que les consideran como plántulas de calidad baja y presentarían limitaciones de crecimiento inicial en terreno definitivo por la etiolación que presentaban (Figura 10).

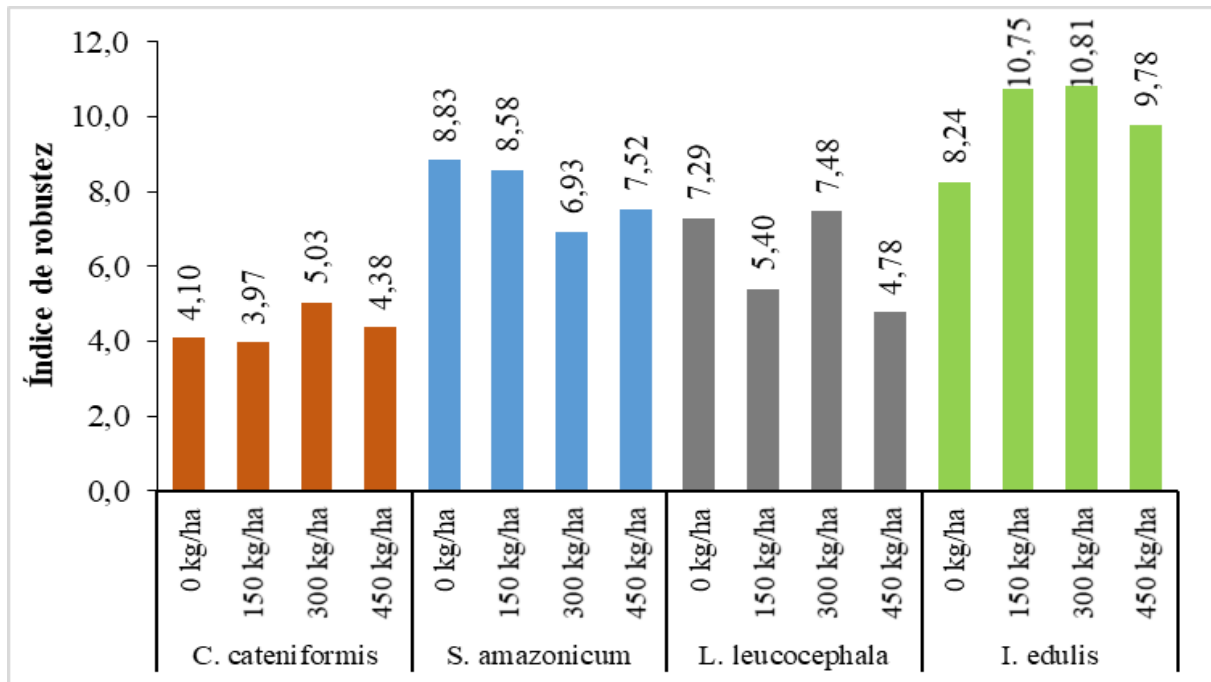


Figura 10. Índice de robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En el ANVA para la robustez, se demuestra que el uso de especies leguminosas en suelos degradados repercutió de manera significativa sobre la robustez de las mismas; en caso de la aplicación de diferentes dosis de la roca fosfórica, no se encontró diferencias estadísticas significativas, mientras que, al combinar los factores en estudio, se reporta interacción estadística. Los datos referidos a la robustez fueron homogéneos en las repeticiones establecidas (Tabla 9).

Tabla 9. ANVA para la robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	268,445	3	89,482	46,055	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	7,272	3	2,424	1,248	0,303 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	44,160	9	4,907	2,525	0,019*
Error experimental	93,260	48	1,943		
Total	413,138	63			

CV = 19,59%; **: Significativo al 99%; *: significativo al 95%; ns: no significativo.

En la comparación de medias para las especies en estudio, se observa cuatro subconjuntos generados, siendo superior *C. cateniformis* debido a que reportó una media de 4,37 calificado como plantones de calidad alta, seguido de otro subconjunto conformado por la *L. leucocephala* con una media de 6,24 catalogado como calidad media, seguido por el subconjunto conformado por el *S. amazonicum* con una media de 7,97 categorizado como de calidad media y finalmente se encontraba el cuatro subconjunto conformada por la especie *I. edulis* con un valor de 9,90 que lo consideran dentro de la categorización como plantones con calidad baja referido al índice de robustez o esbeltez (Tabla 10 y Figura 11).

Tabla 10. Prueba Tukey para la robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media	Subconjunto
1	<i>C. cateniformis</i>	16	4,37	a
2	<i>L. leucocephala</i>	16	6,24	b
3	<i>S. amazonicum</i>	16	7,97	c
4	<i>I. edulis</i>	16	9,90	d

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

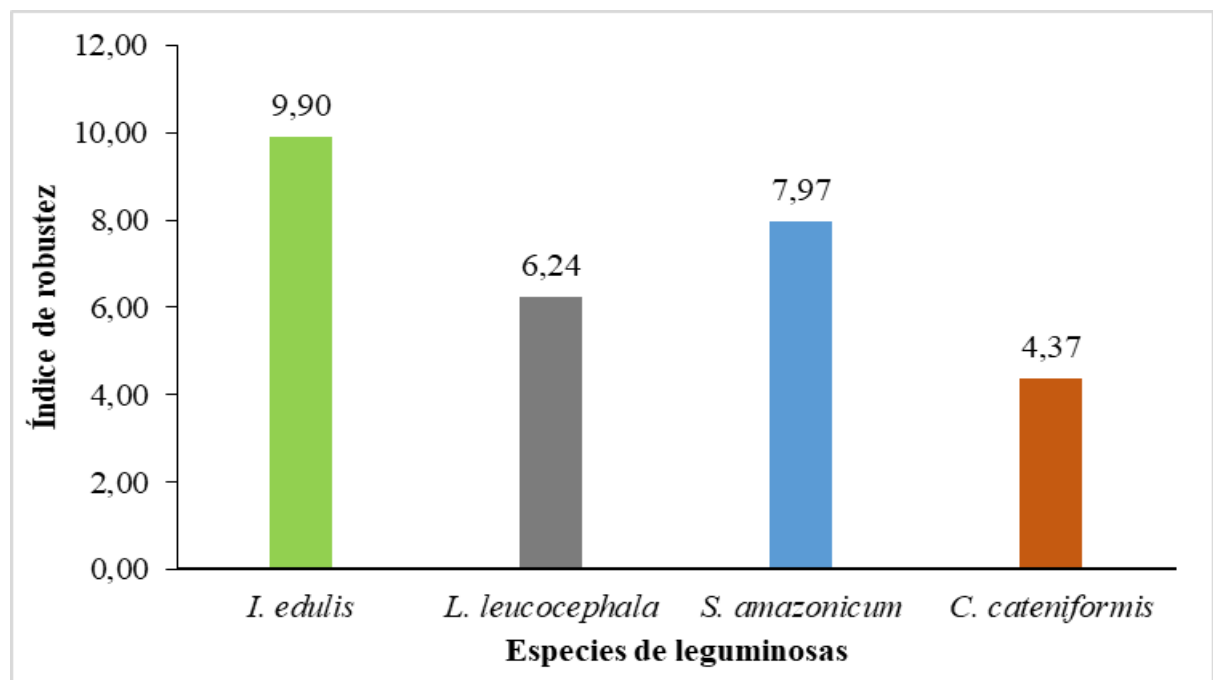


Figura 11. Robustez en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

En caso de las dosis de fósforo aplicado a los suelos degradados, no se reportó significancia estadística, siendo notorio numéricamente que, al aplicar 450 kg/ha de roca

fosfórica se obtuvo plantones con un índice de 6,62 que se consideran como plantones de calidad media; en caso de las demás dosificaciones de fósforo también se registró que dichos plantones presentaron calidad media de robustez (Tabla 11 y Figura 12).

Tabla 11. Prueba Tukey para el índice de robustez en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media	Subconjunto
1	450	16	6,62	a
2	0	16	7,12	a
3	150	16	7,17	a
4	300	16	7,56	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

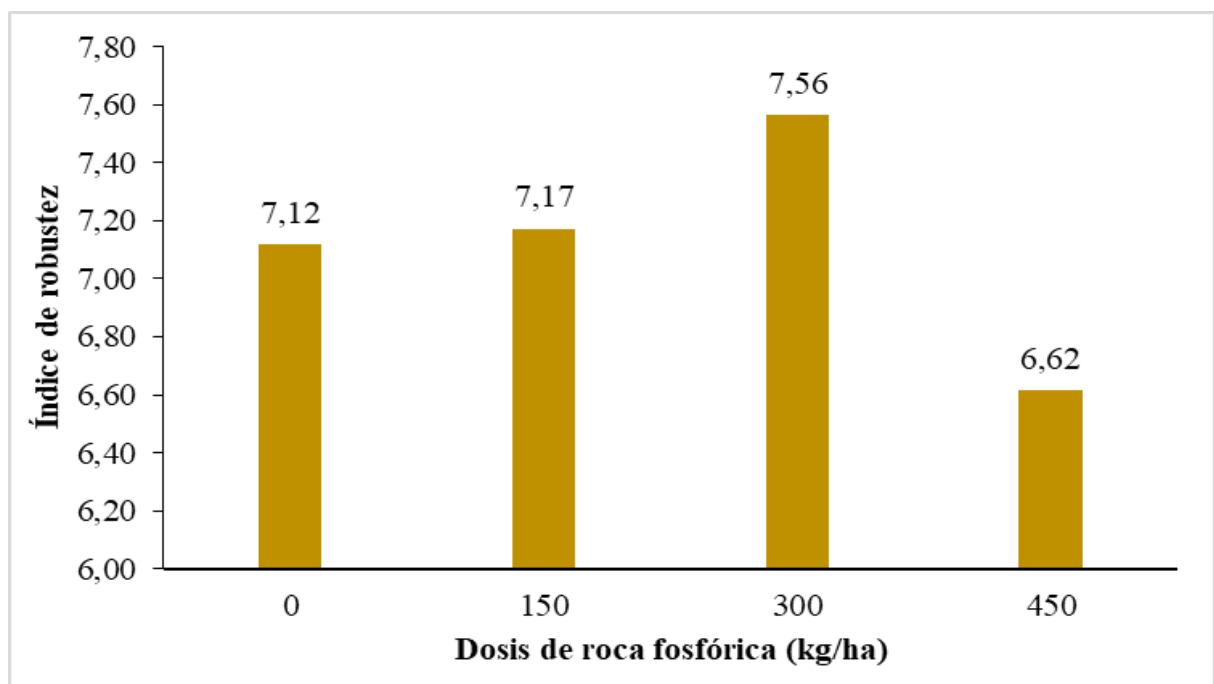


Figura 12. Índice de robustez en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Todos los plantones de *C. cateniformis* registraron la calidad alta respecto a su robustez, debido que no superaron el valor de 6,0 considerados por Rueda-Sánchez et al. (2014), esto ratifica un buen comportamiento de esta especie respecto a la relación entre la resistencia de la planta (diámetro) con la capacidad fotosintética (altura), en caso de la *I. edulis* fueron individuos de calidad baja debido a que si se le lleva al campo pueden doblarse a consecuencia de los

vientos o al excesivo follaje y perjudicar su crecimiento normal, esto se corregiría con el distanciamiento entre bolsas o llevarlas a campo con una menor edad.

4.2.5. Cantidad de hojas

Los plantones con mayor cantidad de hojas fueron sobresalientes en las especies de *I. edulis* y *L. leucocephala*, siendo notorio dicha superioridad en todos los niveles de fósforo aplicados; en caso de las especies con menor cantidad de hojas se les observó en las especies como *C. cateniformis* y el *S. amazonicum* (Figura 13).

