

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



CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y
BIOLÓGICOS EN SU ESTADO ACTUAL DEL SUELO EN SUBPARCELAS CON
ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA (BRUNAS) TINGO MARÍA

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

GARAY SALAZAR, ALEJANDRO MARTIN

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 096-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 12 de Julio de 2024, a horas 10:00 a.m. en la sala de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

“CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN SU ESTADO ACTUAL DEL SUELO EN SUBPARCELAS CON ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA (BRUNAS) TINGO MARIA”

Presentado por el Bachiller: **GARAY SALAZAR, ALEJANDRO MARTIN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN 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, 18 de septiembre de 2024

Dr. JOSÉ DOLORES LÉYANO CRISÓSTOMO
PRESIDENTE

Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO

Dr. SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE
MIEMBRO

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCION DEL TITULO UNIVERSITARIO

Universidad : Universidad Nacional Agraria la Selva

Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables

Escuela profesional : Ingeniería en Conservación de Suelo y Agua

Título de Tesis : Características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María

Objetivo General : Evaluar las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María

Autor : Garay Salazar, Alejandro Martin

DNI : 77037330

Correo electrónico : alejandro.garay@unas.edu.pe

Asesor de Tesis : Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Ing. MSc. Andy Williams vela Zevallos

Área de investigación : Ciencias básicas

Grupo de investigación : Ciencias básicas

Línea de investigación : Ecología y conservación de suelos

Lugar de ejecución : Bosque Reservado Unas (BRUNAS)

Fecha Inicio : 20/ 10/2023

Fecha Término : 20/05/2024

Presupuesto : S/. 8 246.85

Financiamiento : Propio (X) FEDU () Eterno ()



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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 344 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN SU ESTADO ACTUAL DEL SUELO EN SUBPARCELAS CON ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA (BRUNAS) TINGO MARÍA	GARAY SALAZAR, ALEJANDRO MARTIN	22 % Veintidós

Tingo María, 28 de noviembre de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

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



PROYECTO DE TESIS

Universidad : Universidad Nacional Agraria la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional : Ingeniería en Conservación de Suelo y Agua
Título de Tesis : Características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BREUNAS) Tingo María

Autor : Garay Salazar, Alejandro Martin
Asesor de Tesis : Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Ing. MSc. Andy Williams vela Zevallos

Objetivo general : Evaluar las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María

Programa de investigación : Ciencias básicas
Línea de investigación : Ecología y Conservación de suelo
Eje temático de investigación : Manejo de abonos orgánicos
Lugar de ejecución : Bosque Reservado Unas (BRUNAS)
Duración : **Fecha Inicio** 20/10/2023 **Fecha Término** 20/04/2024
Financiamiento : **Propio (X)** **FEDU ()** **Eterno ()**
Presupuesto : S/. 8 246.85

DEDICATORIA

Queridos Padres:

Les dedico con todo mi amor y mucho entusiasmo estas páginas que reflejan de mis 5 años de carrera universitaria. Sin el apoyo incondicional de ustedes nada de esto sería posible.

Aunque haya tenido momentos difíciles durante el proceso, sentir el apoyo y consuelo de mi madre ha sido la mejor motivación para hoy en día obtener mi título como Ingeniero en Conservación de Suelos y Agua. Este logro también es tuyo mamá.

A mis amigos, con quienes el destino nos presentó en la Universidad para apoyarnos académicamente y compartir conocimiento, alegrías y preocupaciones. Definitivamente han sido parte del proceso y un gran soporte durante estos años. A todos aquellos compañeros que en algún momento intercambiamos ideas, sabiduría e incluso materiales de trabajo.

Familia, amigos, docentes y compañeros, cada uno de ustedes ha sido parte fundamental para hoy hacer este sueño realidad.

AGRADECIMIENTOS

Hoy, con mucha emoción quiero expresarles mi total agradecimiento por todo lo brindado durante este proceso para convertirme en Ingeniero. Han sido años de mucho sacrificio y perseverancia, y esto no sería posible sin su aliento y motivación.

Quiero agradecer a mis docentes, pues desde mis primeros años de carrera, me forjaron con conocimiento, compartieron experiencias y guiaron el camino para convertirme hoy en un profesional. Cada palabra y cada consejo de parte de cada uno de mis profesores ha sido muy valioso y me han sido de gran ayuda. Gracias, maestros, han sido mis mentores.

A mis familiares, todo esto es por ustedes. Su amor y dedicación son la base para cumplir mis metas. Desde niño me educaron con valores y me apoyaron en cada paso del camino, nunca dudaron de mis capacidades y creyeron en mi sueño. Incluso cuando yo mismo creía que no podía lograrlo, estaba mi madre para hacerme dar cuenta de mis errores y motivarme a que puedo mejorar. Hoy al mirar hacia atrás, puedo darme cuenta de cómo 5 años han pasado y en cada uno de ellos, el apoyo de mi familia, la disciplina y trabajo constante han logrado formarme como profesional y como mejor persona.

Queridos amigos, ustedes también son parte de este sueño, su compañía y apoyo han sido soporte en momentos de incertidumbre, sus palabras de ánimo, su alegría y su confianza en mí, ha sido un engranaje importante para seguir el camino. Nuestro grupo “Integridad UNAS” ha sido el mejor apoyo para haber llegado a la meta. Haberlos conocido definitivamente es uno de los mejores regalos que me ha dado Dios. Gracias por todo.

Hoy, al alcanzar tan anhelado objetivo, me lleno de alegría, y a la vez me motivo para afrontar los retos futuros, pues este es el inicio de mi vida como Ingeniero y estaré preparado para enfrentar nuevos desafíos. Agradezco desde lo profundo de mi corazón a cada una de las personas que ha sido parte de mi formación y éxito, pues ustedes hicieron a que este proceso sea más alcanzable.

A todos mis familiares y amigos que estuvieron a mi lado desde el comienzo. Gracias totales.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. El suelo	3
2.1.2. Calidad de suelo.....	3
2.1.3. Indicadores de calidad	3
2.1.4. Indicadores físicos del suelo	4
2.1.5. Indicadores químicos del suelo.....	7
2.1.6. Indicadores biológicos del suelo.....	12
2.1.7. Criterios de calidad en la metodología del SBFS	13
2.2. Estado del arte.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Lugar de ejecución.....	18
3.1.1. Aspectos ambientales	19
3.1.2. Lugar de procesamiento de muestras	19
3.2. Material y equipos	20
3.2.1. Materiales	20
3.2.2. Equipos.....	20
3.3. Tipo de investigación.....	20
3.4. Variables y operacionalización.....	20
3.5. Diseño experimental	22
3.6. Diseño estadístico	22
3.7. Metodología.....	23
3.7.1. Describir los indicadores físicos (textura, estructura, densidad aparente, resistencia a la penetración del suelo) en parcelas con especie forestales del BRUNAS	23
3.7.2. Describir los indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio, magnesio) en parcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).....	25
3.7.3. Describir los indicadores biológicos de las parcelas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).	25

3.7.4. Relacionar los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en parcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Descripción de los indicadores físicos en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva	27
4.1.1. Textura	27
4.1.2. Estructura	28
4.1.3. Densidad aparente	29
4.1.4. Porosidad.....	30
4.1.5. Resistencia a la penetración del suelo.....	32
4.2. Descripción de los indicadores químicos en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva	33
4.2.1. pH.....	33
4.2.2. Materia orgánica.....	35
4.2.3. Nitrógeno.....	36
4.2.4. Fósforo	38
4.2.5. Potasio	39
4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico efectiva.....	41
4.2.7. Calcio	42
4.2.8. Magnesio	44
4.3. Descripción de los indicadores biológicos de macrofauna en subparcelas con especies forestales del BRUNAS	45
4.3.1. Densidad.....	45
4.3.2. Biomasa.....	47
4.3.3. Diversidad de especies	48
4.4. Relación de los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del BRUNAS	49
4.4.1. Relación de los indicadores físicos versus los indicadores biológicos	49
4.4.2. Relación de los indicadores químicos versus los indicadores biológicos	50
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. PROPUESTAS A FUTURO	50
VII. REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo	5
2. Valores de pH.....	7
3. Rangos de materia orgánica (%)......	8
4. Rangos de nitrógeno total (%)......	9
5. Rangos de fósforo total.....	9
6. Rangos de potasio total.....	10
7. Interpretación de capacidad de intercambio catiónico.	10
8. Funciones del calcio (Ca) en la nutrición de los cultivos.....	11
9. Interpretación de magnesio	12
10. Operacionalización de variable.	20
11. Textura de los suelos encontrados en los cuatro tipos de cultivos..	26
12. Estructura de los suelos e las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	27
13. Densidad aparente de los suelos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	28
14. Valores numéricos de la porosidad en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.	30
15. Valores para la resistencia a la penetración del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	31
16. Valores para el pH del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS. ...	32
17. Valores para la materia orgánica del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	34
18. Valores para el nitrógeno disponible del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	35

19. Valores para el fósforo del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.	37
20. Valores para el potasio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	38
21. Valores para la capacidad de intercambio catiónico efectivo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	40
22. Valores para el calcio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	41
23. Valores para el magnesio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	42
24. Densidad de la macrofauna del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	43
25. Biomasa de la macrofauna del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	45
26. Riqueza específica (S), Índice de Margalef (D), Índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo en las subparcelas del BRUNAS	47
27. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	47
28. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades químicas del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación y distribución de las parcelas en el BRUNAS.....	18
2. Distribución de los puntos de muestreo de las subparcelas PPM1	22
3. Dimensiones del monolito	23
4. Estadísticos descriptivos para la textura del suelo en el BRUNAS	27
5. Estadísticos para la densidad aparente en las subparcelas del BRUNAS.....	29
6. Estadísticos para la porosidad del suelo (%) en las subparcelas del BRUNAS	30
7. Estadísticos para la resistencia a la penetración del suelo en las subparcelas del BRUNAS	31
8. Estadísticos para los valores del pH del suelo en las subparcelas del BRUNAS	33
9. Estadísticos descriptivos para los valores de la materia orgánica del suelo en las subparcelas del BRUNAS	34
10. Estadísticos descriptivos para el nitrógeno del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	36
11. Estadísticos descriptivos para el fósforo del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	37
12. Estadísticos descriptivos para el potasio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	39
13. Estadísticos descriptivos para la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	40
14. Estadísticos descriptivos para el calcio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	41
15. Estadísticos descriptivos para el magnesio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.....	43
16. Densidad de individuos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	44
17. Biomasa de los individuos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS	46
18. Vista panorámica de las subparcelas del BRUNAS	58
19. Georreferenciación de las subparcelas del BRUNAS	58

20. Realizando la medición de la pendiente de las subparcelas del BRUNAS	58
21. Muestreo de suelos en las subparcelas del BRUNAS	58
22. Limpieza de superficie del suelo para identificación de macrofauna en las subparcelas del BRUNAS	59
23. Muestreo de macrofauna en superficie del suelo en las subparcelas del BRUNAS.....	59
24. Identificación de hormigas del suelo en las subparcelas del BRUNAS	60
25. Identificación de araña del suelo en las subparcelas del BRUNAS	60

RESUMEN

La investigación se realizó en 25 parcelas de 20 m x 20 m con especies forestales localizadas dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en Tingo María, Perú, el objetivo fue evaluar las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), para el análisis y validación de datos se usó la estadística descriptiva, los resultados arrojaron que: Los suelos de las subparcelas con especies forestales del BRUNAS presentan una textura franca, estructura granular en un 72% de los casos, densidad aparente de $1,33 \text{ g/cm}^3$ que resulta ideal para el crecimiento de las raíces, porosidad de 48,85% el cual es moderada, resistencia a la penetración de $1,35 \text{ kg/cm}^2$ que responde a suelos suaves, los suelos de las subparcelas con especies forestales del BRUNAS presentan un pH de 4,37 el cual define a un suelo fuertemente ácido, materia orgánica y nitrógeno de contenido medio, fósforo, potasio, calcio, magnesio la capacidad de intercambio catiónico efectiva de contenido muy bajo, la macrofauna del suelo presenta un total de 329 individuos en toda el área muestreada, teniendo el mayor número de individuos la lombriz de tierra con 77 individuos, las hormigas con 54 individuos, las moscas y mosquitos con 47 individuos y en la biomasa un peso total de 40,31 g, teniendo el mayor peso las lombrices de tierra con 32,42 g, las arañas con 2,03 g y las orugas 1,14 g, los índices de diversidad muestran en los distintos índices una diversidad moderada y los indicadores físicos y químicos del suelo versus los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del BRUNAS no tienen relación alguna.

Palabras clave: Bosque, muestreo, características, suelos, macrofauna.

ABSTRACT

The research was carried out in 25 plots of 20 m x 20 m with forest species located within the Reserved Forest of the National Agrarian University of La Selva, in Tingo María, Peru, the objective was to evaluate the characteristics of the physical, chemical and biological indicators in its current state of the soil in subplots with forest species of the Reserved Forest of the National Agrarian University of La Selva (BRUNAS), for the analysis and validation of data, descriptive statistics were used, the results showed that: The soils of the subplots with species BRUNAS forests have a loamy texture, granular structure in 72% of the cases, apparent density of 1,33 g/cm³ which is ideal for root growth, porosity of 48,85% which is moderate, resistance to penetration of 1,35 kg/cm² that responds to soft soils, the soils of the subplots with forest species of the BRUNAS have a pH of 4,37 which defines a strongly acid soil, organic matter and medium content nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium the capacity of effective cation exchange of very low content, the soil macrofauna presents a total of 329 individuals in the entire sampled area, with the largest number of individuals being the earthworm with 77 individuals, ants with 54 individuals, flies and mosquitoes with 47 individuals and in the biomass a total weight of 40,31 g, with the highest weight being the earthworms with 32,42 g, the spiders with 2,03 g and the caterpillars 1,14 g, the diversity indices show a moderate diversity in the different indices and the indicators Soil physical and chemical indicators versus biological indicators in subplots with BRUNAS forest species have no relationship.