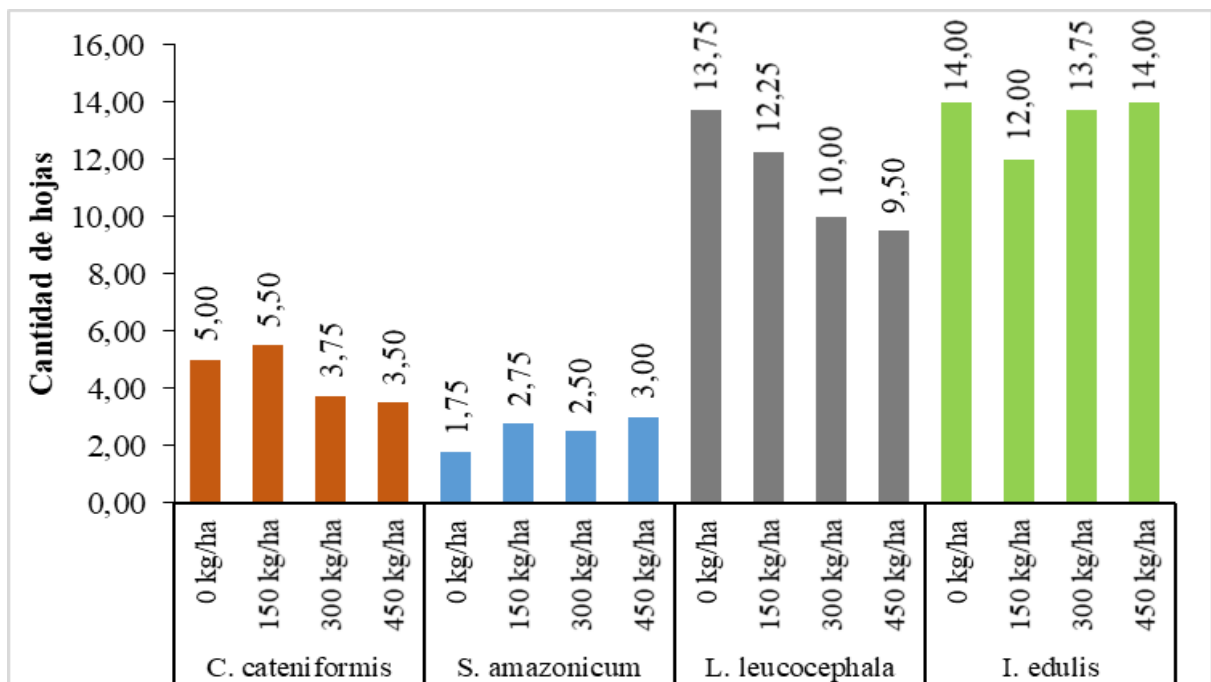


Figura 13. Cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En el análisis de la varianza para la cantidad de hojas presentes en los plantones, demuestra que las especies leguminosas presentaron efectos estadísticos significativos; en caso de la aplicación de las dosis de fósforo al suelo degradado, no se reporta diferencias estadísticas significativas; además, no se demostró interacción significativa entre los niveles de ambos factores en estudio. Además, en esta variable, se registró que los datos correspondientes a cada repetición como a cada combinación fueron muy heterogéneos por ser representados con 46,02% del coeficiente de variación (Tabla 12).

Tabla 12. ANVA para la cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	1342,125	3	447,375	33,527	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	14,250	3	4,750	0,356	0,785 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	58,875	9	6,542	0,490	0,874 ^{ns}
Error experimental	640,500	48	13,344		
Total	2055,750	63			

CV = 46,02%; **: Significativo al 99%; ns: no significativo.

En la comparación de medias correspondiente a la cantidad de hojas por cada plantón con edad de cuatro meses desde la siembra, se encontró estadísticamente a dos subconjuntos bien enmarcados, siendo el primero conformados por las especies de *I. edulis* y la *L. leucocephala* con medias de 13,44 y 11,38 hojas por plantón respectivamente; en caso del siguiente y último subconjunto lo conformaron las especies forestales de *C. cateniformis* y el *S. amazonicum* con promedios de 4,44 y 2,50 hojas por plantón respectivamente. Este comportamiento es atribuido a que las especies presentan diferentes tamaños de hojas, siendo las más pequeñas en la *L. leucocephala* y dimensiones de hojas grandes como lo encontrado por la *I. edulis* y *C. cateniformis* (Tabla 13 y Figura 14).

Tabla 13. Prueba Tukey para la cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media (hojas/plantón)	Subconjunto
1	<i>I. edulis</i>	16	13,44	a
2	<i>L. leucocephala</i>	16	11,38	a
3	<i>C. cateniformis</i>	16	4,44	b
4	<i>S. amazonicum</i>	16	2,50	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

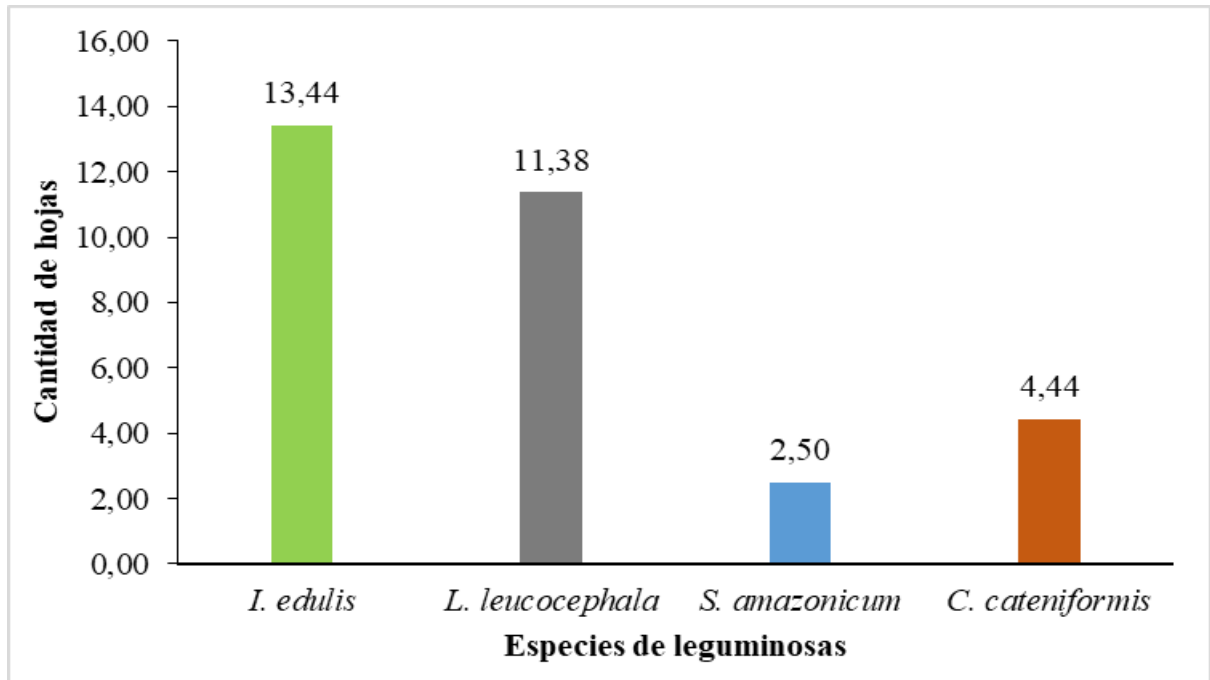


Figura 14. Cantidad de hojas en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Debido a la ausencia de diferencias estadísticas significativas en la cantidad de hojas por la aplicación de los niveles de fósforo utilizados, se realizó un análisis numérico, en donde al no aplicarse ninguna dosis de fósforo se obtuvieron plantones con mayor cantidad de hojas, mientras que, al aplicar 450 kg/ha de roca fosfórica, los plantones presentan menor cantidad de hojas (Tabla 14 y Figura 15).

Tabla 14. Prueba Tukey para la cantidad de hojas en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media (hojas/plantón)	Subconjunto
1	0	16	8,63	a
2	150	16	8,13	a
3	300	16	7,50	a
4	450	16	7,50	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

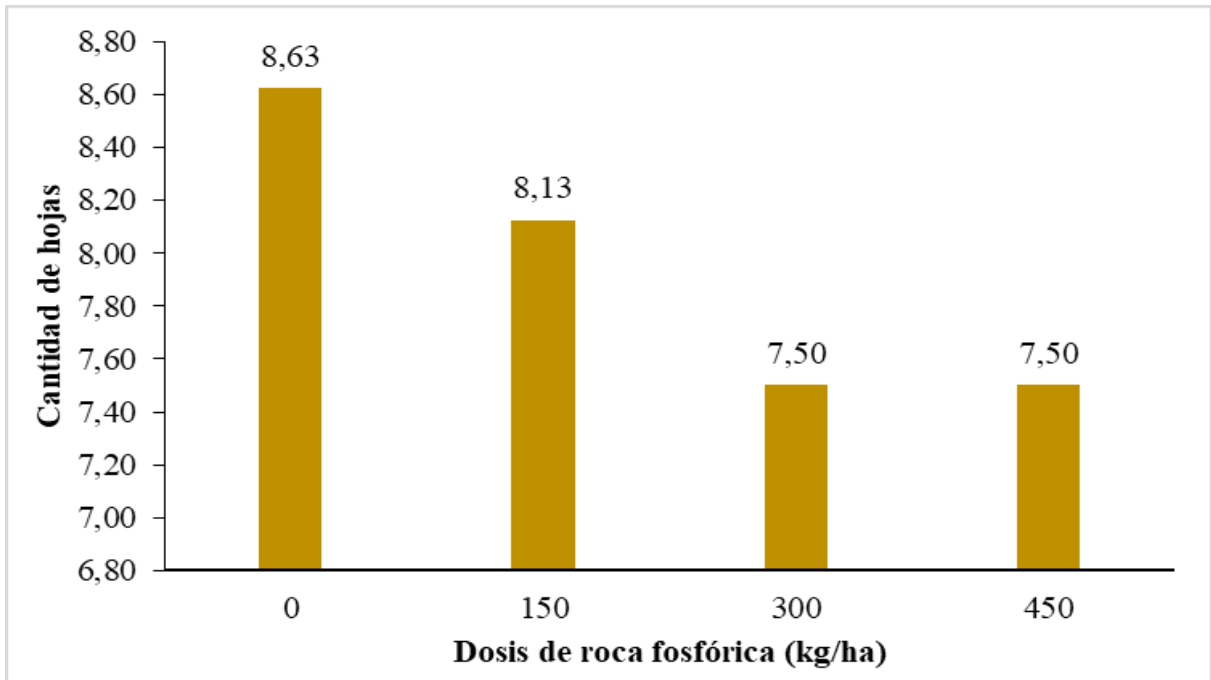


Figura 15. Cantidad de hojas en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Menor cantidad de hojas se registró en *C. cateniformis* y el *S. amazonicum*, esto es característico de las especies, pero es debido a la competencia entre individuos se empiezan a defoliar como lo reporta Isla (2013) al encontrar hojas en *S. amazonicum* hasta 3,68 hojas a consecuencia del sustrato y la competencia entre individuos.

4.2.6. Volumen radicular

Otra de las características de las especies vegetales establecidos en suelos degradados es la cantidad y tamaño del sistema radicular, esto es traducido en las mediciones del volumen radicular; al respecto, la especie que reportó mayor volumen radicular fue la *I. edulis*, mientras que en menor medida se observó en la *L. leucocephala* para las dosis de fósforo provenientes de la roca fosfórica aplicado en fase de vivero (Figura 16).

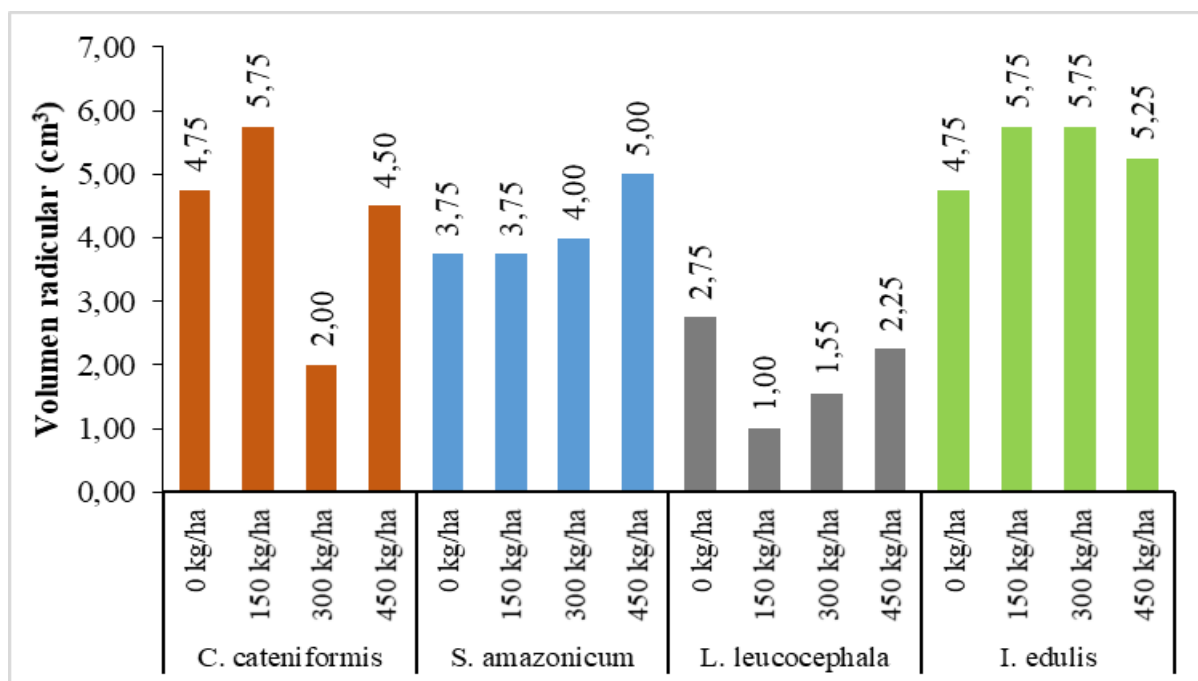


Figura 16. Volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En la contrastación de hipótesis, se observa que el uso de las diferentes especies leguminosas presentó diferencias estadísticas significativas respecto al volumen del sistema radicular, en caso de la aplicación de los niveles de fósforo al suelo, no se registró diferencias estadísticas significativas; además, no se encontró interacción estadística entre los niveles de ambos factores en estudio. En caso de las repeticiones, se encontró alta variabilidad de los datos entre repeticiones y entre tratamientos traduciéndose en un coeficiente de variación del 53,05% (Tabla 15).