Keywords: Forest, sampling, characteristics, soils, macrofauna.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo es un factor fundamental para la conservación de los ecosistemas. En la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) desempeña un papel crucial en la investigación, la educación y la conservación de la biodiversidad. El suelo en esta área es un recurso vital que influye en la salud de los ecosistemas forestales y en la producción agroforestal de la región.

El BRUNAS, con su vasta extensión de selva tropical y su variada topografía, alberga una diversidad única de flora y fauna, y se ha convertido en un laboratorio natural de gran importancia para la investigación científica y la formación de profesionales en el ámbito de la agronomía y la biología. Sin embargo, a lo largo de los años, la creciente presión sobre este debido a actividades humanas y climáticas ha planteado desafíos significativos en cuanto a la calidad del suelo. La degradación del suelo puede llevar a la pérdida de biodiversidad, la disminución de la productividad agrícola y la erosión del ecosistema en su conjunto.

Es por esta razón que en la investigación se evaluará las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos y relacionar estos indicadores físicos y químicos con los indicadores biológicos del suelo en cada una de las subparcelas permanentes de medición del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) con la finalidad de identificar como es su estado actual del suelo, y como es su distribución de la diversidad de flora y fauna que habitan en la zona.

Como interrogante se plantea: ¿Cómo serán las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)?

La investigación se justifica por la necesidad de evaluar las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en una parcela permanente de medición con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) para comprender el comportamiento de estas subparcelas, debido a que la falta de información sobre las características de los indicadores físicos, químicos y su impacto en la diversidad biológica y el ecosistema forestal hace que esta investigación sea crucial para garantizar la preservación de este importante bosque reservado y contribuir a su conservación.

Se plantea como hipótesis que las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas permanente de medición con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) mostrará niveles de nutrientes esenciales y parámetros superiores a los requerimientos óptimos para el crecimiento de la vegetación. En base a lo mencionado se formulan los objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar las características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS).

1.2. Objetivos específicos

- Describir los indicadores físicos (textura, estructura, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).
- Describir los indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio, magnesio) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).
- Describir los indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de especies) de macrofauna en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).
- Relacionar los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BUNAS).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El suelo

El suelo representa una etapa intermedia en el contexto de la biosfera, la litosfera (compartiendo un límite interno con una roca o material original, con una transición generalmente gradual e indefinida), la atmósfera (coincidiendo en su límite superior) y la hidrósfera. La capa de suelo tiene un grosor variable y forma la cobertura edáfica cuya formación ha ocurrido a lo largo del tiempo (Porta, 2019).

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que proporciona varios servicios ecosistémicos o ambientales, incluidos, los relacionados con su participación en los ciclos biogeoquímicos de los principales elementos de la vida, como el C, N, P, etc. Constantemente y gracias a la energía disponible se transfiere desde los sistemas vivos a las partes no vivas de la tierra. Sin embargo, es bien sabido que la Tierra es el lugar natural para producir los alimentos y las materias primas de los que depende la sociedad global. (CONABIO, 2016; Silva & Correa, 2009; OBIO, 2016).

2.1.2. Calidad de suelo

Es una propiedad que resulta de la interacción entre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, las prácticas de manejo y los métodos de cultivo, junto con las condiciones climáticas (Jiménez & González, 2006).

Los determinantes de la calidad del suelo son factores influyentes en el desarrollo de los cultivos, muchos de los cuales no son rasgos de fertilidad, como la estructura del suelo (Vandermeer, 2011).

Existen distintos tipos de suelo y sus propiedades no siempre son favorables para producir los nutrientes que los cultivos necesitan para un crecimiento sano. El color, la textura, la química y el tamaño de las partículas que los componen son algunos de los factores clave. La combinación de estos factores reflejará su fertilidad. Por tanto, la eficiencia de la actividad agrícola depende del conocimiento del suelo y de la solución de problemas relacionados con sus propiedades naturales. (Padilla, 2023).

2.1.3. Indicadores de calidad

Se trata de una propiedad que proporciona datos concretos y mensurables, además de ser una variable cuantitativa. Su función principal es estudiar condiciones, cotejar estados, metas y objetivos, así como analizar tendencias futuras (Murrillo, 2010). Los

parámetros por emplear deben cumplir con ciertos requisitos, como abarcar las fases del ecosistema, involucrar propiedades y etapas fisicoquímicas y biológicas, y ser susceptibles de variaciones climáticas (Paz, 2006).

Los indicadores son variables fisicoquímicas o biológicas mensurables que perjudican la extensión del suelo para realizar una o más funciones. Como indicadores físicos tenemos: textura, DA, estabilidad de aglomeración, infiltración, resistencia a la penetración, curva de retención de agua y profundidad del suelo: MO, pH, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico, P, K, Ca, Mg; indicadores: carbono de la biomasa microbiana, respiración del suelo, densidad de lombrices, deshidrogenasa, β -glucosidasa, ureasa, fosfatasa, hongos micorrízicos arbusculares, seleccione un subconjunto de indicadores información para crear un índice de calidad del suelo (Núñez-Peñaloza et al., 2023).

2.1.4. Indicadores físicos del suelo

Son el resultado de la interacción de etapas distintas (suelo, agua y aire) y de las proporciones de cada fase. El estado físico del suelo define su capacidad de carga, fácil penetración de las raíces, circulación del aire, capacidad de almacenar agua, drenaje, retención de nutrientes y otros factores. (INTAGRI, 2017a).

- Textura

Definida como el porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene. El estudio de laboratorio que evalúa la distribución del tamaño de las partículas proporciona una medida numérica de esta textura. La textura del suelo se utiliza para inferir diversas características, tanto químicas, como la CIC, como físicas, como la retención de humedad, la consistencia y la infiltración del agua en el suelo (Forsythe, 1985). Las partículas presentes en el suelo pueden variar en tamaño, y no existe una división natural clara entre las diferentes clases de tamaño de partículas (Rucks, 2004). Se han establecido diversas clasificaciones para estas fracciones, entre las cuales se incluyen la del USDA (por ejemplo, arena muy gruesa, arena gruesa, limos, arcilla) y la de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (arena gruesa, arena fina, limos, arcilla) (Rucks, 2004).

- Estructura del suelo

Es la capacidad del suelo para descomponerse de manera natural en fragmentos de diferentes formas y tamaños. Esta capacidad es fundamental para la salud del suelo y se puede evaluar observando la estabilidad de los agregados, los cuales indican cómo

se mantienen unidos los componentes del suelo bajo diversas condiciones (Bernal y Hernández, 2017).

Asimismo, es una de las propiedades más cruciales del recurso suelo, ya que afecta cómo se mueve y se retiene el agua dentro del perfil del suelo. También influye en el drenaje, asegurando que el exceso de agua se elimine adecuadamente, y en la aireación, permitiendo que el oxígeno llegue a las raíces y a los microorganismos del suelo. Además, la buena estructura del suelo facilita la penetración de las raíces, permitiendo un mejor acceso a los nutrientes. Estos factores combinados tienen un impacto significativo en el ciclo de nutrientes, lo que, en última instancia, determina el rendimiento y la productividad de los cultivos (An et al. 2010).

- Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (DA) es definida como la masa de tierra seca en una unidad definida de volumen edáfica (sólidos + poros) (Blake & Hartge, 1986) y su valor es relacionada con la cantidad de poros encontrados en dicho volumen de tierra.

Asimismo, se refiere al arreglo o disposición de las partículas en la tierra, y en la actualidad, medir esta propiedad ha ganado relevancia debido al aumento en el uso de riego en tierras de cultivo sin labranza y a la compactación del suelo (Salamanca, 2005).

Tabla 1. Rangos interpretativos de densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura	Ideal (g/cm ³)	Aceptable (g/cm ³)	Puede afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Restringe el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.69	1.69 ≤ Dap < 1.8	Dap > 1.80
Franco-arenosa, franco	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.63	1.63 ≤ Dap < 1.8	Dap > 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Limosa	Dap < 1.3	1.3 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Franco-limosa, franco- arcillo-limosa	D _{ap} < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.55	1.55 ≤ Dap < 1.65	Dap > 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.58	Dap > 1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.47	Dap > 1.47

Fuente: SAGARPA, (2012).

Los valores de la DA pueden variar considerablemente debido a factores como la textura del suelo, la cantidad de MO presente y las prácticas de empleo del suelo. En comparación con la densidad real, que es constante en 2.65 g/cc, la densidad aparente muestra una gran variabilidad (Salamanca, 2005).

- **Porosidad**

La porosidad de un medio se refiere al porcentaje de su volumen que no está ocupado por la fase sólida, es decir, la relación entre el volumen de los poros y el volumen total ocupado por el medio en el recipiente. Las mezclas con alta porosidad pueden tener buena aireación y retención de agua (Cairo y Fundora, 2002). La porosidad indica la capacidad del suelo para acopiar agua. (Buckman y Brady, 1977).

La porosidad de tierra superficial define en gran medida las etapas de infiltración y escurrimiento del agua influenciada en la erosión hídrica y el transporte de agua en la tierra (Horowitz y Walling, 2005).

- **Resistencia a la penetración**

Es la resistencia del suelo a la penetración de radicales libres y está estrechamente relacionada con la DA (sólidos por unidad de volumen) y el nivel de humedad de la tierra. Medida mediante un aparato llamado penetrómetro y expresada en kg/cm². La permeabilidad se relaciona con el volumen de la raíz. Algunas investigaciones, la resistencia medida a una capacidad de campo superior a 20 kg/cm² provoca un desarrollo radicular limitado en cultivos de alfalfa, maíz y algodón (INTAGRI, 2017a).

USDA (1999) indica que a medida que aumenta la DA, la resistencia mecánica suele incrementar y la porosidad de la tierra a reducir, estas variaciones restringen el desarrollo de las raíces a valores críticos.

Mientras que Zerpa (2006) sostiene que en una escala de resistencia a la penetración de la tierra valores mayores a 1, 4 g/cm², son característicos de un suelo restrictivo para el enraizamiento, Bengough y Mullins (1991) mencionan que al compactar la tierra reduce el espacio poroso y restringe el desarrollo radical. Silva et al. (2000) es un rol de las variables mecánicas de la tierra y puede disminuir con el contenido de humedad ya que se relaciona con la cohesión molecular e incrementa con el grado de compresión, por lo que ayudaría regar la plantación, obviamente si esta afecta el crecimiento en el que se tendría que añadir más variables para evaluar como es el crecimiento de la especie.

2.1.5. Indicadores químicos del suelo

Es la capacidad del suelo para garantizar que los nutrientes estén equilibrados y disponibles para las plantas. Además, el pH de la tierra se encuentra en el rango óptimo para el crecimiento de los cultivos y no existen problemas de salinización. (INTAGRI, 2018).

- pH

El pH del suelo refleja la concentración de iones H⁺ presentes en el suelo. En la escala de pH, el valor máximo es 14, y se considera neutral cuando alcanza 7. Los suelos se consideran ácidos si su pH es menor que 7 y básicos si es mayor.

Cuando el suelo es ácido, prevalecen los iones H⁺ y aluminio en el complejo arcillo húmico, mientras que los cationes como Ca, Mg, Na y K están ausentes debido a la lixiviación causada por la lluvia o el riego.

Si el pH del suelo es inferior a 5.5, es recomendable elevarlo a al menos 6.5 mediante la aplicación de una enmienda caliza, lo que facilitará la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Soriano, 2018).

Tabla 2. Valores de pH.

pH	Tipo	Observaciones
Menos de 5,5	Muy Ácido	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos.
5,5 - 6,5	Ácido	Dificultad de desarrollo de algunos cultivos, dificultad de retención de nutrientes
6,5 - 7,5	Neutro	Óptimo
7,5 - 8,5	Básico	Cierta dificultad para el desarrollo de cultivos exigentes
Mayor de 8,5	Muy básico	Poco desarrollo de la mayoría de los cultivos, posible aparición de clorosis férrica.

Fuente: Soriano (2018).

- Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es un elemento formado por los residuos de plantas y animales encontrados en el suelo.

La MO de la tierra es el producto de desgaste químico de excretas animales y microbianas, desechos vegetales o productos de su desgaste. Provee energía y alimento a los organismos de la tierra, asimismo es materia prima para componer coloides orgánicos. (Jaramillo, 2002).

A medida que estos restos orgánicos se descomponen, se genera el humus, que contiene diversas sustancias orgánicas como proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, así como minerales inorgánicos, entre otros (Fassbender, 1975). El mismo autor menciona que los coloides presentes en el humus, que tienen una carga negativa, tienen la capacidad de absorber iones H^+ y cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ .

La MO presenta diferentes grados de descomposición y fracciones, como lábiles (carbohidratos, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) o los compuestos húmicos (fúlvicos, húmicos y huminas). La MO mejora los indicadores físicos como la retención de humedad, composición de agregados, eleva la CIC, retiene cationes y oligoelementos esenciales que favorecen el crecimiento de las plantas (FAO, 2020).

Tabla 3. Rangos de materia orgánica (%).

Interpretación de materia orgánica	Rangos (%)
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS.

- **Nitrógeno total**

El nitrógeno existente en la tierra proviene de la atmósfera en forma de nitrógeno atmosférico y es absorbido por las plantas mediante bacterias fijadoras de nitrógeno. Este N del suelo está en compuestos orgánicos y disponibles para las plantas por etapas de mineralización. La mayor parte del N del suelo se encuentra en forma de humus, compuestos fúlvicos, pero una pequeña parte se encuentra en forma de compuestos inorgánicos.

Cuando la relación C/N alcanza alrededor de 10, las etapas de humificación están en equilibrio. En esta etapa, aproximadamente el 95% del N en el suelo se encuentra en forma orgánica y su disponibilidad para los microorganismos y las plantas aumenta gradualmente (Flaig, 1975).

El clima afecta significativamente la cantidad de N en la tierra, a medida que acrecienta la temperatura, el contenido de N reduce a medida que acrecienta la humedad; Las pérdidas de N con mayor importancia son: productividad de cultivos, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de amonio. (Navarro, 2003).

Tabla 4. Rangos de nitrógeno total (%).

Interpretación de nitrógeno total	Rangos (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 – 0,2
Alto	> 0,2

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS.

- **Fósforo disponible**

El fósforo desempeña un papel fundamental en las plantas al formar parte de componentes esenciales como proteínas y ácidos nucleicos, incluyendo el ADN y ARN, y contribuye a procesos relacionados con la diferenciación de las plantas. Sin embargo, el P tiende a formar compuestos poco solubles con cationes divalentes y monovalentes, lo que limita su disponibilidad en la solución de la tierra, resultando en concentraciones de fósforo muy reducidas en la misma (Rojas, 2006).

El fósforo (P) forma parte de los compuestos estructurales y energéticos de las plantas como semillas, pero es difícil de obtener porque es muy reactivo en el suelo y forma sustancias químicas poco solubles, especialmente en suelos ácidos, ya que el aporte depende de la etapa de meteorización de piedras y aporte de fertilizantes. (SAGARPA, 2012).

Tabla 5. Rangos de fósforo total.

Interpretación de fosforo disponible	Rangos (ppm)
Bajo	< 7,0
Medio	7,0 – 14,0
Alto	> 14,0

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS.

- **Potasio disponible**

El potasio es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, y su demanda solo es superada por la del N y el Ca.

En forma de ion K⁺, el potasio es absorbido y presente en las células vegetales. Caracterizada por ser un elemento móvil en la planta, moviéndose desde las partes

más viejas hacia los tejidos jóvenes en desarrollo, lo que se refleja en los síntomas iniciales de deficiencia de potasio en las hojas más antiguas. Además, el potasio desempeña un papel crucial en numerosas reacciones enzimáticas, incluyendo procesos como la glicólisis, fosforilación y oxidación, entre otros (Carbonero, 2007).

Tabla 6. Rangos de potasio total.

Interpretación de potasio disponible	Rango (kg K ₂ O/ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300 - 600	100 - 240
Alto	> 600	> 240

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS.

- Capacidad de intercambio catiónico

Esta característica química de la tierra se refiere a la cantidad total de carga negativa disponible en las superficies de las partículas de la tierra. Determinada como el número total de cationes intercambiables (carga negativa total) que un suelo determinado es capaz de contener. Comprender la CIC del suelo es muy importante porque este valor muestra el potencial de la tierra reteniendo e intercambiando nutrientes. Asimismo, la CIC daña de forma directa la cantidad y frecuencia de la fertilización.

La principal influencia sobre la CIC es la arcilla del suelo y la MO. La capacidad de la arcilla es de 10-150 cmol (+)/kg, mientras que la capacidad de la MO es de 200-400 cmol (+)/kg, es decir, la CIC de la MO es mayor. Los Cmol (+)/kg = meq./100 g. Además de incrementar la CIC, el aporte de MO también mejora las características físicas de la tierra, acrecienta la infiltración de agua, mejora la estructura de la tierra, suministra nutrientes a las plantas y decrecen las pérdidas de erosión.

Los aniones en la tierra se comportan de manera muy diferente a los cationes. El fosfato se retiene fuertemente por la rápida conformación de compuestos insolubles. La retención de sulfato es pobre. Los nitratos y cloruros no se retienen en la tierra, sino que se mueven libremente junto con el agua subterránea. (INTAGRI, 2015a).

Tabla 7. Interpretación de capacidad de intercambio catiónico.

Clase	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)
Muy alta	CIC ≥ 40

Alta	$25 \leq \text{CIC} < 40$
Media	$15 \leq \text{CIC} < 25$
Baja	$5 \leq \text{CIC} < 15$
Muy baja	$\text{CIC} < 5$

Fuente: SAGARPA, 2012.

- Calcio

La función principal del calcio (Ca^{2+}) en las plantas se conoce desde hace mucho tiempo, y aunque es un nutriente involucrado en muchos otros procesos, está directamente relacionado con el crecimiento de las raíces y la calidad del fruto después del amarre. En horticultura, un aporte nutricional completo incluye la adición de este elemento esencial, ya que la falta de este nutriente en los vegetales puede provocar: retraso en el desarrollo radicular, desarrollo anormal de hojas y rizos, frutos deformes y de tamaño insuficiente, pudrición de la punta o fin de la floración, depresión amarga o bitter pit, fruta agrietada, mala vida útil y fruta acuosa. Ya sea como nutriente estructural de las plantas o como suplemento del suelo, el calcio desempeña una función indispensable e importante.

El Ca^{2+} ingresa a la planta a través de las raíces en forma de simplastos y apoplastos. En la planta, una pequeña parte se concentra en la vacuola, mientras que el resto pasa a formar parte de la pared celular. La rigidez y flexibilidad de la pared celular se ve afectada por la concentración de Ca y, por lo tanto, en concentraciones bajas la pared celular parece flexible y propensa a desgarrarse, y viceversa. Este elemento cambia la permeabilidad de la membrana. Se sabe que el Ca^{2+} normalmente controla la permeabilidad a través de enlaces fosfolípidos, y las bajas concentraciones causan grandes aumentos en la permeabilidad y hacen que las raíces y las hojas sean más susceptibles a la exudación de compuestos orgánicos donde hay patógenos presentes. (INTAGRI, 2015b).

Tabla 8. Funciones del calcio (Ca) en la nutrición de los cultivos.

Clase	Ca ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}^{-1}$)
Muy baja	$\text{Ca} < 2$
Baja	$2 \leq \text{Ca} < 5$
Media	$5 \leq \text{Ca} < 10$
Alta	$\text{Ca} \geq 10$

Fuente: SAGARPA, 2012.

- Magnesio

El magnesio es un compuesto que rara vez se considera en la planificación de la fertilización, aunque se ha descubierto que está involucrado en muchas etapas fisiológicas, por ejemplo, el Mg participa en: la fosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), la fijación de la fotosíntesis del dióxido de carbono (CO²), la fijación de proteínas, composición de clorofila, entrega del floema, distribución y asimilación de productos de la fotosíntesis, fotooxidación del tejido foliar. Además, la ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa (RuBP), conocida como RuBisco, se activa sólo en presencia de magnesio, que es necesaria para llevar a cabo la fase fotosintética.

Los síntomas de la deficiencia de magnesio en las plantas incluyen clorosis intervenal y manchas rojas en las hojas más viejas. La aparición de estos síntomas depende de la intensidad de luz que recibe la planta, pues se cree que las plantas requieren una mayor cantidad de este nutriente en condiciones de alta intensidad lumínica. (INTAGRI, 2015c).

Tabla 9. Interpretación de magnesio.

Clase	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)
Muy baja	Mg < 0,5
Baja	0,5 ≤ Mg < 1,3
Media	1,3 ≤ Mg < 3,0
Alta	Mg ≥ 3,0

Fuente: SAGARPA, 2012.

2.1.6. Indicadores biológicos del suelo

- Densidad de macrofauna

La macrofauna, las poblaciones de lombrices y el rendimiento de los cultivos son considerados indicadores biológicos, las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración del suelo, biomasa microbiana, actividad enzimática, microorganismos, etc.) son más sensibles y útiles para explicar la dinámica de la MO y las etapas de transformación de la MO; residuos Muy valioso, además, responde rápidamente a los cambios en la gestión del suelo, es sensible a las presiones ambientales y es fácil de medir. (Acevedo y Martínez, 2003).

La biota de la tierra tiene un impacto significativo en la dinámica de los nutrientes, ya que sus niveles de nutrientes son responsables de la descomposición gradual de los desechos orgánicos, lo que asegura el reciclaje de nutrientes. Estos organismos también afectan las propiedades físicas del suelo formando túneles y galerías, aumentando y alterando la porosidad y la infiltración de agua, y formando agregados. (Lok, 2005).

La densidad de macrofauna del suelo se refiere a la cantidad de organismos macroscópicos, como lombrices de tierra, insectos y otros invertebrados, presentes en un determinado volumen de suelo. Esta medida es fundamental en el estudio de la calidad del suelo, ya que la macrofauna desempeña un rol crucial en la descomposición de materia orgánica, la formación de estructura del suelo y la ciclización de nutrientes. La densidad de macrofauna puede variar significativamente en función del tipo de tierra, el empleo del suelo y las prácticas de manejo agrícola. Su medición proporciona información valiosa sobre la salud y la actividad biológica del suelo, lo que a su vez influye en su capacidad para mantener la fertilidad y la productividad agrícola (Ferrerías, 2020).

- **Biomasa de macrofauna**

La biomasa de macrofauna de la tierra se refiere a la cantidad total de peso de los organismos macroscópicos presentes en una zona específica de suelo. Esta medida es esencial para evaluar la contribución de la macrofauna al ciclo de nutrientes y a la calidad general del suelo. La biomasa de la macrofauna está estrechamente relacionada con su densidad y varía en función de factores como la disponibilidad de alimentos, la humedad del suelo y las condiciones ambientales. Una mayor biomasa de macrofauna suele indicar una mayor actividad biológica y, en consecuencia, una mayor capacidad del suelo para descomponer materia orgánica y ciclar nutrientes (Ferrerías, 2020).

- **Diversidad de especies**

La diversidad de especies en el suelo se refiere a la variedad de organismos, tanto microscópicos como macroscópicos, presentes en un ecosistema de suelo específico. Esta medida es esencial para comprender la complejidad de la comunidad biológica del suelo y su papel en los procesos ecológicos. La diversidad de especies en el suelo puede incluir una amplia gama de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos, así como organismos macroscópicos como lombrices de tierra, insectos y otros invertebrados. Una alta diversidad de especies en el suelo se asocia generalmente con una mayor estabilidad del ecosistema y una mayor resistencia a disturbios ambientales, lo que contribuye a la salud y la funcionalidad del suelo (Ferrerías, 2020).

2.1.7. Criterios de calidad en la metodología del SBFS

Los criterios de calidad en la metodología del SBFS (Subíndice de Calidad de Suelo Basado en Funciones), a continuación, se proporciona una lista de criterios de calidad comunes que se utilizan en este enfoque:

- **Textura del suelo:**

- Criterio: Una textura equilibrada que incluye una proporción adecuada de arena, limo y arcilla se considera óptima para el desarrollo de cultivos y la retención de agua.
- Indicadores: Porcentaje de arena, limo y arcilla.

- **Densidad aparente:**

- Criterio: Una densidad aparente baja indica una buena estructura del suelo y una mayor porosidad, lo que facilita la penetración de raíces y la circulación de agua y aire.
- Indicadores: Valor de la DA.

- **Porosidad:**

- Criterio: Un suelo con una alta porosidad es capaz de retener agua y permitir la aireación adecuada, lo que es esencial para el desarrollo de las plantas.
- Indicadores: Porcentaje de porosidad.

- **Infiltración:**

- Criterio: Una alta tasa de infiltración indica la capacidad del suelo para absorber y retener agua, reduciendo el riesgo de erosión y escorrentía.
- Indicadores: Tasa de infiltración del agua.

- **pH del suelo:**

- Criterio: Un pH dentro del rango óptimo (generalmente ligeramente ácido a ligeramente alcalino) es esencial para la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiológica en el suelo.
- Indicadores: Valor de pH del suelo.

- **Contenido de materia orgánica:**

- Criterio: Un alto contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.
- Indicadores: Porcentaje de materia orgánica en el suelo.

- **Nitrógeno total:**

- Criterio: El nitrógeno es esencial para el desarrollo de las plantas, y un contenido adecuado es importante para la fertilidad del suelo.
- Indicadores: Concentración de nitrógeno total.

- **Fósforo disponible:**
 - Criterio: El fósforo es necesario para el crecimiento de raíces y la floración de las plantas; una disponibilidad adecuada es crucial.
 - Indicadores: Concentración de fósforo disponible.
- **Biomasa microbiana:**
 - Criterio: Una alta biomasa microbiana indica una actividad biológica saludable en el suelo, lo que beneficia la descomposición de MO y la liberación de nutrientes.
 - Indicadores: Cantidad de biomasa microbiana presente.
- **Diversidad de especies:**
 - Criterio: Una alta diversidad de especies en el suelo refleja una comunidad biológica rica y equilibrada, lo que contribuye a la salud del suelo.
 - Indicadores: Número de especies presentes y su abundancia relativa.

2.2. Estado del arte

Panaifo, et al. (2021), en el estudio titulado "Calidad y uso sustentable de la tierra en el Valle del Monzón, Huánuco - Perú" se enfocó en analizar la calidad y el uso sostenible de la tierra en un sistema agroforestal (SAF) y un ex cocal (suelo abandonado muy ácido) en el Valle del Monzón, Huánuco, Perú. Se analizaron indicadores fisicoquímicos del suelo, y los resultados revelaron que el suelo del SAF se clasificó como de "buena" calidad, mientras que el suelo del ex cocal fue catalogado como de "calidad marginal". Esta diferencia sugiere que el SAF ofrece condiciones más favorables para la actividad agrícola y destaca la importancia de promover prácticas agrícolas y de manejo sustentables en la región que garantice el uso sostenible de los recursos naturales.

Azañero (2020), en el estudio titulado "Calidad del suelo en distintos sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú" se propuso determinar y cotejar la calidad de tierra en tres sistemas de uso: sistema agroforestal (SAF), cocal (CO) y bosque secundario (BS) en la localidad de Río Espino, Monzón, Huánuco, Perú. Utilizando una metodología descriptiva comparativa, se evaluaron varios indicadores del suelo. Los resultados indicaron que el SAF presentaba una calidad aceptable, el BS era más sensible y el CO tenía una calidad marginal. Según el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), el SAF tenía el mayor índice de calidad, aunque con desviaciones ocasionales de los valores óptimos, mientras que el CO tenía el menor índice y distantes indicadores de valores deseables en la tierra. Este estudio destacó la eficacia del SUSS como una herramienta sencilla pero efectiva para evaluar y monitorear la

calidad de la tierra en función del uso, decisivo para la gestión sustentable en áreas de selva alta como Huánuco, Perú.

Andrade (2020), en su investigación titulada "Calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú–2018" se enfocó en determinar la calidad de los suelos en esta región. Se realizaron muestreos en ocho puntos con seis repeticiones cada uno y se utilizaron diversos métodos analíticos para estudiar propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Los resultados indicaron una relación estrecha entre los parámetros fisicoquímicos, y revelaron condiciones óptimas en general, aunque con niveles elevados de nitratos que requieren control. La presencia de contaminación de origen antropogénico fue evidente en el área. En resumen, los suelos mantienen una calidad y fertilidad moderadas, pero se requieren medidas para controlar la contaminación y garantizar el éxito de futuras siembras en los suelos.

Ferreras (2019) El estudio titulado "Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad de la tierra en distintos manejos" se enfocó en estudiar la sensibilidad de parámetros químicos y bioquímicos en suelos de la Región Pampeana bajo diversos manejos agrícolas, comparando parcelas cultivadas con suelos no perturbados. Los resultados revelaron que la actividad agrícola tuvo un impacto significativo en los parámetros evaluados, con valores más bajos en las parcelas cultivadas en la mayoría de los casos. La correlación positiva entre la actividad enzimática y el contenido de carbono orgánico sugiere que estos parámetros están relacionados con las funciones del suelo. Estos hallazgos destacan la utilidad de estos indicadores para monitorear cambios en la calidad del suelo y su respuesta a perturbaciones, teniendo implicaciones importantes para la gestión sostenible de los suelos en la Región Pampeana.

Estrada (2017), en su investigación titulada "Indicadores de calidad de suelo para estudiar su fertilidad" se enfocó en la Mixteca Alta Oaxaqueña, México, una región con niveles preocupantes de degradación del suelo debido a la erosión hídrica y eólica. El objetivo fue desarrollar indicadores de calidad de suelo (ICS) basados en atributos químicos, fisicoquímicos y biológicos para evaluar la fertilidad del suelo y mapear la degradación. Los resultados revelaron un estado precario de fertilidad en los suelos de la región, respaldado por los valores de ICS y las clases de calidad del suelo. Esto subraya la importancia de medidas correctivas en el manejo agronómico de los suelos para prevenir una mayor degradación y mejorar la fertilidad. La propuesta, de ejecución sencilla y bajo costo, puede respaldar políticas públicas regionales y utilizar información disponible en la literatura, junto con la participación de la comunidad local.

Castillo (2021), en el estudio titulado "Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores" investigó la calidad actual de las tierras agrícolas de Tepeaca, México, con un enfoque en su historia agrícola y patrones de cultivo. Se analizó características fisicoquímicas y biológicas de tierras bajo distintos empleos, y se identificaron indicadores de calidad. Los indicadores seleccionados permitieron distinguir suelos no cultivados de suelos alterados por prácticas agrícolas, y se observaron variaciones relacionadas con los patrones de cultivo. Se desarrolló un índice de calidad del suelo que brinda información sobre la dirección del cambio en la calidad del suelo en respuesta a modificaciones en los indicadores. Estos hallazgos subrayan la importancia de estrategias de manejo agronómico adecuadas para preservar y mejorar la calidad de la tierra en contextos agrícolas.

Vásquez (2018) en su investigación el objetivo fue definir las propiedades fisicoquímicas y su relación con los microorganismos existentes en la tierra con especies forestales dominantes Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) donde se encuentran establecidas las parcelas permanentes de medición 4, instalada en el año 2002 cuyas medidas son de 100 m x 100 m, subdivididas en 25 subparcelas. Los resultados obtenidos mostraron que los suelos con predominancia de *Pourouma minor* presentaban mayor cantidad de arena (30,0%), potasio (75,23 ppm), densidad aparente (1,11 g/cc), temperatura (24,45 °C) y resistencia a la penetración (2,85 kg/cm²), mientras que donde existía *Cedrelinga cateniformis* presentó mayor limo (41,50%), fósforo (3,95 ppm), magnesio (0,70 K (Cmol(+) \cdot kg⁻¹)), aluminio (6,20 K (Cmol(+) \cdot kg⁻¹)) e hidrógeno (0,68 K (Cmol(+) \cdot kg⁻¹)), y en los suelos con *Senefeldera inclinata* presentaron mayor contenido de arcilla (36.50%), pH (4,34), MO (2,45%), N (0,11%) y calcio (3,30 K (Cmol(+) \cdot kg⁻¹)). Así como mayor cantidad de especies de los microorganismos (4,00 unid.) y mayor cantidad de mohos y levaduras (2400,00 unid.), en caso de *Cedrelinga cateniformis* registró mayor cantidad de actinomicetos (2050,00 unid.) y mayor cantidad de bacterias (4325,00 unid.) se encontró los suelos con *Senefeldera inclinata*,

En suelos con *Cedrelinga cateniformis* se registró correlación entre el aluminio y las especies de microorganismos ($r=-0,973$), el hidrógeno con la cantidad de actinomicetos ($r=-0,981$) y el magnesio con la cantidad de bacterias (0,988); en el suelo con *Pourouma minor*, se reportó correlación entre el potasio y el número de actinomicetos ($r=-0,952$) y en el suelo con *Senefeldera inclinata*, el hidrógeno se correlacionó con la cantidad de especies ($r=0,966$) y el potasio con la cantidad de bacterias ($r=0,988$).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Fue realizado en 25 parcelas de 20 m x 20 m con especies forestales localizadas dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva la cual se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la universidad, políticamente pertenece al distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco; geográficamente se localiza a 9°17'08" de latitud Sur y 75°59'52" de longitud Oeste, a 660 m.s.n.m. y una temperatura promedio anual de 24.5 °C.

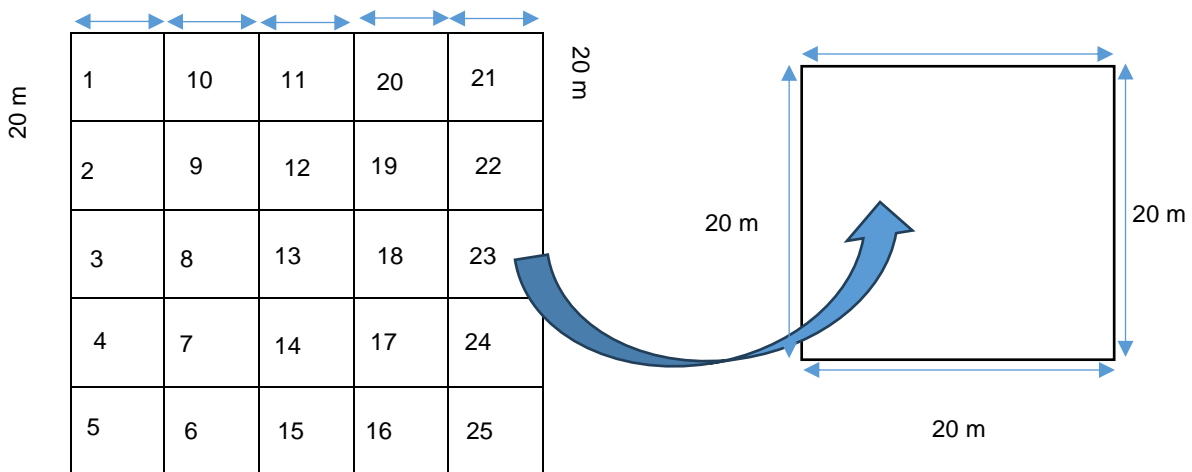
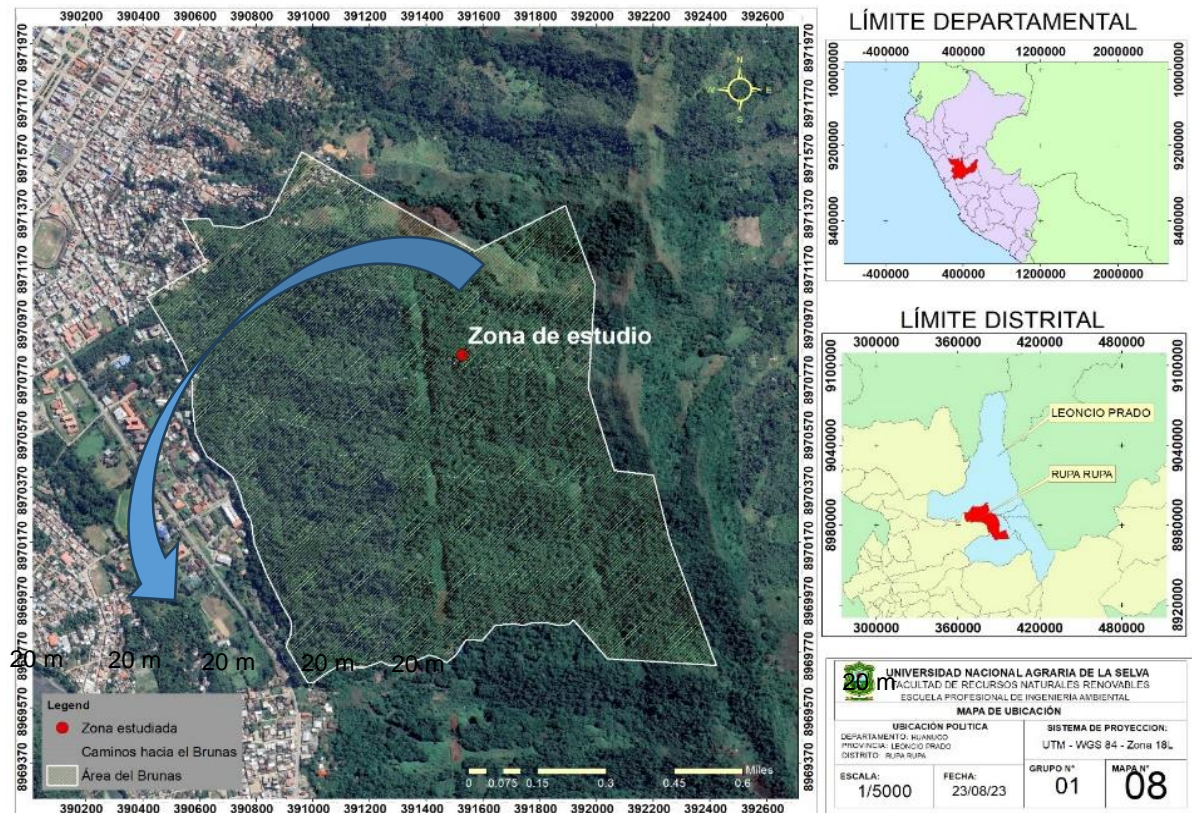


Figura 1. Mapa de ubicación y distribución de las parcelas en el BRUNAS

3.1.1. Aspectos ambientales

Desde el punto de vista ecológico, según la clasificación mundial de zonas de vida o comunidades vegetales y el mapa bioclimático de Holdridge (1982), la provincia de Leoncio Prado se ubica en la formación vegetal del bosque muy húmedo del Pre-montano bmh-PT, y según la región natural del Perú pertenece Rupa Rupa o Selva Alta. El clima es tropical y cálido, temperatura media anual de 24 a 26°C, humedad relativa del 87% y precipitación media anual de 3 300 mm. La información fue obtenida de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones-Tingo María.

3.1.2. Lugar de procesamiento de muestras

Los análisis de las muestras fueron realizados en el laboratorio de calidad de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, geográficamente se localiza a 390552 m por el Este y 8970629 m por el Norte, a 660 m.s.n.m.