Tabla 15. ANVA para el volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	102,377	3	34,126	7,935	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	7,827	3	2,609	0,607	0,614 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	36,781	9	4,087	0,950	0,492 ^{ns}
Error experimental	206,430	48	4,301		
Total	353,414	63			

CV = 53,05%; **: Significativo al 99%; ns: no significativo.

El establecimiento de especies leguminosas en suelos degradados generó estadísticamente dos subconjuntos bien diferenciados, siendo el primero de ellos conformados por las especies de *I. edulis*, *C. cateniformis* y el *S. amazonicum* con medias de 5,38, 4,25 y 4,13 cm³ respectivamente (Tabla 16 y Figura 17).

En caso de un segundo y menor subconjunto, estuvo conformada por la especie *L. leucocephala* que solo reportó una media de 189 cm³ en plántulas con cuatro meses de edad (Tabla 16 y Figura 17).

Tabla 16. Prueba Tukey para el volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media (cm ³)	Subconjunto
1	<i>I. edulis</i>	16	5,38	a
2	<i>C. cateniformis</i>	16	4,25	a
3	<i>S. amazonicum</i>	16	4,13	a
4	<i>L. leucocephala</i>	16	1,89	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

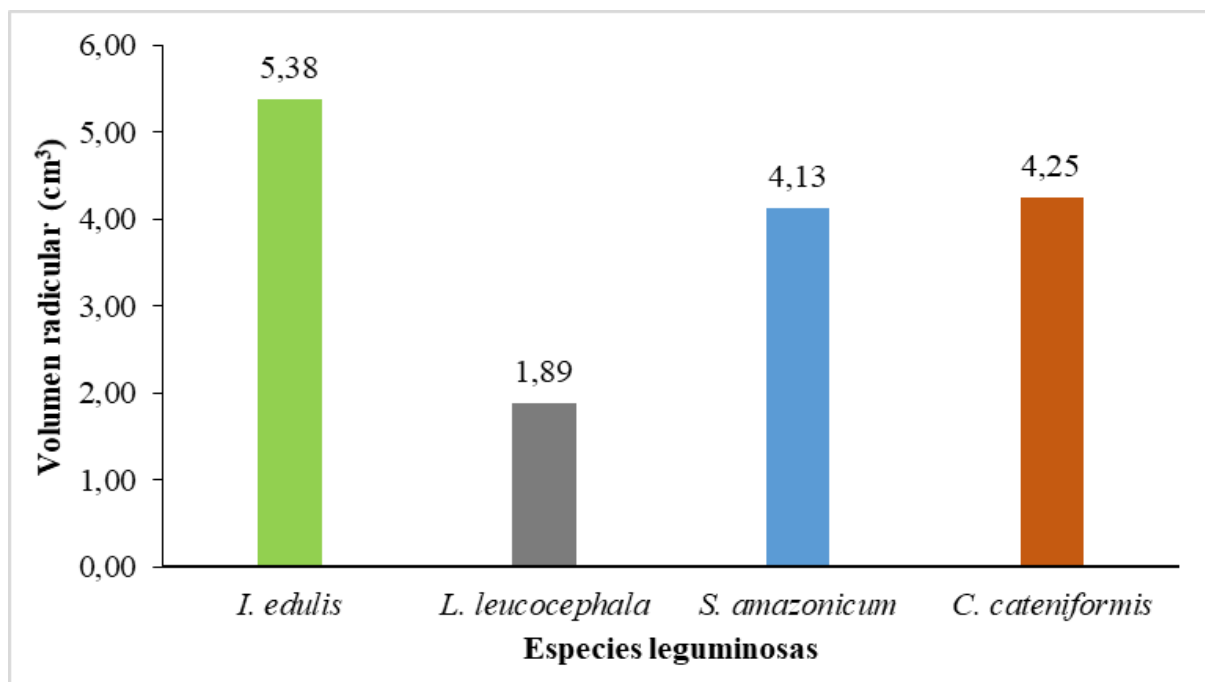


Figura 17. Volumen radicular en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

En caso de comparar las dosis de fósforo aplicado, no se logró demostrar efectos estadísticos significativos, motivo por el cual se realizó una comparación numérica, en donde

las cuatro especies de leguminosas obtuvieron una media de 4,25 cm³ al utilizar la dosificación de 450 kg/ha de roca fosfórica (Tabla 17 y Figura 18).

Tabla 17. Prueba Tukey para el volumen radicular en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media (cm ³)	Subconjunto
1	450	16	4,25	a
2	150	16	4,06	a
3	0	16	4,00	a
4	300	16	3,33	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

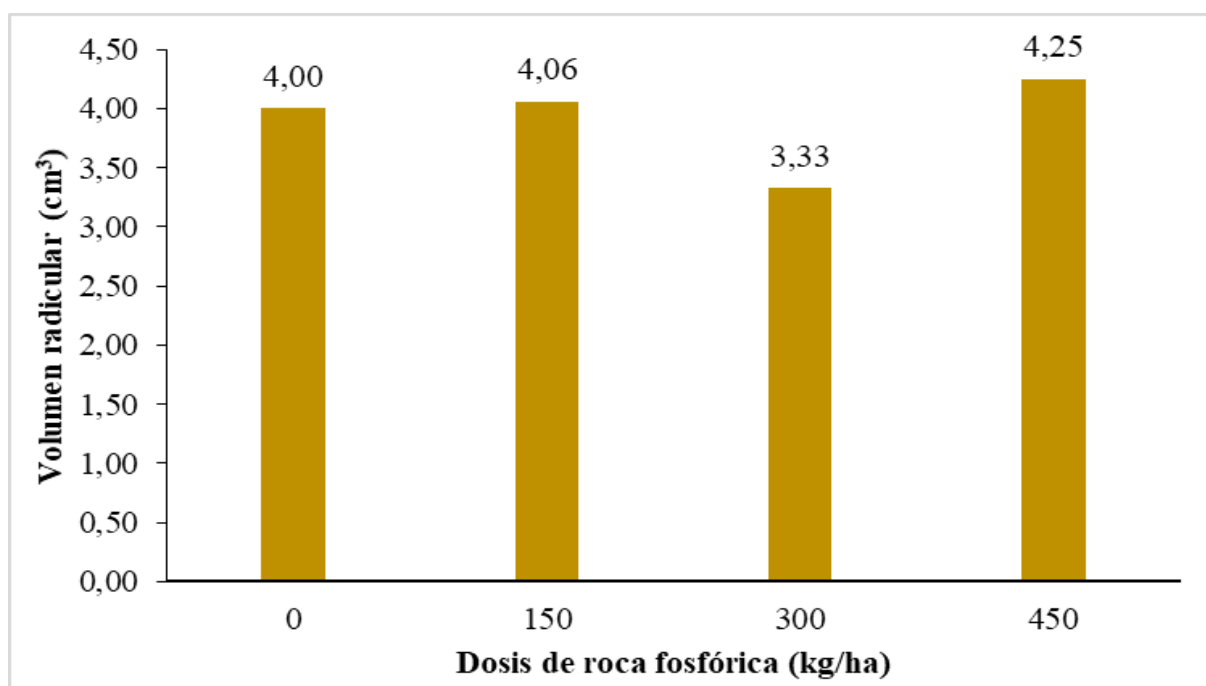


Figura 18. Volumen radicular en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

La *I. edulis* registró mayor volumen radicular al utilizarse 150 y 300 kg/ha de roca fosfórica con medias de 5,75 cm³ para ambas dosis, esto determina la capacidad de dicha especie para establecerse en suelos degradados y garantizar su supervivencia (Mesta, 2012) por registrar mayor número y longitud de raíces laterales así como la raíz principal significaría mejoras en la estabilidad de la planta y con mayor capacidad exploratoria de la parte superior e inferior del suelo para mantener el estado hídrico (Quiroz et al., 2009).

Los plantones de *I. edulis* con mayor tamaño y cantidad de raíces fue favorecido por alcanzar en mayor medida el fósforo disponible que fueron aplicados al suelo degradado debido a que para Fernández (2007) la disponibilidad del fósforo en las plantas se ve influenciada a que sus raíces son capaces de modificar la concentración de iones en su entorno más próximo debido a la segregación de exudados radiculares, sustancias orgánicas, que contienen una proporción elevada de ácidos quelantes, que pueden intercambiarse con el fósforo superficial, pasando éste a la disolución, de donde puede ser adsorbido por el vegetal.

4.2.7. Biomasa

Otra de las variables de suma importancia refiere a la biomasa o leño acumulado en los tejidos vegetales, en este aspecto sobresalieron dos especies, siendo los primeros la *I. edulis* a pesar que recibieron dosificación de fósforo y también el control (sin dosis), siendo seguido por el *S. amazonicum*; en caso de las especies leguminosas con menor biomasa se encuentran *C. cateniformis* y la *L. leucocephala* (Figura 19).

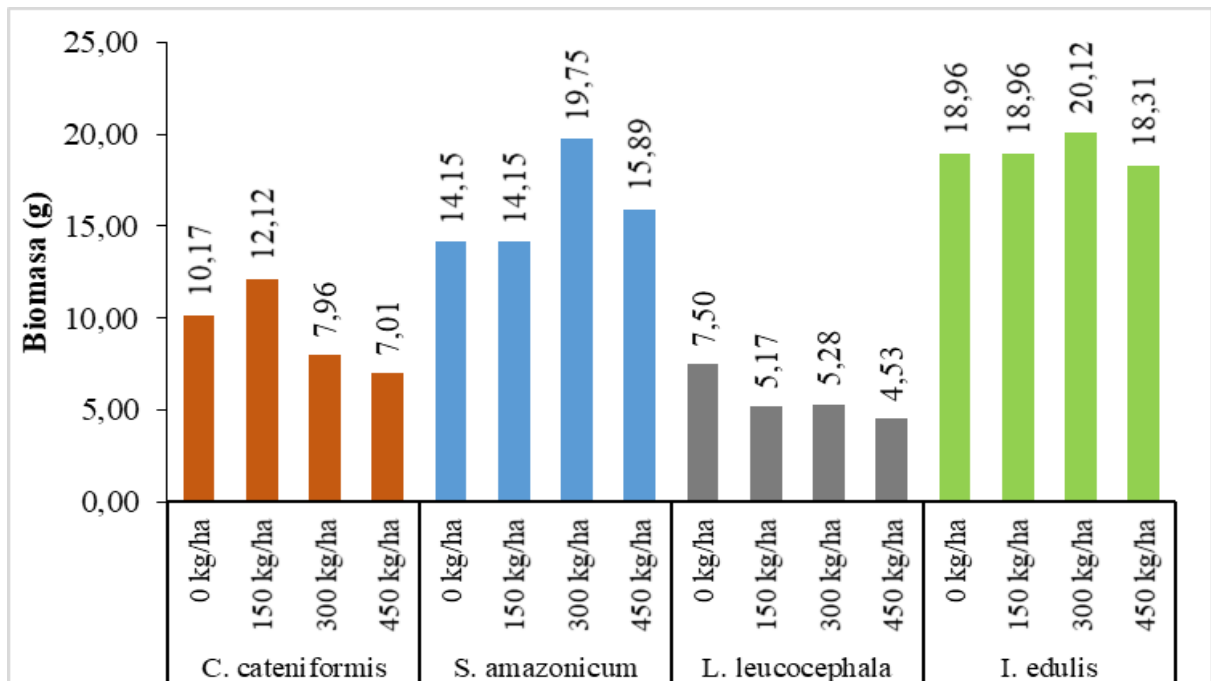


Figura 19. Biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En el análisis de la varianza se contrasta la hipótesis correspondiente a la biomasa de los plantones, en donde se tiene que la siembra de las especies leguminosas en suelos degradados repercutió de manera significativa sobre la biomasa o peso seco; en caso de aplicar

diferentes dosis de fósforo, no presentó diferencias estadísticas significativas; además, no se reportó interacción estadística entre los niveles de ambos factores en estudio. En caso de la variabilidad de los datos respecto a la variable mencionada, se observa que tanto las repeticiones como los tratamientos generados en el estudio fueron muy variables (Tabla 18).