3.1.3. Descripción de las especies forestales en las subparcelas

La Parcelas Permanente de Muestreo (PPM-4) fue establecida el año 2002 con el fin de conocer la dinámica arbórea del BRUNAS, cuyas dimensiones son de 100 m x 100 m, subdivididas en 25 subparcelas. Los puntos de muestro se llevaron a cabo tomando en consideración la composición florística identificada por Pinedo (2013) utilizando tecnología field-map en el BRUNAS en una parcela permanente de medición (PPM) de 100 m x 100 m, manifiesta que el índice de valor de importancia estuvo constituido por: *Iryanthera laevis* Markgraf, *Pourouma minor*, *Inga altissima* Ducke, *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Cecropia membranacea* Trecúl las mismas que alcanzan un 165,83% de jerarquía. Las especies vegetales más abundantes fueron: *Iryanthera laevis*, *Pourouma minor*, *Inga altissima*, *Schizolobium parahyba*, *Shefflera morototoni*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Cecropia membranacea*, las cuales abarcan un 60.25% del total determinado que fue 624 individuos comprendidos entre fustales, palmeras y árboles maduros. Las especies con mayor repetición registrada fueron: *Iryanthera laevis*, *Pourouma minor*, *Inga altissima*, *Schizolobium parahyba*, *Schefflera morototoni*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Cecropia membranacea* Trecul, las cuales representan un 44.94% de las repeticiones totales. Las especies dominantes alcanzaron un 70.96% del área basal total (29.2 m²), entre ellos se encontró la *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke con mayor área basal, *Schizolobium parahyba*, *Shefflera morototoni*, *Pourouma minor*, *Iryanthera laevis*, *Cecropia membranacea* e *Inga altissima*. Las especies dominantes que no fueron establecidos pero que cuentan con alta dominancia fueron *Schizolobium parahyba* y

Sheflera morototoni. Así como el índice de valor de importancia (IVI) ecológica de las especies de cada subparcela, identificada por Díaz (2017) donde menciona entre las especies con mayor promedio respecto a la dominancia se encuentran la subparcela 14, 16, 17, 22 *Senefeldera inclinata*, subparcela 25, 4, 2, 19 *Pourouma minor*, subparcela 1, 11, 19, 23 *Cedrelinga cateniformis* siendo estos los puntos de muestreo.

3.2. Material y equipos

3.2.1. Materiales

Para el muestreo Se emplearon: Bolsas herméticas, costales, cuaderno de apuntes, lapiceros, etiquetas, tabla de Munsell, cilindro volumétrico.

3.2.2. Equipos

Se emplearon: balanza digital, cámara fotográfica digital, termómetro y laptop ASUS.

3.3. Tipo de investigación

Este estudio se realizó como una investigación descriptiva, ya que su objetivo fue describir la calidad del suelo en BRUNAS.

3.4. Variables y operacionalización

3.4.2.1. Variable de investigación

Variable: Calidad del suelo en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)

Definición: Evaluación integral de la calidad del suelo en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) utilizando criterios físicos, químicos y biológicos.

Indicadores:

- Textura del suelo (Porcentaje de arena, limo y arcilla)
- Estructura (por sus características laminar, migajón, bloque etc.)
- Densidad aparente (valor de densidad aparente)
- Porosidad (porcentaje de porosidad)
- Resistencia a la penetración (Kg de resistencia a la penetración del suelo)
- Infiltración (tasa de infiltración del agua)
- pH del suelo (valor de pH del suelo)

- Contenido de MO (porcentaje de materia orgánica en el suelo)
- Nitrógeno total (concentración de nitrógeno total)
- Fósforo disponible (concentración de fósforo disponible)
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (concentración de CIC en función al pH).
- Densidad (número de especies presentes/m²).
- Biomasa microbiana (cantidad de biomasa microbiana presente).
- Diversidad de especies (número de especies presentes y abundancia relativa de especies).

3.4.2.2. Operacionalización

Tabla 10. Operacionalización de variable.

Variable	Definición operacional	Indicador	Criterios de medición
Calidad del suelo	La calidad del suelo se refiere a su capacidad intrínseca para desempeñar funciones biológicas, químicas y físicas óptimas, evaluada mediante indicadores físicos, químicos y biológicos.	Textura del suelo	Porcentaje (%)
		Densidad aparente	g/cm ³
		Estructura	Laminar, migajoso,
		Porosidad	Porcentaje (%)
		Resistencia a la penetración	Kg/m ³
		Infiltración	mm/hora
		pH del suelo	Unidad de pH

Contenido de materia orgánica	Porcentaje (%)
	Concentración
Nitrógeno total	(mg/kg)
	Concentración
Fosforo disponible	(mg/kg)
Densidad de especies	Número de especies/m ²
Biomasa microbiana	Cantidad (g/m ²)
Diversidad de especies	Número de especies, índice de abundancia relativa

3.5. Diseño experimental

El diseño que empleó fue de tipo descriptivo longitudinal correlacional con veinticinco muestras recolectadas (P11: Punto 11, P12: Punto 12, P13: Punto 13, P14: Punto 14, P15: Punto 15, P16: Punto 16, P17: Punto 17, P18: Punto 18, P19: Punto 19, P20: Punto 20, P21: Punto 21, P22: Punto 22, P23: Punto 23, P24: Punto 24, P25: Punto 25).

3.6. Diseño estadístico

Análisis de datos: Se utilizaron análisis estadísticos descriptivos, además de pruebas de comparación, como análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de correlación, para evaluar las diferencias entre grupos y las relaciones entre variables. Los resultados se presentaron en gráficos y tablas para una mejor comprensión.

3.7. Metodología

3.7.1. Describir los indicadores físicos (textura, estructura, densidad aparente, resistencia a la penetración del suelo) en subparcelas con especie forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)

- Identificación del área de estudio

Se realizaron las visitas correspondientes para el reconocimiento del área de estudio y así establecer los puntos de muestreo en las parcelas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS).

- Muestreo de suelo

Se realizó un recorrido por toda la parcela, tomando 5 submuestras por cada parcela (Figura 2) cuatro muestras a una distancia entre 1-2 metros de cada vértice y una muestra en el centro de la parcela. Se limpió en cada lugar de muestreo un área de 30 x 30 cm y con una lampa recta haciendo un corte en el suelo en forma de “V”; de un lado del cual se extrajo una submuestra. Se depositaron en un costal de yute y se mezclaron para homogenizar el suelo, se tomó 1 kilogramo, se colocaron en bolsas plásticas rotuladas, para consecuentemente secarlos y luego ser enviados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico y químico. Teniendo un total de 25 parcelas y 25 muestras de suelo.

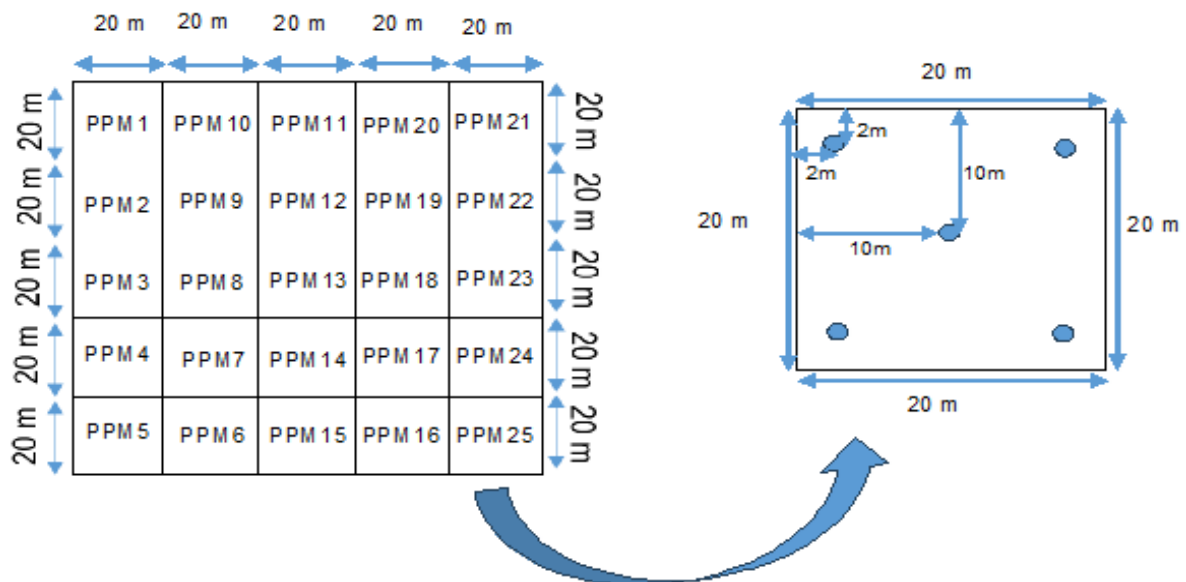


Figura 2. Distribución de los puntos de muestreo de las subparcelas PPM1.

Las dimensiones de cada monolito estuvieron constituidas de la siguiente manera (Figura 3).

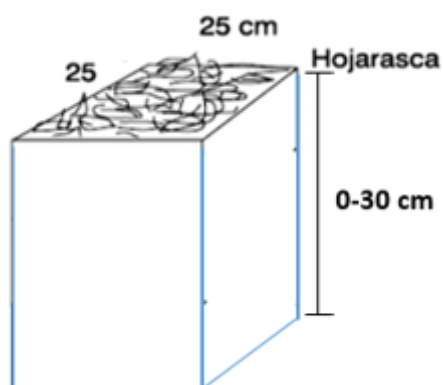


Figura 3. Dimensiones del monolito.

- **Análisis de datos**

Se considerará los rangos de interpretación proporcionados por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la UNAS para comprender los resultados de los análisis. Se examinaron diversas variables, como la textura (arena, limo y arcilla), el pH, la MO, N, P y el K. Para evaluar el vínculo entre las propiedades del suelo y el tiempo, se emplearon estudios de regresión y correlación simple, utilizando modelos matemáticos específicos. Además, fue utilizada la prueba estadística r (coeficiente de Pearson) para definir la relación entre las características fisicoquímicas del suelo y la densidad y biomasa de la macrofauna.

- **Indicadores físicos de las subparcelas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)**

Para determinar el análisis de indicadores físicos:

- Textura del suelo: Se realizó un análisis granulométrico en el laboratorio para determinar la proporción de arena, limo y arcilla en cada muestra.
- Densidad aparente: Se utilizó un cilindro volumétrico y una balanza para medir la densidad aparente de las muestras.
- Porosidad: Se calculó la porosidad del suelo a partir de los datos de densidad aparente e infiltración.
- Infiltración: Se realizó pruebas de infiltración en el campo para definir la velocidad de absorción del agua en el suelo.

3.7.2. Describir los indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio, magnesio) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)

Para determinar el análisis de indicadores químicos, estos se obtuvieron a partir de los análisis de suelos que fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos de la UNAS, adscrita a la Facultad de Agronomía por los diferentes métodos:

- pH del suelo: Utilizamos un medidor de pH o un indicador junto con una solución buffer para medir el pH de las muestras.
- Contenido de MO: Empleamos el método de Walkley-Black o el método de combustión seca para definir el contenido de carbono orgánico en las muestras.
- Nitrógeno total: Utilizamos el método Kjeldahl para definir la concentración de nitrógeno total en el suelo.
- Fósforo disponible: Realizamos análisis químicos estándar, como el método de Bray o el método Mehlich, para definir la disponibilidad de P en el suelo.

3.7.3. Describir los indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de especies) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).

Para determinar el análisis de indicadores biológicos:

- Densidad de macroorganismos: utilizamos técnicas de muestreo, conteo y clasificación de las especies.
- Biomasa microbiana: Utilizamos técnicas de muestreo y análisis microbiológicos para determinar la cantidad de biomasa microbiana presente en las muestras.
- Diversidad de especies: Realizamos el análisis de diversidad biológica mediante técnicas de identificación de especies en el suelo, como trampas de insectos, recolección de muestras y análisis de laboratorio.

3.7.4. Relacionar los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS).

- Coeficiente de correlación en R

Se analizó los datos recopilados en el campo y en el laboratorio, se organizó y procesó los datos para obtener las tablas procesadas utilizando el programa spss. Fue utilizada

la prueba estadística de correlación de Pearson para definir la relación entre las propiedades fisicoquímicas y biológicas. (Hernández *et al.*, 2014; Supo y Zacarías, 2020).

- **Análisis de datos**

Para definir grado de relación entre las propiedades de la tierra y los microorganismos, fue realizado el estudio de correlación, se basó en los siguientes modelos matemáticos.

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coefficiente de correlación

Además, se utilizarán pruebas estadísticas r para evaluar la relación entre dos variables medidas a nivel de intervalo o relación. (Hernández *et al.*, 2014).

El coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a + 1.00, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante.) Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de los indicadores físicos (textura, estructura, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)

4.1.1. Textura

Observamos los resultados del análisis en laboratorio para la textura del suelo, en el cual las 25 submuestras presentan una textura de suelos franco con promedio de arena 52%, arcilla 20% y limo 29%, con un variación alta en la porción de arcilla con un 17.56%, siendo más bajo en la porción limo con un 8.27%, estos valores indican que las condiciones del suelo con respecto a este valor encontrado son ideales y para todas las subparcelas de modo similar tal cual lo corrobora el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos encontrados, por tanto presenta condiciones saludables al menos según lo indica para este parámetro, según manifiesta Murillo (2010) los indicadores mensurables de la calidad del suelo tienen como función principal establecer las condiciones, características, estados, metas que permitan analizar la calidad de un suelo, que en nuestro caso resultó de condiciones favorables, cabe añadir que estas factor permite deducir e inferir también con opinión favorable otras propiedades como las físicas y químicas.