Tabla 18. ANVA para la biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	1807,774	3	602,591	26,320	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	28,579	3	9,526	0,416	0,742 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	144,852	9	16,095	0,703	0,703 ^{ns}
Error experimental	1098,970	48	22,895		
Total	3080,175	63			

CV = 38,27%; **: Significativo al 99%; ns: no significativo.

En la comparación de medias se generó estadísticamente dos subconjuntos con las especies de leguminosas a los cuatro meses de edad, en donde para el primer caso se agruparon a las especies de *I. edulis*, y el *S. amazonicum* con medias de 19,09 y 15,98 g por plantón respectivamente; mientras que el segundo subconjunto también lo conformaron dos especies como son el caso de *C. cateniformis* y la *L. leucocephala* en donde las medias fueron de 9,31 y 5,62 g por plantón respectivamente (Tabla 19 y Figura 20).

Tabla 19. Prueba Tukey para la biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media (g/plantón)	Subconjunto
1	<i>I. edulis</i>	16	19,09	a
2	<i>S. amazonicum</i>	16	15,98	a
3	<i>C. cateniformis</i>	16	9,31	b
4	<i>L. leucocephala</i>	16	5,62	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

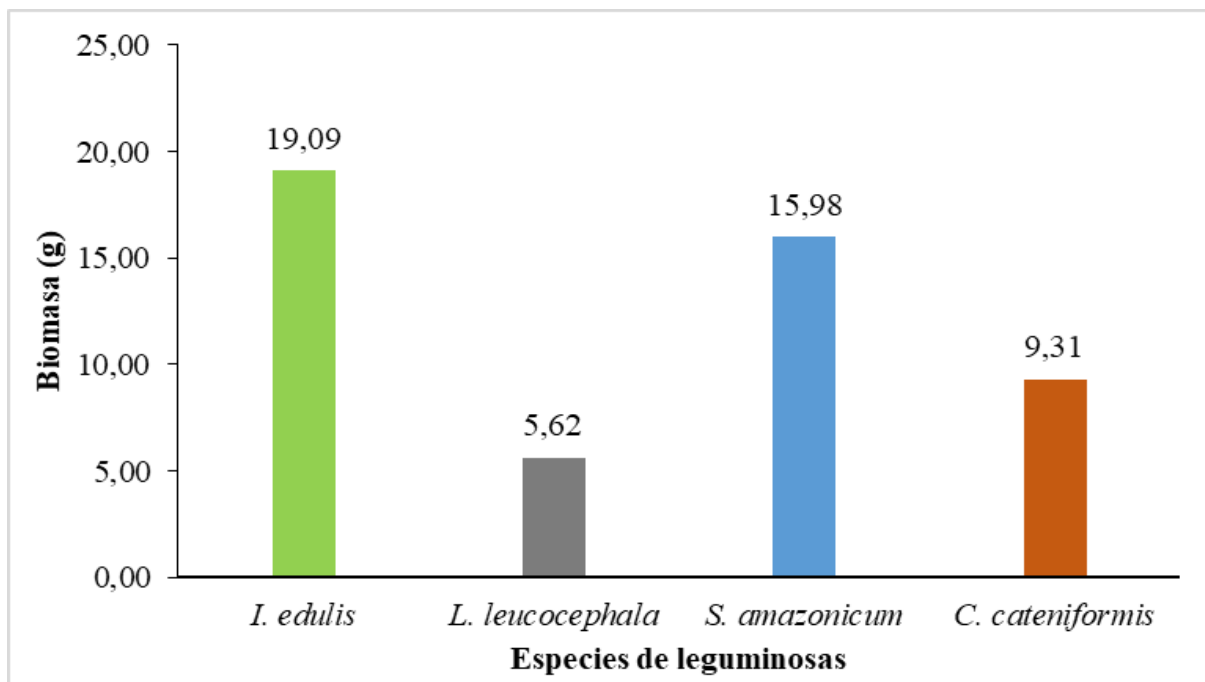


Figura 20. La biomasa en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

En caso de las dosis de fósforo utilizado, no se logró encontrar diferencias estadísticas significativas, es por el cual que se realizó una comparación numérica, en donde mayor biomasa presentaron los plantones de las especies de leguminosas que contenías en el suelo 300 kg/ha de roca fosfórica con una media de 13,28 g/plantón (Tabla 20 y Figura 21).

Tabla 20. Prueba Tukey para la biomasa en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media (g/plantón)	Subconjunto
1	300	16	13,28	a
2	0	16	12,69	a
3	150	16	12,60	a
4	450	16	11,43	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

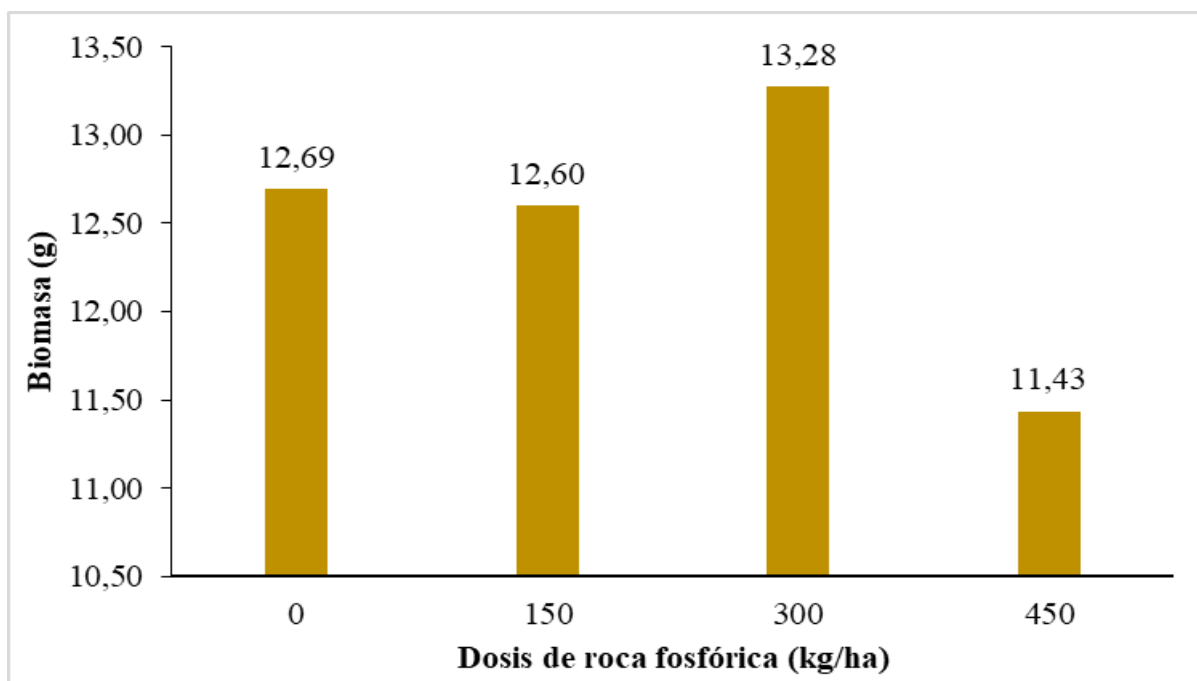


Figura 21. Biomasa en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

La biomasa fue mayor en la *I. edulis* y el *S. amazonicum*, especies que a pesar de encontrarse en suelos degradados presentaron alta superficie fotosintética, área de transpiración y representa su capacidad para el almacenamiento de carbohidratos (Prieto et al., 2009 y Quiroz et al., 2009), dichas características son favorables para disminuir la mortalidad y el crecimiento de las plantas en terreno definitivo; menor biomasa se observó en los plántones de *L. leucocephala*, esto puede ser atribuido al pequeño tamaño de los folíolos en comparación a las otras especies, a pesar que Espinoza y Gil (1999) reportan aportes de biomasa hasta 21 toneladas por hectárea.

4.2.8. Relación BPA/BPR

La relación obtenida entre la biomasa de la parte aérea (vástago) con la biomasa del sistema radicular fueron superiores en los plántones de *I. edulis*, muy cercano a dichos valores se reporta en la especie *S. amazonicum*, estos valores elevados fueron debido a que ambas especies presentaron en el vástago más del doble de la biomasa radicular; en caso de *C. cateniformis* y la *L. leucocephala* se observó menores valores promedios (Figura 22).

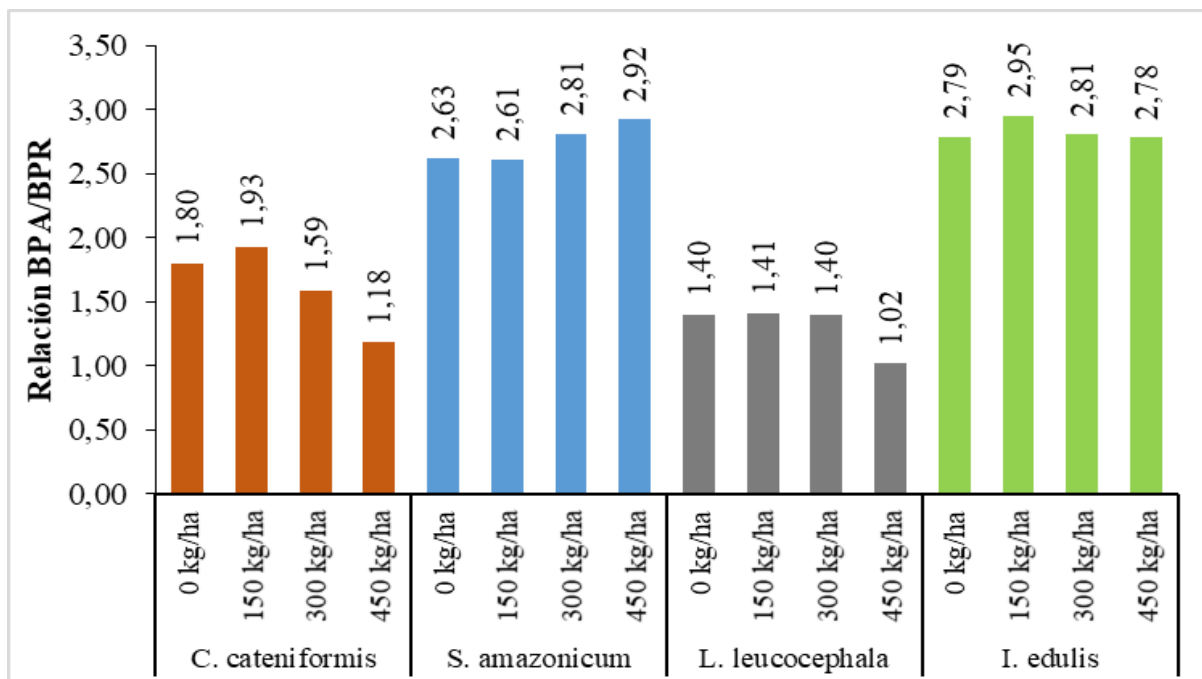


Figura 22. Relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

En la contrastación de hipótesis, se observa que el uso de las diferentes especies de leguminosas originó diferencias estadísticas significativas respecto a la relación BPA/BPR, en caso del factor dosis de roca fosfórica utilizado en los suelos degradados, no se registró diferencias estadísticas significativas; mientras que, en asunto de los niveles correspondientes a los factores en estudio, no se encontró interacción estadística. La variabilidad de los datos fue heterogénea debido a que el coeficiente de variación del 25,54% (Tabla 21).

Tabla 21. ANVA para la relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	28,789	3	9,596	32,533	<0,001**
Dosis de roca fosfórica	0,548	3	0,183	0,619	0,606 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	1,530	9	0,170	0,576	0,810 ^{ns}
Error experimental	14,159	48	0,295		
Total	45,026	63			

CV = 25,54%; **: Significativo al 99%; ns: no significativo.

En la comparación de medias, se presenta que la relación BPA/BPR generó estadísticamente dos subconjuntos diferentes, englobando en el primer grupo a las especies *I.*

edulis y el *S. amazonicum* con medias de 2,83 y 2,74 respectivamente, valores característicos de las especies que presentan mayor parte aérea en comparación al sistema radicular; en el segundo subconjunto se encontraron las especies *C. cateniformis* y la *L. leucocephala* con medias de 1,62 y 1,31 respectivamente, los cuales indican que el peso seco de la parte aérea en *C. cateniformis* es de 1,62 veces más a la del sistema radicular (Tabla 22 y Figura 23).

Tabla 22. Prueba Tukey para la relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media	Subconjunto
1	<i>I. edulis</i>	16	2,83	a
2	<i>S. amazonicum</i>	16	2,74	a
3	<i>C. cateniformis</i>	16	1,62	b
4	<i>L. leucocephala</i>	16	1,31	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

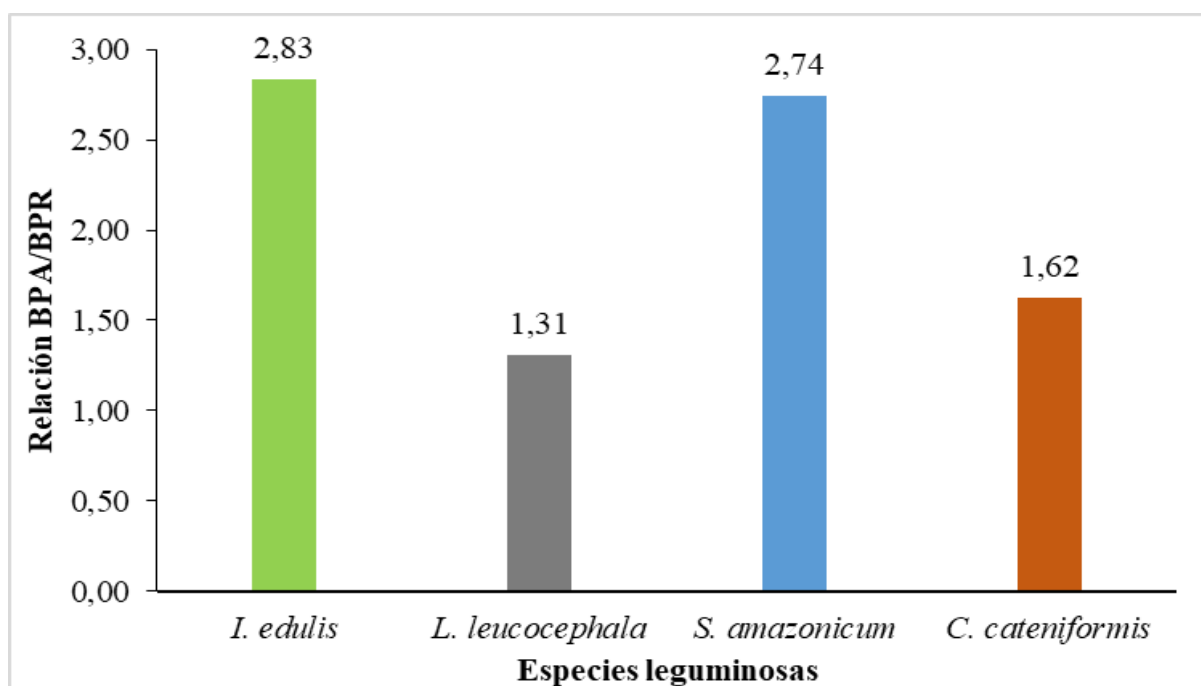


Figura 23. La relación BPA/BPR en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

En caso de considerar la aplicación del fósforo en diferentes dosis sobre suelos degradados no generó diferencias estadísticas significativas sobre la relación BPA/BPR, es por esto que el análisis se realizó en base a los valores promedios, en donde el mayor promedio se observó en los individuos de las cuatro especies de leguminosas que fueron tratadas con 150 kg/ha de roca fosfórica (Tabla 23 y Figura 24).

Tabla 23. Prueba Tukey para la relación BPA/BPR en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media	Subconjunto
1	150	16	2,23	a
2	0	16	2,15	a
3	300	16	2,15	a
4	450	16	1,98	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

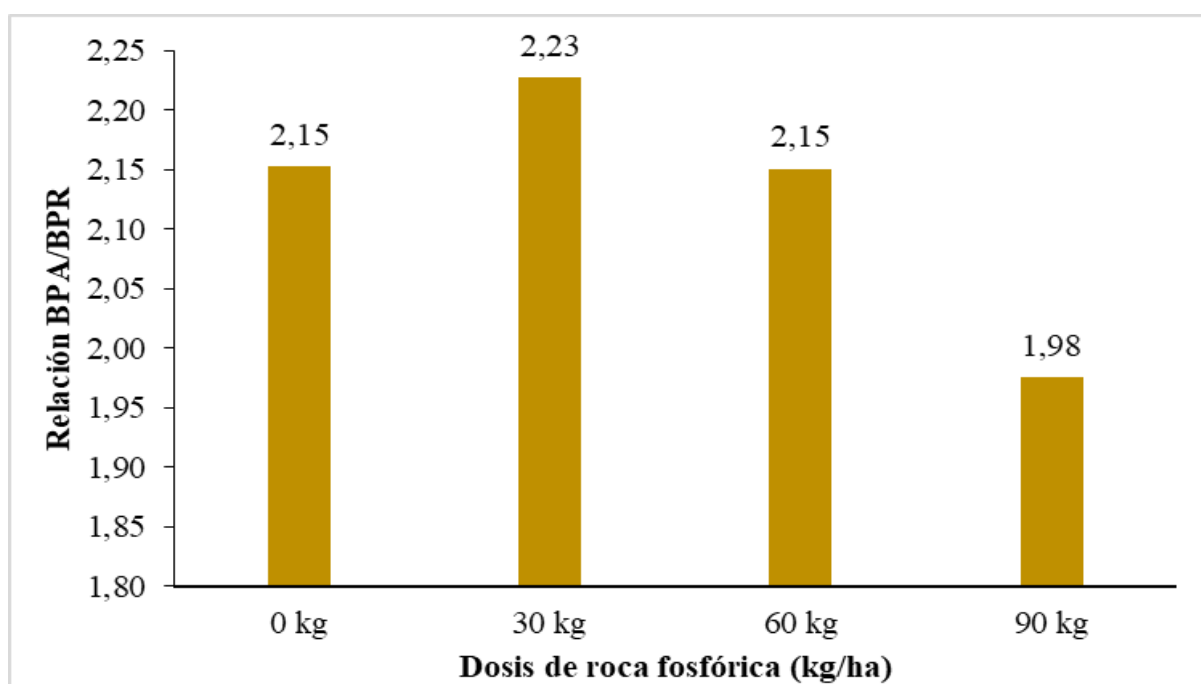


Figura 24. La relación BPA/BPR en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

La ventaja de tener especies con mayor biomasa en suelos degradados puede favorecer a la hojarasca que puedan aportar como lo sería la *I. edulis*, ya que para Tapia y García (2013), los residuos orgánicos de las plantas se pueden mineralizarse por acción de enzimas de origen microbiano o vegetal y aportar fósforo al suelo degradado, siendo para Cross y Schlesinger (2001) la única fuente natural de fósforo en suelos intemperizados. Además del aporte, las leguminosas favorecerán la presencia de microorganismos en el suelo degradado, que según Pérez et al. (2012) existen hongos y bacterias que contienen fósforo, de los cuales, aproximadamente de 30% a 50% está en el ARN y puede ser incorporado al suelo para mejorar el ciclo de los nutrientes.

4.2.9. Índice de calidad de Dickson (ICD)

El indicador de la calidad de plántones a los cuatro meses de sembrado no repercutió de manera específica al considerar las especies leguminosas, tampoco fue resaltante en alguna dosis de fósforo aplicados a los suelos degradados a nivel de vivero; además, el mayor valor se encontró en el *S. amazonicum* que fueron tratadas con 300 kg/ha de roca fosfórica y en caso del menor valor se reportó en la laucaena fertilizada con dosis similar de fósforo que el tratamiento que reportó mayor promedio (Figura 25).

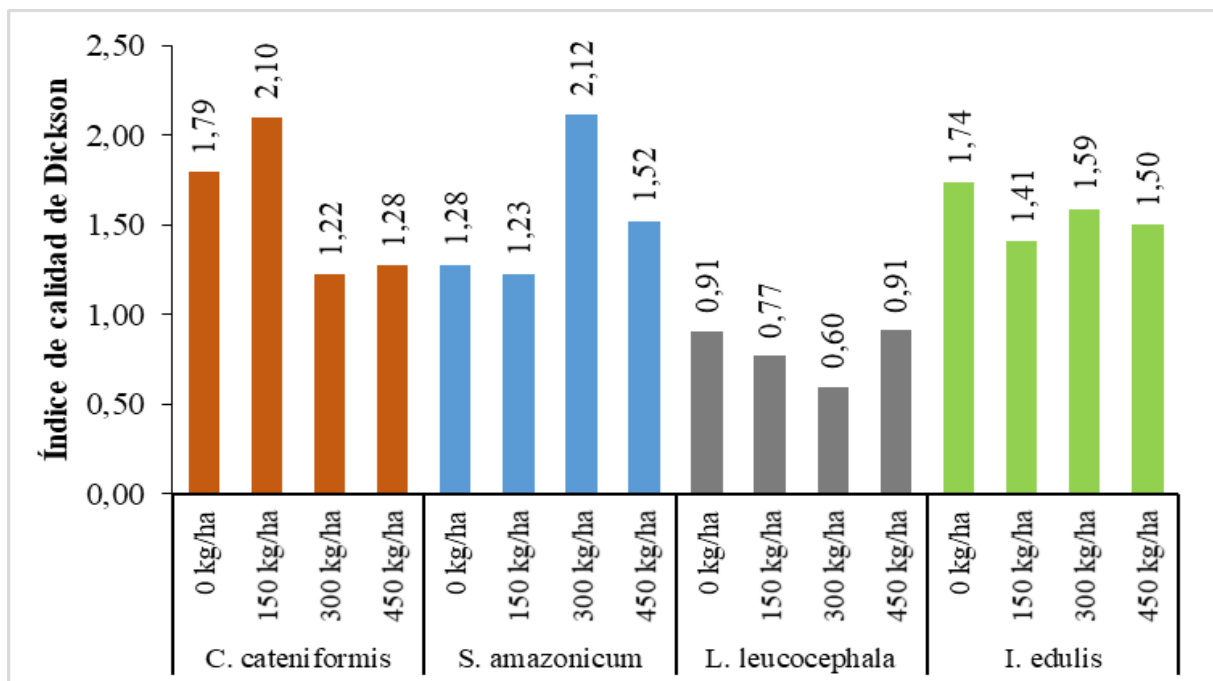


Figura 25. Índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Al contrastar la hipótesis se tiene que, el uso de leguminosas en suelos degradados genera diferencias estadísticas significativas sobre el índice de calidad de Dickson, en caso del factor dosis de roca fosfórica aplicado a los suelos degradados, no se logró demostrar significancia estadística para la variable mencionada; en caso de los niveles correspondientes a cada factor en estudio, se tiene que no existe interacción estadística significativa. Además, los datos fueron muy variables para el índice de calidad de Dickson (Tabla 24).

Tabla 24. ANVA para el índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado y con dosis de la roca fosfórica.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Leguminosas	7,119	3	2,373	6,581	0,001**
Dosis de roca fosfórica	0,133	3	0,044	0,123	0,946 ^{ns}
Leguminosas x dosis de roca fosfórica	4,509	9	0,501	1,389	0,219 ^{ns}
Error experimental	17,309	48	0,361		
Total	29,071	63			

CV = 43,74%; **: significativo al 99%; ns: no significativo.

En la comparación de medias, se obtuvo que la calidad de Dickson se encontraba agrupada en dos subconjuntos, siendo la primera constituida por las especies leguminosas *C. cateniformis*, *I. edulis* y el *S. amazonicum* con medias de 1,60, 1,56 y 1,54 respectivamente; mientras que el siguiente y menor subconjunto lo constituyó la especie *L. leucocephala* en donde la media obtenida fue de 0,80 correspondiente al índice de calidad de Dickson para los plantones con una edad de cuatro meses desde la siembra monitoreados bajo condiciones de vivero (Tabla 25 y Figura 26).

Tabla 25. Prueba Tukey para el índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

Mérito	Especies leguminosas	N	Media	Subconjunto
1	<i>C. cateniformis</i>	16	1,60	a
2	<i>I. edulis</i>	16	1,56	a
3	<i>S. amazonicum</i>	16	1,54	a
4	<i>L. leucocephala</i>	16	0,80	b

Letras diferentes indican significancia estadística entre especies.