Tabla 11. Textura de los suelos encontrados en los cuatro tipos de cultivos.

Parámetros	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura
Promedio	52	20	29	Franco
Conteo	25	25	25	.....
Máximo	60	26	33	.....
Mínimo	44	16	23	.....
Desviación. Estándar	4.98	3.49	2.42	.....
Coeficiente de Variación (%)	9.60	17.56	8.27	.....

En otro sentido, según lo encontrado en la presente investigación (figura 4), el suelo con una textura franca muestra el proceso de recuperación del suelo dentro de un bosque, aspecto palpable y factible por la provisión de residuos por parte del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo que sumado a la interacción con el clima y la fisiografía del lugar permite encontrar estos tipos de suelos, que por los valores encontrados resultan ideales para el desarrollo de los árboles y la regeneración natural que allí se encuentra.

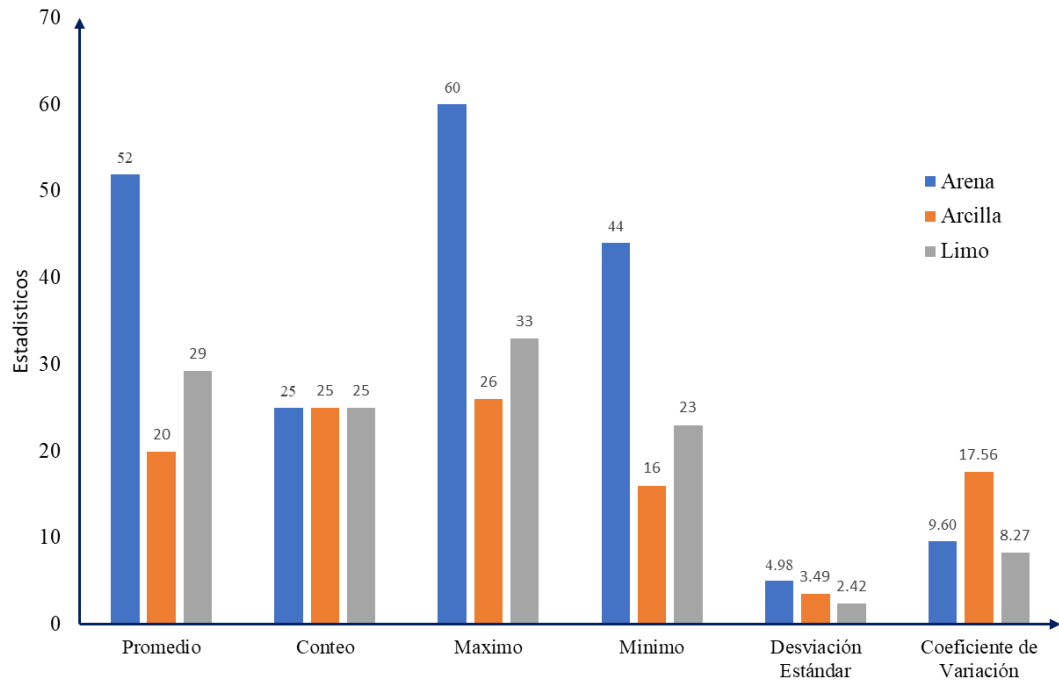


Figura 4. Estadísticos descriptivos para la textura del suelo en el BRUNAS.

4.1.2. Estructura

La estructura del suelo en las subparcelas con especies forestales dentro del BRUNAS a una profundidad entre 0 – 10 cm tienen una estructura granular en 18 de ellas, con colores entre 5YR 3/3 y 7.4YR 3/4 seguido de la estructura granular medio en 5 subparcelas y de color entre 5YR3/3, 7.5 YR 2.5/3, como las más abundantes en el área muestreada dentro del bosque, ante ello manifestamos que, como la estructura de la tierra se refiere a la disposición de las partículas del suelo en agregados, puede influir en otras propiedades como la aireación, la retención de agua y la penetración de raíces y como estos resultados denotan que un 72% de las parcelas presentan una estructura granular y un 20% presentan una estructura granular media, valores en la estructura del suelo que tendrán un impacto significativo y de todas maneras positivo para las plantas del bosque.

Tabla 12. Estructura de los suelos e las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Profundidad	Estructura	Color	N° muestras	%
0-10	Granular	5YR 3/3, 5YR3/4, 7.5YR3/4, 7.5 YR 3/4 y 7.4YR 3/4	18	72
0-10	Granular medio	5YR3/3, 7.5 YR 2.5/3	5	20
0-10	Bloque	7.5YR3/4	1	4

0-10	Bloque pequeño	7.5YR3/4	1	4
------	----------------	----------	---	---

Bernal y Hernández (2017) refieren que la estructura de la tierra es fundamental para la salud de la tierra y se puede evaluar observando la estabilidad de los agregados, el cual influye en diversas propiedades del suelo, como el drenaje, la aireación, por tanto, lo encontrado en la investigación resulta una estructura del suelo óptimo y por ende favorable ya que la buena estructura del suelo facilita la penetración de las raíces, permitiendo un mejor acceso a los nutrientes. Estos factores combinados tienen un impacto significativo en el ciclo de nutrientes, lo que, en última instancia, favorecen a la vegetación.

4.1.3. Densidad aparente

Los resultados mostrados con respecto a la variable densidad aparente del suelo muestra que el promedio en las 25 subparcelas es 1.33 g/cm^3 , mostrando también que el valor máximo es de 1.99 g/cm^3 y el valor mínimo de 0.79 g/cm^3 , el cual genera un coeficiente de variación de 24.27% que es relativamente alto, pero aceptable según algunos autores, este valor promedio de acuerdo con SAGARPA (2012) nos dice que, en suelos francos como es nuestro caso es ideal para el desarrollo de las raíces de las plantas, la textura es una propiedad muy relevante, mientras Salamanca (2005) indica que los valores de densidad aparente varía considerablemente por este factor, además de la cantidad de MO presente y las prácticas de manejo del suelo, por tanto, las subparcelas presentan una densidad aparente del suelo ideal para su desarrollo, sobre todo para las especies del sotobosque, hierbas y arbustos que aseguran la presencia de la regeneración natural en el bosque.

Tabla 13. Densidad aparente de los suelos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	DA (g/cm^3)	Interpretación
Promedio	1.33	Ideal en el crecimiento de las raíces
Conteo	25	.....
Máximo	1.99	.....
Mínimo	0.79	.....
Desviación Estándar	0.32	.....
Coefficiente de Variación (%)	24.27	.....

Con respecto a los valores máximos y mínimos de la densidad aparente que producen un coeficiente de variación relativamente alto (figura 5) , podemos decir que los

valores por cada subparcela difieren medianamente entre ellos a pesar de estar cercanos, tal como lo mencionaba Salamanca (2005) varían por las actividades que allí ocurren, la materia orgánica también, en ese sentido podríamos decir que la fisiografía del área también influye por el arrastre de la escorrentía a causa de la precipitación que produce diferentes valores por más que el muestreo se haya hecho con el protocolo debido y sean cercanos entre ellos, en contraste con la densidad real, la densidad aparente siempre muestra una gran variabilidad de acuerdo al autor antes mencionado.

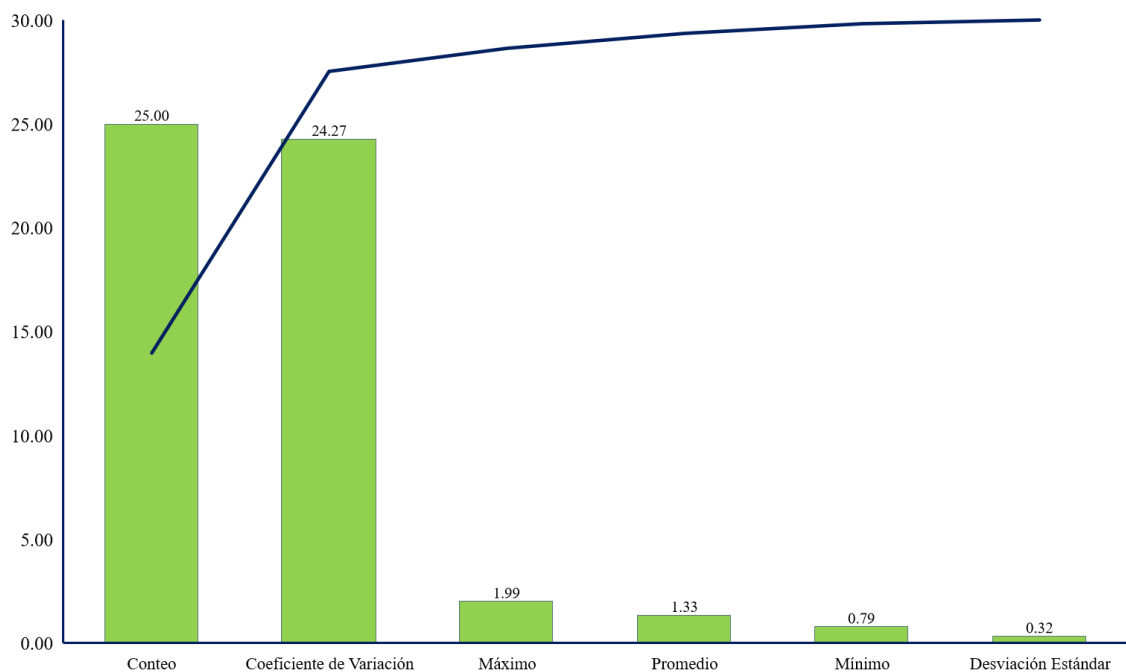


Figura 5. Estadísticos para la densidad aparente en las subparcelas del BRUNAS.

Los resultados encontrados en las subparcelas del BRUNAS muestran un promedio de 1.33 g/cm^3 difieren con lo obtenido por Vásquez (2018) quien determinó 1.11 g/cm^3 en el mismo con presencia de especies forestales característicos de la zona, sobre todo *Cedrelinga cateniformis* y *Senefeldera inclinata*.

4.1.4. Porosidad

Los resultados obtenidos (tabla 15 y figura 6), muestran que el valor promedio para la porosidad del suelo es de 48.85% con un valor máximo de 54.86% y un valor mínimo de 43.69% resultando con un coeficiente de variación de 7.95%, el cual indica una baja dispersión de los valores en las 25 subparcelas del BRUNAS, estos resultados promedios denotan que toda el área presenta una porosidad moderada y al tener poca dispersión en los valores se puede inferir para todo el bosque, de acuerdo con Cairo y Fundora (2002) la porosidad de un suelo es el porcentaje de su volumen que no está ocupado por la parte sólida,

es decir tendrá bastante aireación y buena retención de agua, entonces el área evaluada presenta aireación y retención de agua moderada, que son alentadores para el buen desarrollo de la vegetación y el aseguramiento de la provisión de agua en la parte baja del bosque, porque Horowitz y Walling (2005) indicaron que la porosidad de la superficie de la tierra define en gran medida las etapas de infiltración y escorrentía del agua que dañan la erosión hídrica y el transporte del agua en el suelo.

Tabla 14. Valores numéricos de la porosidad en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	Porosidad (%)	Interpretación
Promedio	48.85	Porosidad moderada
Conteo	25	.....
Máximo	54.86	.....
Mínimo	43.69	.....
Desviación Estándar	3.88	.....
Coefficiente de Variación (%)	7.95	.....

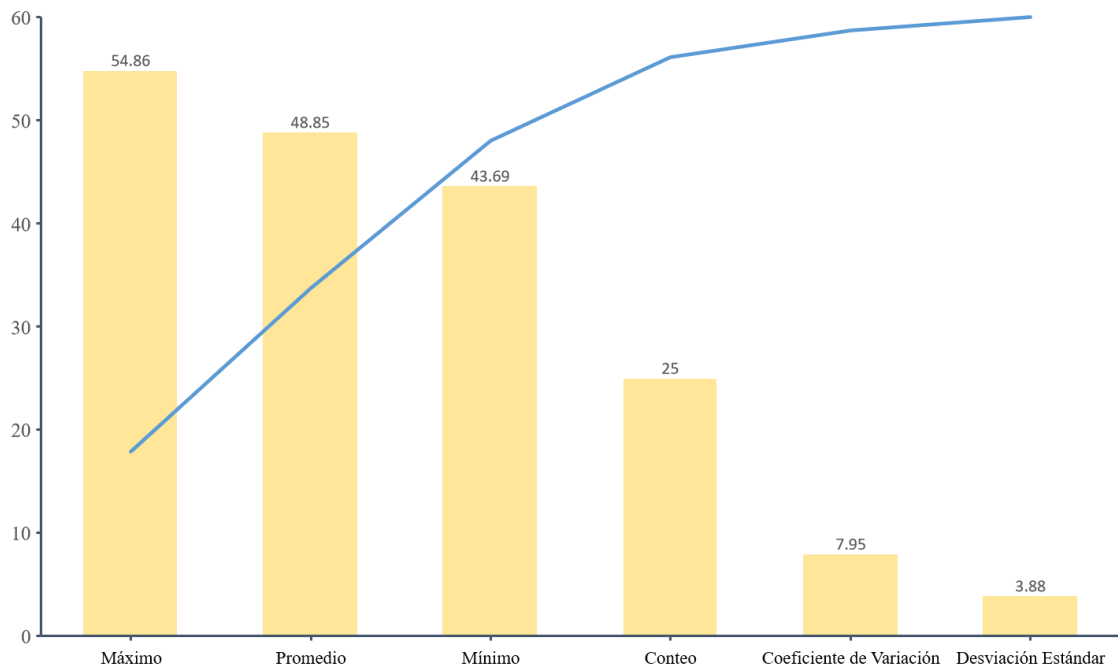


Figura 6. Estadísticos para la porosidad del suelo (%) en las subparcelas del BRUNAS.