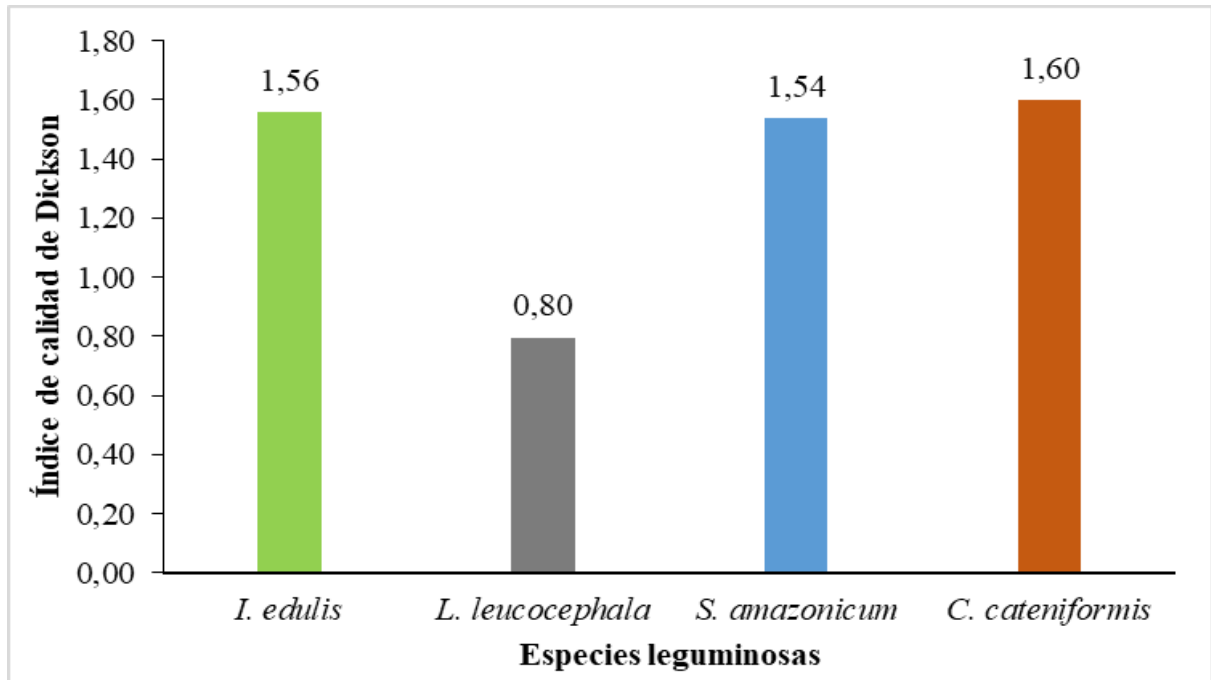


Figura 26. El índice de calidad de Dickson en especies leguminosas producidas en suelo degradado.

En el factor dosis de fósforo no se registró diferencias estadísticas, motivo por el cual, numéricamente se reportó mayor promedio del índice de calidad de Dickson en los plantones de las leguminosas cuando no aplicó dosis alguna de fósforo en el suelo degradado (Tabla 26 y Figura 27).

Tabla 26. Prueba Tukey para el ICD en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

Mérito	Dosis de roca fosfórica (kg/ha)	N	Media	Subconjunto
1	0	16	1,43	a
2	300	16	1,38	a
3	150	16	1,38	a
4	450	16	1,30	a

Letras diferentes indican significancia estadística entre dosis.

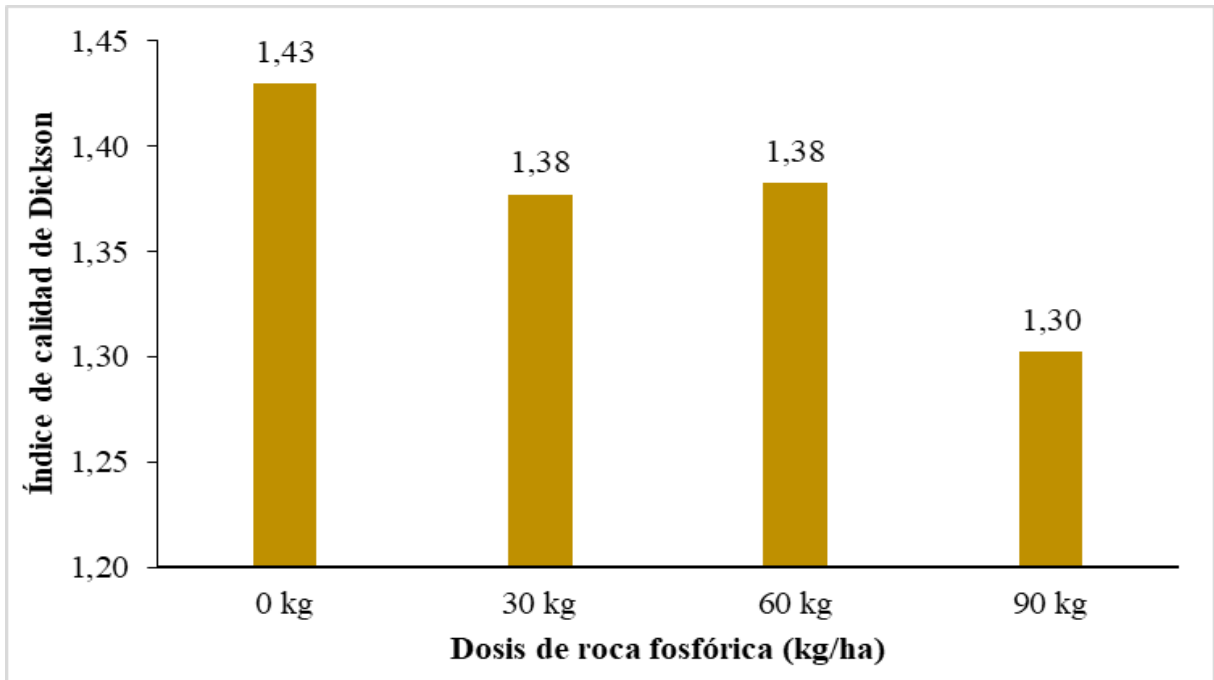


Figura 27. El índice de calidad de Dickson en especies leguminosas afectadas por las dosis de roca fosfórica en suelo degradado.

De acuerdo al índice de calidad de Dickson, todas las especies leguminosas utilizadas presentaron una calidad alta por presentar un valor superior a 0,5 (Rueda-Sánchez et al., 2014), lo cual ratifica su buen comportamiento de establecer estas especies en suelos degradados, respecto a *C. cateniformis*, Rojas (2013) reportó un valor de 0,1 posiblemente debido a que utilizó sustratos con muchos aportes de materia orgánica y que esta especie no es muy exigente en materia orgánica.

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis de las muestras de suelos en base a las dosis de roca fosfórica utilizada, se obtuvo valores diferentes en las propiedades químicas de los suelos degradados, siendo en muchos casos directamente proporcional los valores del pH del suelo, el óxido de fósforo y el magnesio respecto a las dosis de roca fosfórica aplicada, pero dichos resultados carecieron de significancia estadística; además se observó que los tratamientos utilizados favorecieron al mejor crecimiento de las especies leguminosas.
2. Las siembras de las leguminosas presentaron efectos significativos diferentes, sobresaliendo el *S. amazonicum* en el diámetro del tallo, volumen radicular, biomasa e ICD; la *L. leucocephala* registró menor mortalidad, mayor cantidad de hojas y mejor relación BPA/BPR; en caso de la *I. edulis* también obtuvo menor mortalidad, mayor altura, hojas, volumen radicular, biomasa e ICD; mientras que, en *C. cateniformis* sobresalió en la robustez, volumen radicular, relación BPA/BPR e ICD. En caso de la aplicación de roca fosfórica no presentó diferencias estadísticas significativas sobre las variables medidas debido a la alta variabilidad de los resultados.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios donde las proporciones de riego sean similares a los considerados con la cantidad de precipitación que existen en la misma zona donde se pretende replicar los estudios con la finalidad de obtener resultados muy acordes entre el vivero y el campo definitivo.
2. Considerar en estudios posteriores la interacción existente al aplicar la roca fosfórica y las micorrizas debido a que las asociaciones de micorrizas en base a su formación de hifas fomentan la mejora de la disponibilidad del fósforo en las plantas permitiendo que dichas especies vegetales puedan explorar mucho más el volumen superficial para la absorción de nutrientes, garantizando su crecimiento donde el suelo presentaba limitantes en la disponibilidad de fósforo.
3. En otros estudios sobre mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo se debe comparar dosificaciones de encalado (cal o yeso), ya que esta actividad presenta como finalidad aumentar la capacidad neutralizante de acidez (CNA) aumentando en nivel del pH, con el cual el Al^{+3} se precipita que es primordial para los suelos tropicales debido a que forman compuestos insolubles con el fósforo, una vez realizado esta actividad, se puede complementar con el establecimiento de leguminosas.

VII. REFERENCIAS

- Aching, O.A. (2011). *Crecimiento inicial Cedrelinga cateniformis Ducke "tornillo" utilizando superfosfato triple en vivero, CIEFOR Puerto Almendra, Loreto-Perú* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio Unapiquitos. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/1776/T634.9%20%20A21.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Al-Niemi, T.S., Kahn, M.L., Mcdermott, T.R. (1998). Phosphorus uptake by bean nodules. *Plant Soil*, 198, 71-78.
- Alloway B.J. (2013). *Bioavailability of elements in soil*. In: Selinus, O. (ed.). *Essentials of medical geology*. Dordrecht: Springer.
- Arias, N. (2008). *Medidas para reducir el impacto negativo del alto costo de los fertilizantes: eficiencia y rentabilidad*. Documento presentado en Tertulia Palmera.
- Arnold, F.E. (1996). *Manual de vivero forestal: Elaborado para algunas especies forestales nativas de la zona templada del Sur de Chile*. CONAF-DED.
- Banerjee, S., Palit, R., Sengupta, C., Standing, D. (2010). Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter* sp. and *Bacillus* sp. isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 378-383. http://www.cropj.com/banerjee_4_6_2010_378_383.pdf
- Bhatti, T.M., Yawar, W. (2010). Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. *Hydrometallurgy*. 103(1), 54-59.
- Beltrán, M.E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449944863010.pdf>
- Carrera, L.M., Buyer, J.S., Vinyard, B., Abdul-Baki, A.A., Sikora, L.J., Teasdale, J.R. (2007). Effects of cover crops, compost, and manure amendments on soil microbial community structure in tomato production systems. *Appl. Soil Ecol.*, 37, 247-255.
- Caycedo, E. (2012). *Efecto de la aplicación de roca fosfórica y dolomita en el crecimiento inicial de la especie shihuahuaco (Dipteryx micrantha) en Neshuya – Irazola, Región Ucayali* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio UNU.
- Chamorro, D. (2000). *Principales resultados en el área temática de silvopastoreo dentro del plan de modernización tecnológica de la ganadería bovina colombiana*. En: memorias del primer curso intensivo de silvopastoreo. Colombo-Cubano.

- Corrales, L.C., Arévalo, Z.Y., Moreno, V.E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova, Publicación Científica de Ciencias Biomédicas*, 12(21), 67-79. http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21_a06.pdf
- Cross, A.F., Schlesinger, W.H. (2001). Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry*, 52, 155-172. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006437504494>
- Dasilva, M., Medeiros, L., De Lima, C. (1992). *Leguminosas da Amazônia brasileira – II Cedrelinga* Ducke (Leg. Mimos) - Belém.
- Divito, G.A., Sadras, V.O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? a meta-analysis. *Field Crops Res.*, 156, 161-171.
- Donoso, P., Navarro, C., Soto, D., Gerding, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B., Sanhueza, M.J. (2015). *Manual de plantaciones de raulí (Nothofagus alpina) y coihue (Nothofagus dombeyi) en Chile*. Universidad Austral de Chile.
- Echeverri, J. (2018). *Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales* [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <http://bdigital.unal.edu.co/71606/2/39456768.2018.pdf>
- Espinoza, F. (1996). *Producción, valor nutritivo y consumo de Leucaena leucocephala (Lam.) de wit por ovinos en Maracay* [Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela].
- Espinoza, F., Gil, J. (1999). *Experiencias con Leucaena leucocephala en el Estado Cojedes*. In: Chacón, E.; Baldizán, A. y Fossi, H. (Eds.). II Cursillo sobre Recursos Alimentarios para la Producción de Leche y Carne en Bovinos a Pastoreo. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela.
- Espinoza, F., GIL, J., Argenti, P. (1992). *Evaluación de ecotipos de Leucaena leucocephala en una altiplanicie del Estado Cojedes*. VII Congreso Venezolano de Zootecnia, Maturín.
- Espinoza, F., Torres, A., Chacón, E. (2007). *Leucaena (Leucaena leucocephala) y Cují (Acacia macracantha y Mimosa tenuiflora) como aporte de proteína económica en los sistemas doble propósito*. Recursos Agroalimentarios.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (1991). *Leguminosas forrajeras tropicales*. In: Skermam, P., Cameron, D. y Riveros, F. (Eds). Colección FAO: Producción y protección vegetal.

- Fernández, M.T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(2), 51-57.
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Fonseca, E.P., Valeri, S.V., Miglioranza, E., Fonseca, N.A.N., Couto, L. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Rev. Árvore.*, 26(4), 515-523.
<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n4/a15v26n4.pdf>
- Goh, K., Hardter, R. (2003). *General oil palm nutrition*. In: Fairhurst, T., Hardter, R. (Eds.), *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields*. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.
- Gómez, R., González, M.I. (2018). Respuesta de cinco leguminosas de cobertura a la fertilización fosfórica. *Agron. Mesoam.*, 29(2), 293-303.
- González, J. (1999). *Influencia del diámetro y profundidad de hoyos en el crecimiento inicial de cuatro especies forestales – Pucallpa* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio UNU.
- Guang-Can, T., Shu-Jun, T., Miao-Ying, C., Guang-Hui, X. (2008). Phosphate solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. *Pedosphere*, 18(4), 515-523.
https://www.researchgate.net/publication/238383257_Phosphate-Solubilizing_and_Mineralizing_Abilities_of_Bacteria_Isolated_from_Soils1
- Gyaneshwar, P., Naresh, G., Kumar, L., Parekh, J., Poole, P. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, 245, 83-93.
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020663916259>
- Haase, D.L. (2007). *Morphological and physiological evaluations of seedling quality*. In: Riley, L. E.; R. K. Dumroese and T. D. Landis (coords.). *National proceedings: Forest and conservation nursery associations*. 2006. USDA Forest Service.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M.P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. McGraw-Hill.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA.
- Hoveland, C.S., Buchanan, G.A., Harris, M.C. (1976). Response of weeds to soil phosphorus and potassium. *Weed Sci.*, 24, 194-201.
- INIA/ICRAF (Instituto Nacional de Investigación Agraria / Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería). (1996). *Ensayo sobre diámetro y profundidad del movimiento del suelo en el establecimiento de árboles sobre pasturas degradadas*.

Instituto Nacional de Investigación Agraria. DGIA. Programa Nacional de Agroforestería y Cultivos Tropicales.

- Isla, C. (2013). *Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de pino chuncho (Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke), en el sector de Naranjillo - Tingo María* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/448/T.CSA-71.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Israel, D.W. (1987). Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiol.*, 84, 835-840.
- Kochian, L.V., Piñeros, M.A., Hoekenga, O.A. (2005). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant & Soil*, 274(1-2), 175-195. https://www.researchgate.net/publication/43267294_The_physiology_genetics_and_molecular_biology_of_plant_aluminum_resistance_and_toxicity
- Lévano, J. (1994). *Estudio del comportamiento del fósforo en dos suelos ácidos de Tingo María* [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM.
- Lopes-Cruz, J.L., Da-Silva-Souza, L., Dos-Santos-De-Souza, N.C., Pelacani, C.R. (2014). Effect of cover crops on the aggregation of a soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic.*, 172, 82-85.
- López, M., Alfonzo, N., Florentino, A., Pérez, M. (2006). Dinámica del fósforo y reducción del aluminio intercambiable en un ultisol sometido a manejo conservacionista. *Interciencia*, 31(4), 293-299.
- López, R. (1970). *Estudio silvicultural de la especie Cedrelinga catenaeformis Ducke* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM.
- Lynch, J.P., Brown, K.M. (2008). *Root strategies for phosphorus acquisition*. In White, P.J., Hammond, J.P. (Eds.). *The Ecophysiology of plant-phosphorus interactions* (p. 83-116) The Netherlands: Springer Science. https://www.researchgate.net/publication/226027940_Root_strategies_for_phosphorus_acquisition
- Mallqui, B.S. (2019). *Efecto del compost y tamaño de hoyo en el crecimiento inicial de Schizolobium amazonicum Huber. ex Ducke "pino chuncho" en suelos degradados* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1514/BSME_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Manguiat, I.J., Padilla, D.M., Mendoza, D.M., Pérez, A.M. (1990). Rhizobia mycorrhiza inoculation and N-P fertilization of Gliricidia in a degraded upland area. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, 8, 140-142.
- Mas, J. (2003). *Guía práctica para la producción de planta en un vivero*. Comisión Forestal del Estado de Michoacán.
- Mesta, C.V. (2012). *Evaluación del desarrollo de Dipteryx alata Vogel. (shihuahuaco) en plantaciones juveniles mixtas instaladas en suelos degradados de la zona de Campo Verde – Ucayali* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM.
- Mexal, J.G., Landis, D.T. (1990). *Target seedling concepts: height and diameter*. In: Rose R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. USDA Forest Service.
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola; El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 2 ed. Mundi-Prensa. https://www.academia.edu/11618245/Qu%C3%ADmica_Agr%C3%ADcola_Segunda_Edici%C3%B3n
- Neumann, G., Römheld, V. (2002). *Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere*. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, (eds.). Plant roots, the hidden half. 3 ed. Marcel Dekker, Inc.
- Osorno, L. Osorio, N.W. (2017). Evaluación de factores que afectan la bioacidulación de roca fosfórica bajo condiciones *in vitro*. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 19(1), 53-62.
- Paúcar, S.R. (2011). *Regeneración natural de Cedrelinga catenaeformis Ducke EN bosque intervenido de la Comunidad Nativa Catungo Quimpiri - Río Tambo – Junín* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4015/Paucar%20Cardenas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, A., De La Ossa, J., Montes, D. (2012). Hongos solubilizadores de fosfatos en fincas ganaderas del departamento de Sucre. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.*, 4(1), 35-45. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/263/304>
- Prieto, J.A., Vera, G., Merlín, E. (2003). *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero*. INIFAP-SAGARPA.
- Prieto, J.A., García, J.L., Mejía, J.M., Huchin, S., Aguilar, J.L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. INIFAP. <https://www.semantic-scholar.org/paper/Produccion-de-planta-del-genero-pinus-en-vivero-en-Leonardo-Angel/7d641c46315912c431b0867c2eb431b2a9de694f>

- Quiroz, I., García, E., Gonzáles, M., Chung, P., Soto, H. (2009). *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. <https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta>
- Rahman, Z.A. (2010). El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*, Jacq.) producción en suelos tropicales. *Rev. Palmas*, 31(1), 205-218.
- Ramalho, P.E. (2005). *Taxonomía e nomenclatura do guapuruvú (Schizolobium parahybae)*. EMBRAPA FLORESTAS. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/314147/1/circtec104.pdf>
- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C., Daza, A. (2003). *Árboles útiles en la Amazonía Peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF). <http://www.icraf-eru.org/docs/14arbolesamazonPeru.pdf>
- Robles, J.A. (2017). *Manejo de plántulas de Cedrelinga catenaeformis “tornillo”, en vivero con diferentes sustratos orgánicos, Puerto Almendras, Loreto, Perú* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio Unapiquitos. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4614/Jhonathan%20Tesis_T%C3%ADtulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodrigues, V. (2021). *Aumento da concentração de CO₂ e adição de fósforo nos fluxos de carbono e energia do processo fotossintético de plântulas de Inga edulis Mart. no sub-bosque da Amazônia Central* [Tesis de Posgrado, Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia]. Repositorio INPA. https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/37916/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Vanessa%20Ferrer_final.pdf
- Rodríguez, D.A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Mundi-Prensa.
- Rojas, N. (2015). *Efecto de diferentes tipos de sustratos en el crecimiento inicial de tornillo (Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke), en Tingo María* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1050/TS_PRN_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J.D., Saenz-Reyez, J.T., Muñoz, H.J., Prieto-Ruiz, J.Á., Orozco, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de

- Nayaritt. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58-73.
<https://www.redalyc.org/pdf/634/63439004005.pdf>
- Sáenz, L., Abanto, C., Alves, E., Tadashi, R., Castillo, A. (2016). *Influencia de cuatro tipos de sustratos orgánicos en el crecimiento y calidad de plantones de "Pashaco" en tubetes, Pucallpa-Ucayali*. IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Vol 10, Nº 3 de 2015. <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/17127/13103>
- Sánchez, S., Murillo, O. (2004). Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con ciprés (*Cupressus lusitanica*). *Agronomía Costarricense*, 28(2), 95-106.
- Santos, L., Passos, R., Silva, L., Oliveira, P., Garcia, G., Cecílio, R. (2010). Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, 26, 940-947. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencesjournal/article/view/7217>
- Senra, M., Costa, B.G., De Almeida, O.B., Ferreira, A.M. (2012). Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: Atributos químicos e físicos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2(1), 99-106. <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2662/1146>
- Sidhu, O.P., Behl, H.M. (1992). Infectivity and effectiveness of VAM fungi in *Casuarina obesa* for alkaline soil sites. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, 10, 150-154.
- Schmidt, M. (2013). *Crecimiento y relación del tallo - raíz en plantones de cinco especies forestales durante la fase de vivero en Tingo María* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/586/T.FRS-189.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud*. Bioestadístico.
- Sylvia, M., Fuhrmann, J., Hartel, P., Zuberer, D. (1995). *Principles and applications on soil microbiology*. 2 ed. Prentice Hall.
- Tapia, Y., García, F. (2013). la disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 231-242. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n3/2395-8030-tl-31-03-00231.pdf>
- Tonitto, C., David, M.B., Drinkwater, L.E. (2006). Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 112, 58-72.

- Toral, M. (1997). *Concepto de calidad de plantas en viveros forestales*. Documento Técnico N°1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco, SEDER- Fundación Chile.
- Villar, P., Peñuelas, L.R., Carrasco, I. (2000). *Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de Pinus pinea*. In: Actas del primer simposio sobre el pino piñonero. Valladolid, España. 1:221-218.
- Willet, I., Moody, P., Blamey, F. (1996). *The Essential Role of Phosphorous in Crop Production* In: Johnston, A.E.S.J.K. (Ed.), *Nutrien Management for Sustainable Crop Production In Asia*. The World Phospahte Institute and CAB International Bali, Indonesia. p. 51-74.

ANEXO

Anexo A. Variables en estudio

Tabla 27. Operacionalización de las variables.

Variables independiente	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Roca fosfórica	0	kg/ha	Cuantitativa discreta
	150	kg/ha	Cuantitativa discreta
	300	kg/ha	Cuantitativa discreta
	450	kg/ha	Cuantitativa discreta
Especies leguminosas	<i>I. edulis</i>	Plantón	Cualitativa
	<i>S. amazonicum</i>	Plantón	Cualitativa
	<i>C. cateniformis</i>	Plantón	Cualitativa
	<i>L. leucocephala</i>	Plantón	Cualitativa
Variable dependiente	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Calidad de plantones	Altura	cm	Cuantitativa continua
	Diámetro del tallo	cm	Cuantitativa continua
	Robustez	Adimensional	Cuantitativa continua
	Biomasa	g	Cuantitativa continua
	ICD	Adimensional	Cuantitativa continua

Anexo B. Matriz de datos

Tabla 28. Variables cuantitativas de los plántones de especies leguminosas producidos en suelos degradados.

Especies	Dosis (g)	D. (cm)	H. (cm)	Hoja	B. raíz (g)	B. tallo (g)	BT (g)	V. raíz
<i>C. cateniformis</i>	1	0,43	21	6	2,7773	3,8185	6,5958	3
<i>C. cateniformis</i>	1	0,72	22	5	4,0865	8,7317	12,8182	7
<i>C. cateniformis</i>	1	0,44	21,5	3	2,5110	4,4505	6,9615	2
<i>C. cateniformis</i>	1	0,64	22,8	6	4,9074	9,3785	14,2859	7
<i>C. cateniformis</i>	3	0,57	25,5	6	4,8404	7,9223	12,7627	1
<i>C. cateniformis</i>	3	0,44	23	3	2,2070	3,8222	6,0292	2
<i>C. cateniformis</i>	3	0,42	22,4	3	2,7351	4,2892	7,0243	2
<i>C. cateniformis</i>	3	0,51	26	3	2,5038	3,5227	6,0265	3
<i>C. cateniformis</i>	2	0,52	24	6	3,6392	7,0639	10,7031	4
<i>C. cateniformis</i>	2	0,54	21,5	6	3,5846	7,8074	11,3920	10
<i>C. cateniformis</i>	2	0,7	23	5	5,3225	8,6982	14,0207	5
<i>C. cateniformis</i>	2	0,54	21,5	5	4,1604	8,2031	12,3635	4
<i>C. cateniformis</i>	4	0,42	18,5	3	3,7425	3,5295	7,2720	3
<i>C. cateniformis</i>	4	0,42	20,5	3	2,7451	3,6935	6,4386	5
<i>C. cateniformis</i>	4	0,38	16,8	4	2,9832	3,9018	6,8850	5
<i>C. cateniformis</i>	4	0,42	16	4	3,4851	3,9543	7,4394	5
<i>S. amazonicum</i>	1	0,55	54	2	2,7440	10,0576	12,8016	2
<i>S. amazonicum</i>	1	0,46	53	2	3,0294	4,9468	7,9762	3
<i>S. amazonicum</i>	1	0,77	56	2	5,7696	20,6664	26,4360	5
<i>S. amazonicum</i>	1	0,76	51	1	3,5805	5,8027	9,3832	5
<i>S. amazonicum</i>	3	0,66	57	2	4,0562	12,3239	16,3801	5
<i>S. amazonicum</i>	3	0,7	45	2	3,8646	11,9283	15,7929	5
<i>S. amazonicum</i>	3	0,88	49	4	8,7133	24,5304	33,2437	2
<i>S. amazonicum</i>	3	0,62	44	2	4,1123	9,4609	13,5732	4
<i>S. amazonicum</i>	2	0,64	51	1	3,0360	2,9357	5,9717	1
<i>S. amazonicum</i>	2	0,66	57	3	4,1175	14,5657	18,6832	4
<i>S. amazonicum</i>	2	0,64	53	5	4,4025	14,7810	19,1835	7
<i>S. amazonicum</i>	2	0,52	49	2	3,5566	9,2154	12,7720	3
<i>S. amazonicum</i>	4	0,62	54	3	3,4853	6,0127	9,4980	4
<i>S. amazonicum</i>	4	0,74	49	3	4,0520	14,4983	18,5503	5
<i>S. amazonicum</i>	4	0,7	52,5	3	4,5841	14,7653	19,3494	6