Cabe añadir según lo observado (figura 6) que los rangos esta propiedad física del suelo varían en un 5% para el valor máximo y en diferente sentido para el valor

mínimo, resultando un coeficiente de variación de 7.95%, el cual no es alto tomando las características del área muestreada, la pendiente y la vegetación circundante.

4.1.5. Resistencia a la penetración del suelo

Los resultados obtenidos (tabla 16 y figura 7), para la resistencia a la penetración del suelo muestran un promedio para las 25 subparcelas de 1.35 kg/cm², con un valor máximo de 1.43 kg/cm² y mínimo de 1.20 kg/cm², que refieren un coeficiente de variación de 4.66 %, el cual indica la homogeneidad de los valores encontrados en las subparcelas, de acuerdo con el valor promedio encontrado se interpreta como suelos suaves y muy favorables para la vegetación del entorno ya que según USDA (1999) reporta que la resistencia a la penetración del suelo aumenta conforme aumenta la DA y la porosidad se reduce, por tanto limitan de manera considerable el desarrollo de las raíces y por ende de la planta.

Tabla 15. Valores para la resistencia a la penetración del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	RPS (kg/cm ²)	Interpretación
Promedio	1.35	Suelos suaves
Conteo	25	.....
Máximo	1.43	.....
Mínimo	1.20	.....
Desviación. Estándar	0.06	.....
Coeficiente de Variación (%)	4.66	.....

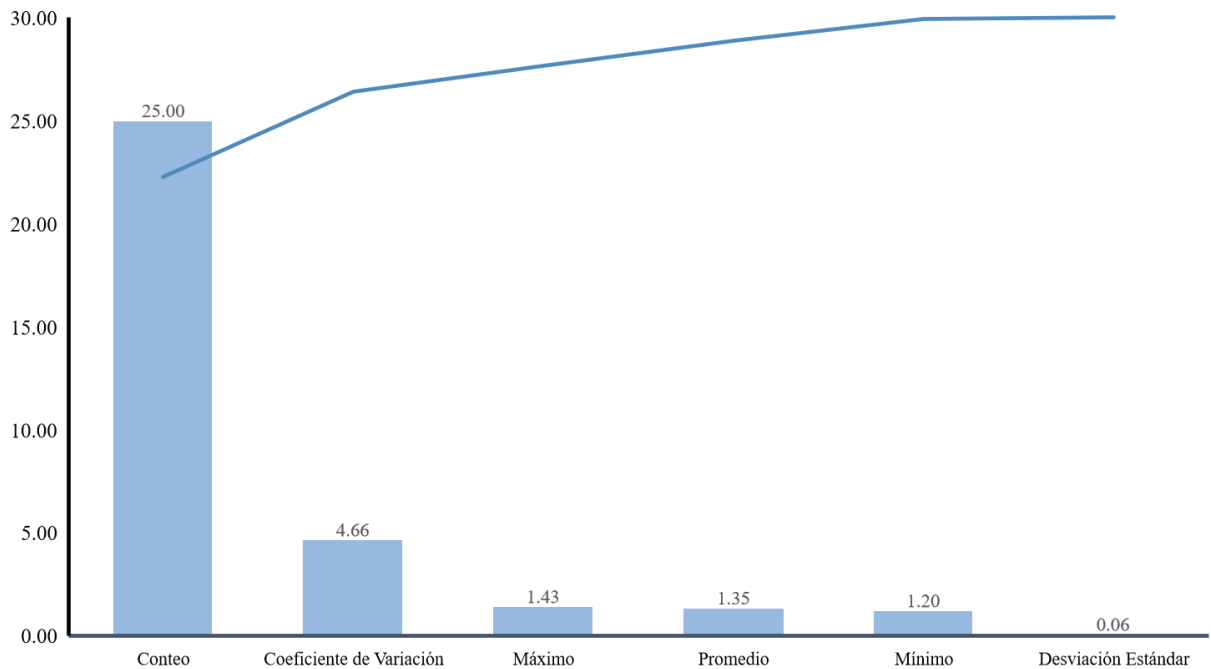


Figura 7. Estadísticos para la resistencia a la penetración del suelo en las subparcelas del BRUNAS.

Además, refiere Silva et al. (2000) Que la resistencia a la penetración del suelo está relacionada también con el contenido de humedad, por lo que suelos suaves como lo encontrado en la presente investigación ayuda a hidratar el área en beneficios de las plantas obviamente si esta resistencia sigue afectando el crecimiento se tendría que añadir más variables para evaluar como es el crecimiento de las especies en una determinada área.

También cabe resaltar que, en nuestro caso encontramos un valor numérico de 1.33 kg/cm^2 y en ese sentido añade Zerpa (2006) que, en una escala de resistencia a la infiltración de la tierra, valores mayores a $1,4 \text{ kg/cm}^2$, son característicos de suelos limitados para el enraizamiento de las especies vegetales y también comentan Bengough y Mullins (1991) la compactación de la tierra reduce considerablemente el espacio poroso y restringe el crecimiento radical de las especies, en cuanto a la investigación realizada los valores estuvieron por debajo de este valor indicado por el autor.

4.2. Descripción de los indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio, magnesio) en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)

4.2.1. pH

Los valores encontrados en la variable pH del suelo (tabla 17) para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado muestran un valor promedio de 4.37, con un valor máximo de 4.84 y un valor mínimo de 4.10 el cual genera un coeficiente de

variación de 4.55%, el cual es bajo e indica que los valores son casi homogéneos, el resultado muestra para las 25 subparcelas un suelo con pH fuertemente ácido, resultado que según Guerrero (2000) puede ser ocasionado por el clima (temperatura, precipitación, humedad) la altitud, fisiografía, etc.

Tabla 16. Valores para el pH del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	pH	Interpretación
Promedio	4.37	Fuertemente ácido
Conteo	25	.....
Máximo	4.84	.....
Mínimo	4.10	.....
Desviación. Estándar	0.19	.....
Coeficiente de variación (%)	4.55	.....

También añade Soriano (2018) que, cuando el suelo es ácido, prevalecen los iones H⁺ y aluminio en el complejo arcillo húmico, mientras que los cationes como Ca, Mg, Na y K están ausentes debido a la lixiviación causada por la lluvia el cual es excesiva en el BRUNAS y el resultado pueda deberse a los factores antes mencionados, que de alguna manera influyen en estos valores.

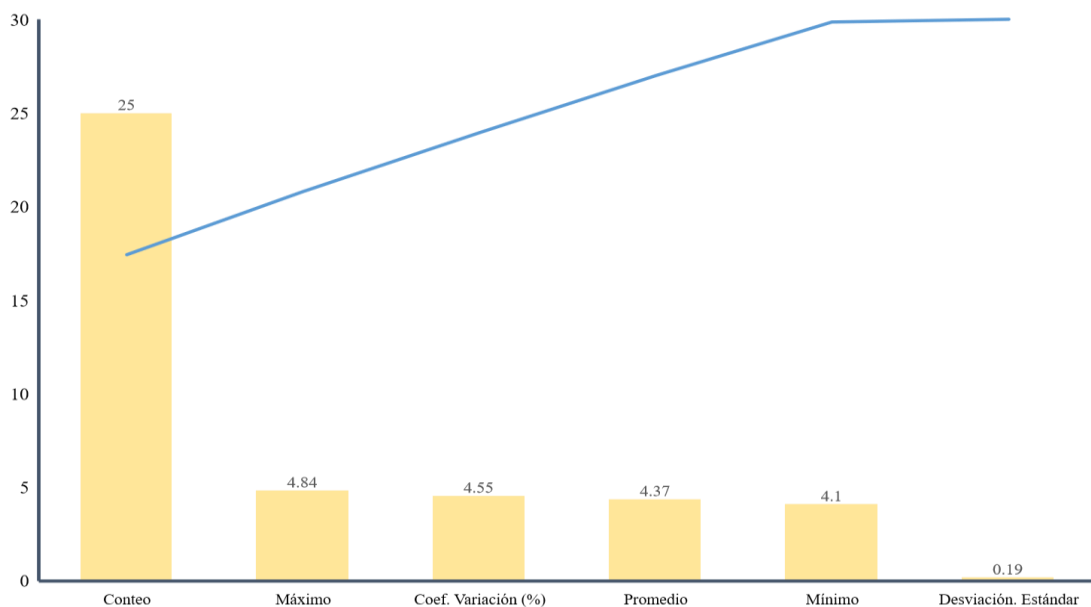


Figura 8. Estadísticos para los valores del pH del suelo en las subparcelas del BRUNAS.

Cabe añadir que toda el área muestreada muestra valores casi similares (figura 8), por tanto los suelos resultan fuertemente ácidos en todas las locaciones, Soriano

(2018) dice si el pH del suelo es inferior a 5.5, es recomendable elevarlo a al menos 6.5 mediante la aplicación de una enmienda con carbonatos de calcio, lo que facilitará la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por tanto, el pH en esta zona presenta una dificultad para el desarrollo de las especies vegetales en el bosque, en tal sentido podemos afirmar que los suelos del BRUNAS poseen una dificultad en su desarrollo con estos valores del pH encontrado.

4.2.2. Materia orgánica

Se puede observar los valores encontrados en la variable materia orgánica del suelo para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado mostrando un valor promedio de 3.14%, con un valor máximo de 4.84% y un valor mínimo de 1.12% el cual genera un coeficiente de variación de 20.39%, el cual es relativamente alto e indica que los valores son dispersos y heterogéneos, el resultado muestra para las 25 subparcelas un suelo con valores de la materia orgánica media según la FAO (2020), tratándose de un bosque podría decirse que no es un resultado esperado, pero que se explicaría por la fuerte precipitación y la pendiente que arrastran la parte superficial del suelo, justamente donde se encuentra la materia orgánica en descomposición en moléculas menores, al respecto Jaramillo (2002) el suelo es producto de la excreción de animales y microorganismos, la descomposición química de los residuos vegetales o sus productos muertos de descomposición presentes en la superficie del suelo.

Tabla 17. Valores para la materia orgánica del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	MO (%)	Interpretación
Promedio	3.14	Medio
Conteo	25	.....
Máximo	4.17	.....
Mínimo	1.12	.....
Desviación. Estándar	0.64	.....
Coeficiente Variación (%)	20.39	.....

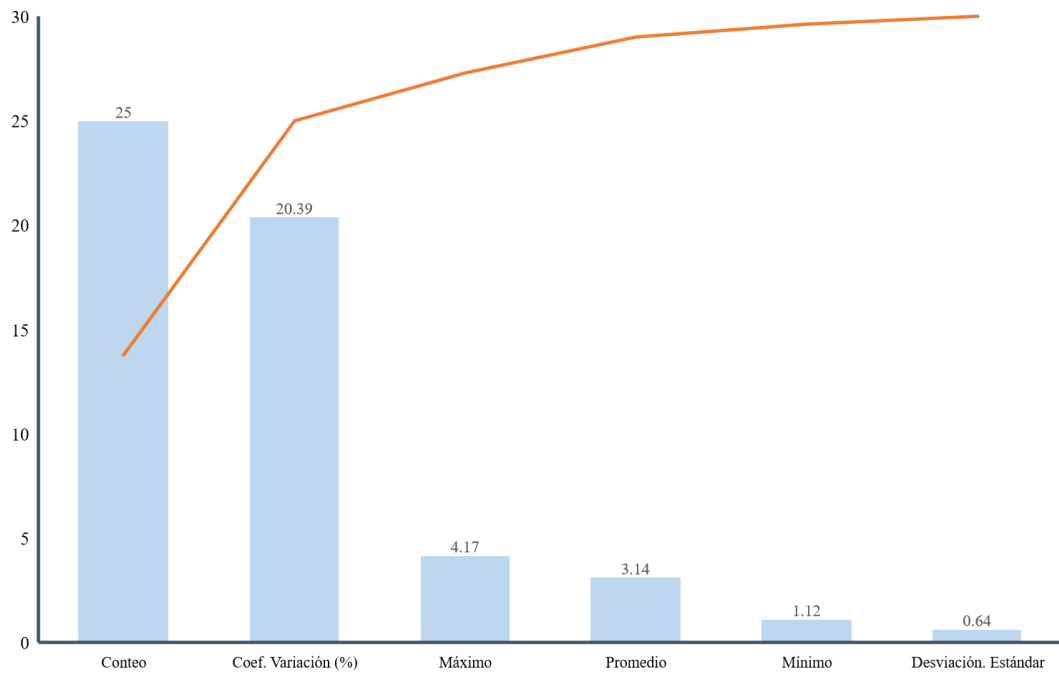


Figura 9. Estadísticos descriptivos para los valores de la materia orgánica del suelo en las subparcelas del BRUNAS.