Especies	Dosis (g)	D. (cm)	H. (cm)	Hoja	B. raíz (g)	B. tallo (g)	BT (g)	V. raíz
<i>S. amazonicum</i>	4	0,69	50	3	3,8847	12,2642	16,1489	5
<i>L. leucocephala</i>	1	0,42	29	19	2,8582	4,4935	7,3517	2
<i>L. leucocephala</i>	1	0,40	39	10	2,9053	3,7687	6,6740	2
<i>L. leucocephala</i>	1	0,36	25	14	2,5457	3,4266	5,9723	2
<i>L. leucocephala</i>	1	0,61	34	12	4,1902	5,8075	9,9977	5
<i>L. leucocephala</i>	3	0,39	30	23	2,6544	4,8673	7,5217	2
<i>L. leucocephala</i>	3	0,29	24	6	1,7864	2,6199	4,4063	2
<i>L. leucocephala</i>	3	0,22	12	5	1,8195	2,2463	4,0658	0.2
<i>L. leucocephala</i>	3	0,33	28	6	2,4922	2,6511	5,1433	2
<i>L. leucocephala</i>	2	0,24	12	6	1,9138	2,0342	3,9480	1
<i>L. leucocephala</i>	2	0,35	25	12	2,1975	3,2397	5,4372	1
<i>L. leucocephala</i>	2	0,36	16	21	2,2012	2,8439	5,0451	1
<i>L. leucocephala</i>	2	0,25	12,5	10	2,2210	4,0424	6,2634	1
<i>L. leucocephala</i>	4	0,2	6,5	3	1,7207	1,8102	3,5309	0.5
<i>L. leucocephala</i>	4	0,33	7	10	2,5844	2,1145	4,6989	3
<i>L. leucocephala</i>	4	0,39	29	20	2,6500	3,2944	5,9444	5
<i>L. leucocephala</i>	4	0,19	12	5	2,0136	1,9301	3,9437	0.5
<i>I. edulis</i>	1	0,49	42	15	4,4449	10,3719	14,8168	2
<i>I. edulis</i>	1	0,61	58	15	4,3483	13,7999	18,1482	4
<i>I. edulis</i>	1	0,62	45	10	5,2479	13,4410	18,6889	5
<i>I. edulis</i>	1	0,72	55	16	5,9285	18,2531	24,1816	8
<i>I. edulis</i>	3	0,67	57	15	7,3671	17,6727	25,0398	7
<i>I. edulis</i>	3	0,81	75	15	7,0452	19,8105	26,8557	10
<i>I. edulis</i>	3	0,47	64	13	3,0123	10,1250	13,1373	3
<i>I. edulis</i>	3	0,48	57	12	4,2198	11,2101	15,4299	3
<i>I. edulis</i>	2	0,59	67	15	4,0784	13,6480	17,7264	5
<i>I. edulis</i>	2	0,46	53	10	4,2168	9,9512	14,1680	4
<i>I. edulis</i>	2	0,64	60	13	6,8019	20,6366	27,4385	9
<i>I. edulis</i>	2	0,54	58	10	4,0517	12,4456	16,4973	5
<i>I. edulis</i>	4	0,48	52	14	3,9288	9,4530	13,3818	3
<i>I. edulis</i>	4	0,69	58	15	7,4876	17,2624	24,7500	10
<i>I. edulis</i>	4	0,59	54	14	4,2305	13,9363	18,1668	4
<i>I. edulis</i>	4	0,54	58	13	4,1171	12,8392	16,9563	4

D.: diámetro del tallo al ras del sustrato; H.: altura medida desde la base del tallo hasta la yema apical más alta del plantón; B. raíz: Biomasa del sistema radicular; B. tallo: Biomasa del tallo o vástago; BT: Biomasa total que incluye la parte radicular y aérea del plantón; V. raíz: Volumen radicular expresado en centímetros cúbicos.

Tabla 29. Índices de los plantones de especies leguminosas producidos en suelos degradados.

Especies	Dosis (g)	Robustez	Relación BPA/BPR	Calidad de Dickson
<i>C. cateniformis</i>	1	4,88	1,3749	1,05
<i>C. cateniformis</i>	1	3,06	2,1367	2,47
<i>C. cateniformis</i>	1	4,89	1,7724	1,05
<i>C. cateniformis</i>	1	3,56	1,9111	2,61
<i>C. cateniformis</i>	3	4,47	1,6367	2,09
<i>C. cateniformis</i>	3	5,23	1,7319	0,87
<i>C. cateniformis</i>	3	5,33	1,5682	1,02
<i>C. cateniformis</i>	3	5,10	1,4069	0,93
<i>C. cateniformis</i>	2	4,62	1,9411	1,63
<i>C. cateniformis</i>	2	3,98	2,1780	1,85
<i>C. cateniformis</i>	2	3,29	1,6342	2,85
<i>C. cateniformis</i>	2	3,98	1,9717	2,08
<i>C. cateniformis</i>	4	4,40	0,9431	1,36
<i>C. cateniformis</i>	4	4,88	1,3455	1,03
<i>C. cateniformis</i>	4	4,42	1,3079	1,20
<i>C. cateniformis</i>	4	3,81	1,1346	1,50
<i>S. amazonicum</i>	1	9,82	3,6653	0,95
<i>S. amazonicum</i>	1	11,52	1,6329	0,61
<i>S. amazonicum</i>	1	7,27	3,5819	2,44
<i>S. amazonicum</i>	1	6,71	1,6206	1,13
<i>S. amazonicum</i>	3	8,64	3,0383	1,40
<i>S. amazonicum</i>	3	6,43	3,0866	1,66
<i>S. amazonicum</i>	3	5,57	2,8153	3,97
<i>S. amazonicum</i>	3	7,10	2,3006	1,44
<i>S. amazonicum</i>	2	7,97	0,9670	0,67
<i>S. amazonicum</i>	2	8,64	3,5375	1,53
<i>S. amazonicum</i>	2	8,28	3,3574	1,65
<i>S. amazonicum</i>	2	9,42	2,5911	1,06
<i>S. amazonicum</i>	4	8,71	1,7252	0,91
<i>S. amazonicum</i>	4	6,62	3,5781	1,82
<i>S. amazonicum</i>	4	7,50	3,2210	1,80
<i>S. amazonicum</i>	4	7,25	3,1571	1,55
<i>L. leucocephala</i>	1	6,90	1,5721	0,87
<i>L. leucocephala</i>	1	9,75	1,2972	0,60

Especies	Dosis (g)	Robustez	Relación BPA/BPR	Calidad de Dickson
<i>L. leucocephala</i>	1	6,94	1,3460	0,72
<i>L. leucocephala</i>	1	5,57	1,3860	1,44
<i>L. leucocephala</i>	3	7,69	1,8337	0,79
<i>L. leucocephala</i>	3	8,28	1,4666	0,45
<i>L. leucocephala</i>	3	5,45	1,2346	0,61
<i>L. leucocephala</i>	3	8,48	1,0638	0,54
<i>L. leucocephala</i>	2	5,00	1,0629	0,65
<i>L. leucocephala</i>	2	7,14	1,4743	0,63
<i>L. leucocephala</i>	2	4,44	1,2920	0,88
<i>L. leucocephala</i>	2	5,00	1,8201	0,92
<i>L. leucocephala</i>	4	3,25	1,0520	0,82
<i>L. leucocephala</i>	4	2,12	0,8182	1,60
<i>L. leucocephala</i>	4	7,44	1,2432	0,68
<i>L. leucocephala</i>	4	6,32	0,9585	0,54
<i>I. edulis</i>	1	8,57	2,3334	1,36
<i>I. edulis</i>	1	9,51	3,1736	1,43
<i>I. edulis</i>	1	7,26	2,5612	1,90
<i>I. edulis</i>	1	7,64	3,0789	2,26
<i>I. edulis</i>	3	8,51	2,3989	2,30
<i>I. edulis</i>	3	9,26	2,8119	2,22
<i>I. edulis</i>	3	13,62	3,3612	0,77
<i>I. edulis</i>	3	11,88	2,6565	1,06
<i>I. edulis</i>	2	11,36	3,3464	1,21
<i>I. edulis</i>	2	11,52	2,3599	1,02
<i>I. edulis</i>	2	9,38	3,0339	2,21
<i>I. edulis</i>	2	10,74	3,0717	1,19
<i>I. edulis</i>	4	10,83	2,4061	1,01
<i>I. edulis</i>	4	8,41	2,3055	2,31
<i>I. edulis</i>	4	9,15	3,2942	1,46
<i>I. edulis</i>	4	10,74	3,1185	1,22

Anexo C: Fotografías

Figura 28. Medición del diámetro en *L. leucocephala*.



Figura 29. Medición de la altura en *I. edulis*.



Figura 30. Medición del sistema radicular en *I. edulis*.



Figura 31. Campana de desecación utilizado para enfriar las muestras secas.

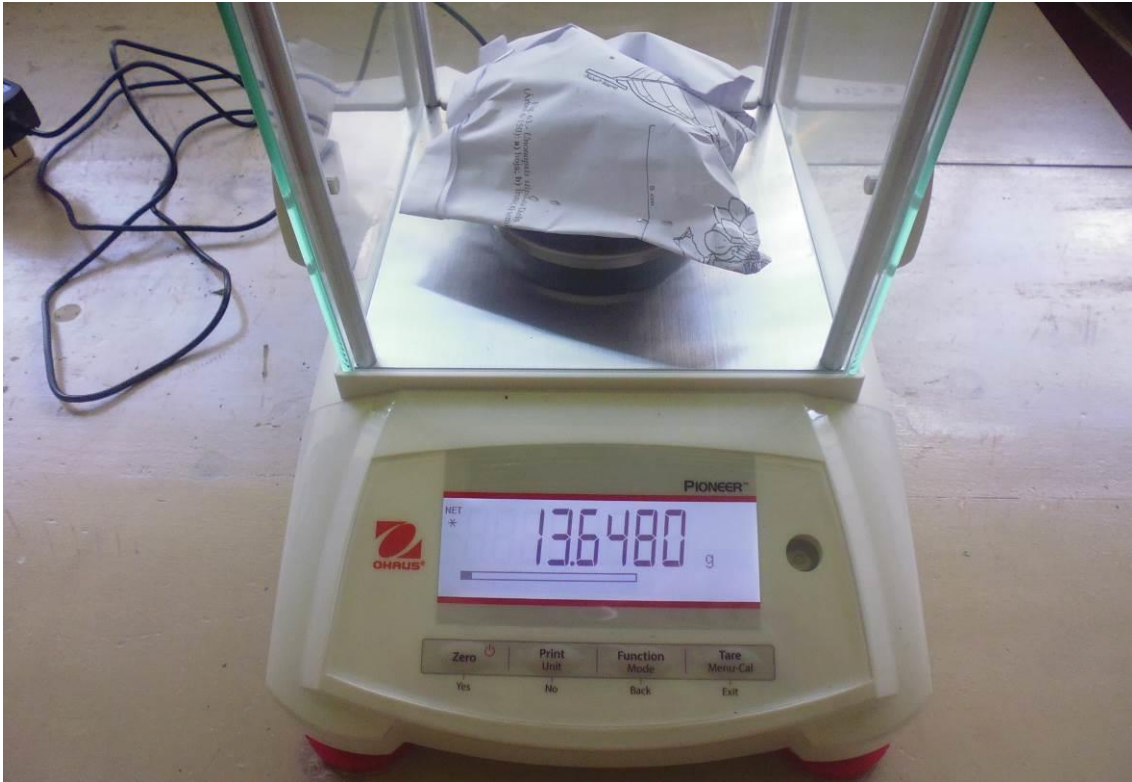


Figura 32. Pesado de las muestras secas.



Figura 33. Muestras de suelo llevados al laboratorio.