Tal como se puede observar (figura 9), un valor promedio de 3.14% también resulta beneficioso para las plantas ya que según Fasbender (1975) la materia orgánica al degradarse genera el humus, que contiene diversas sustancias orgánicas como proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, así como minerales inorgánicos, entre otros, el cual se deriva en una mejora en los indicadores físicos como lo refiere la FAO (2020), tales como la retención de humedad, formación de agregados, eleva la CIC, retiene cationes y oligoelementos esenciales que favorecen el crecimiento de las plantas, por tanto al tratarse del BRUNAS, este valor es acorde a lo que se espera encontrar, aunque en nuestro consideraríamos esperar un valor un poco más alto.

4.2.3. Nitrógeno

Los resultados encontrados en la variable nitrógeno del suelo (tabla 19), para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado muestran un valor promedio de 0.16%, con un valor máximo de 0.21% y un valor mínimo de 0.06% del cual se decanta un coeficiente de variación de 20.41%, este valor promedio según USDA (1999) es nitrógeno con contenido medio, al tratarse de un bosque con vegetación arbórea resulta un valor esperado por el aporte de MO por parte de los árboles y arbustos que luego se convierten en humus, sabido es que la mayor parte del N en la tierra se encuentra en forma de humus, compuestos húmicos y fúlvicos, mientras que una pequeña fracción se encuentra en forma de compuestos

inorgánicos, al respecto Flaig (1975) argumenta que aproximadamente el 95% del N en el suelo encontrándose en forma orgánica y su disponibilidad para los microorganismos y las plantas aumenta gradualmente, debido a que el N presente en el suelo proviene de la atmósfera, donde se encuentra en forma de nitrógeno atmosférico, y se vuelve asimilable por la etapa de fijación realizado por bacterias fijadoras de N.

Tabla 18. Valores para el nitrógeno disponible del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	N (%)	Interpretación
Promedio	0.16	Medio
Conteo	25	.....
Máximo	0.21	.....
Mínimo	0.06	.....
Desviación. Estándar	0.03	.....
Coef. Variación (%)	20.41	.....

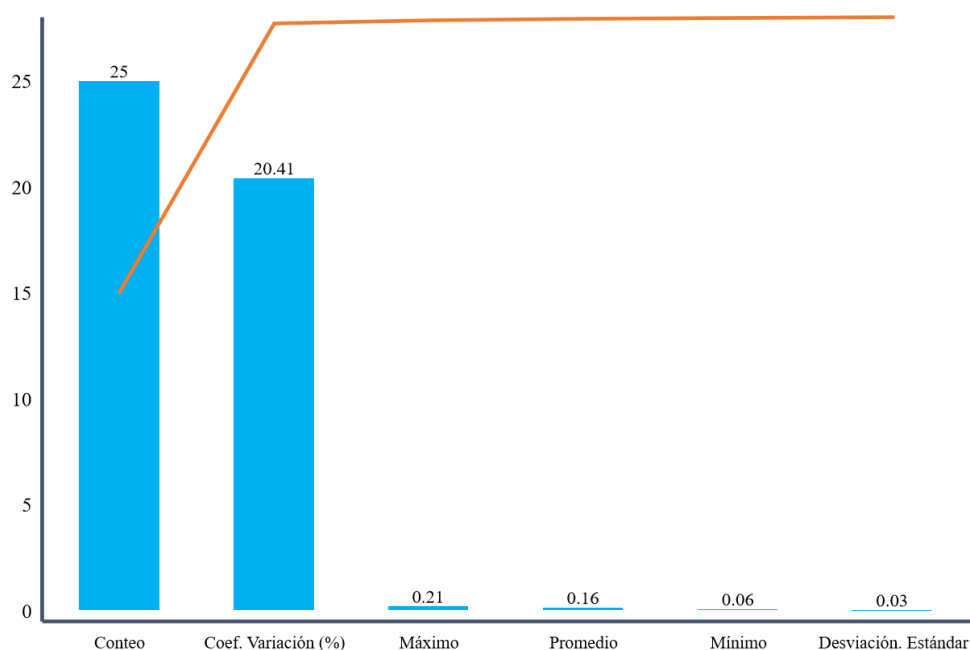


Figura 10. Estadísticos descriptivos para el nitrógeno del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Observando, podemos diferenciar que al menos una subparcela de las 25 que se valoraron presenta un alto valor de nitrógeno del suelo con 0.21% con respecto a las otras,

viendo en contraste el valor mínimo de 0.06% el cual denota que factores climáticos y fisiográficos influyen en los valores de las características químicas del suelo, de acuerdo con Navarro (2003) menciona que el estado climático influye notablemente sobre el contenido de N en los suelos, al incremento de temperatura reduce el N; al incrementar la humedad el N aumenta, por lo que algunas de las parcelas están sujetos a factores de intemperismo más que otras en las áreas muestreadas.

4.2.4. Fósforo

Se observa los valores encontrados en la variable fósforo del suelo para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado mostrando un valor promedio de 2.35%, con un valor máximo de 6.65% y un valor mínimo de 0.38% el cual genera un coeficiente de variación de 66.58%, valor muy alto que indica que los valores son muy dispersos, teniendo valores altos y bajos bien diferenciados, es decir las áreas muestreadas son muy diferenciados por locación, de acuerdo con USDA (1999) el valor promedio encontrado de las 25 subparcelas muestreadas presentan un contenido de fosforo muy bajo, de acuerdo con SAGARPA (2012) el P es poco disponible ya que en la tierra es muy reactiva y forma compuestos químicos poco solubles, en particular en tierras ácidas, por lo que, el suministro depende de la etapa de meteorización de las rocas y el aporte de fertilizantes, en la presente estudio realizado en el BRUNAS el pH es de 4.7 el cual indica acidez en el suelo, por lo que justificaría que los valores de fósforo encontrado en la investigación sea muy bajo.

Tabla 19. Valores para el fósforo del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	P (ppm)	Interpretación
Promedio	2.35	Muy Bajo
Conteo	25	.....
Máximo	6.65	.....
Mínimo	0.38	.....
Desviación. Estándar	1.56	.....
Coeficiente de Variación (%)	66.58	.....

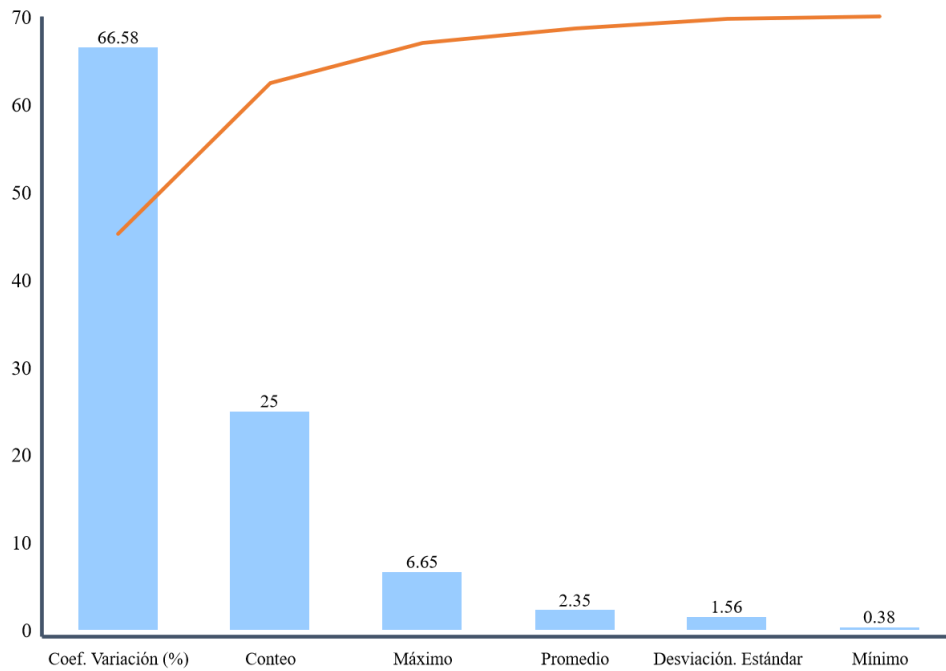


Figura 11. Estadísticos descriptivos para el fósforo del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Otro aspecto para mencionar es que el fósforo es un elemento vital en las plantas, de acuerdo con Rojas (2006) desempeña un papel fundamental en las plantas al formar parte de componentes esenciales como proteínas y ácidos nucleicos, incluyendo el ADN y ARN, y contribuye a procesos relacionados con la diferenciación de las plantas, pero este elemento tiene predilección en formar compuestos poco solubles lo que limita su disponibilidad, en tal sentido podemos afirmar que el bosque en investigación posee valores de contenido de fósforo muy bajo, cabe mencionar que también de forma natural las proporciones de fósforo son bajas lo que limita su baja disponibilidad en la solución suelo, en concentraciones de fósforo muy reducidas en la misma para las plantas.

4.2.5. Potasio

Se observa los valores numéricos de la variable potasio del suelo para las 25 subparcelas con especies forestales en el BRUNAS mostrando un valor promedio de 69.86 ppm, con un valor máximo de 115.00 ppm y un valor mínimo de 49.68 ppm el cual nos da un coeficiente de variación de 27.67%, valor relativamente alto que indica que los valores de potasio en el área de muestreo son muy dispersos, de acuerdo con USDA (1999) el valor promedio obtenido de 69.86 ppm se interpreta como un contenido muy bajo de este macroelemento.

Tabla 20. Valores para el potasio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	K (ppm)	Interpretación
Promedio	69.86	Muy Bajo
Conteo	25	.....
Máximo	115.00	.....
Mínimo	49.68	.....
Desviación. Estándar	19.33	.....
Coefficiente de Variación (%)	27.67	.....

Por otro lado, observando los estadísticos determinados (figura 12) vemos una gran dispersión de los datos con respecto al valor máximo y mínimo encontrado, eso nos permite deducir que en el área este macroelemento posee valores muy bajos en algunas locaciones y otras tienen valores altos, el cual desprende un coeficiente de variación de 27.67% que es relativamente alto, el cual confirma la variabilidad de este macroelemento en distancias mínimas y se puede explicar porque es un bosque y mas no un área de cultivo manejado.

El potasio es un macroelemento esencial para las especies vegetales, de acuerdo con carbonero (2007) es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, y su demanda solo es superada por la del nitrógeno y el calcio y se caracteriza por ser móvil en las plantas y desempeña un papel crucial en numerosas reacciones enzimáticas, incluyendo procesos como la glicólisis, fosforilación y oxidación, entre otros.

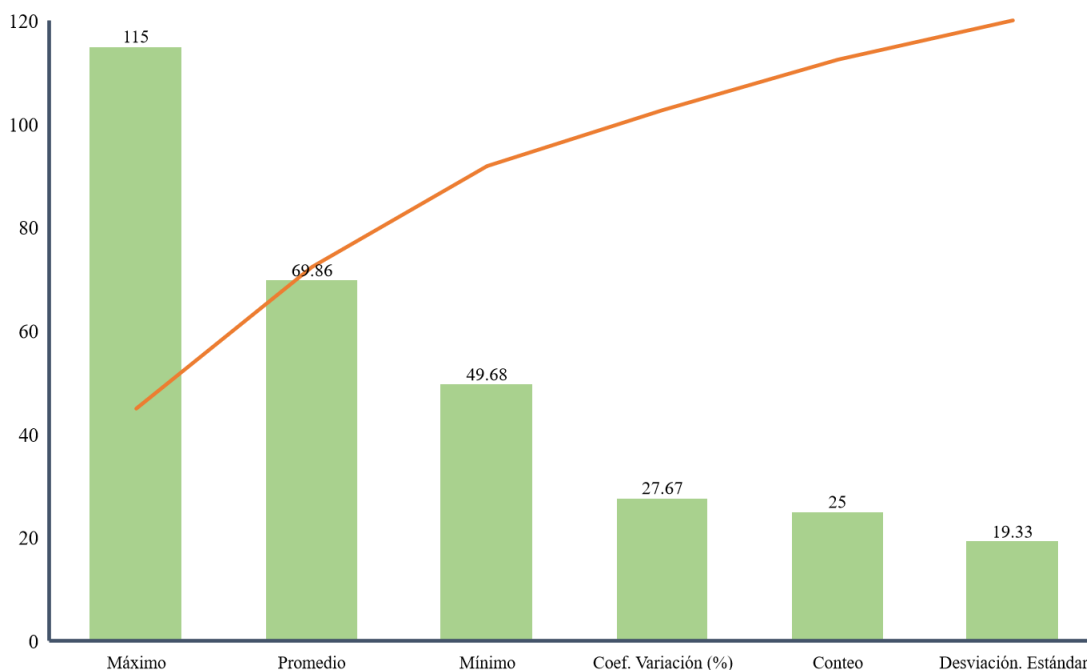


Figura 12. Estadísticos descriptivos para el potasio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Se visualiza los valores encontrados en la variable de la CICE del suelo (tabla 22 y figura 13), para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado mostrando un valor promedio de 7 cmol/kg, con un valor máximo de 8.15 cmol/kg y un valor mínimo de 5.63 cmol/kg el cual genera un coeficiente de variación de 9.13%, valor medio que indica que los valores son dispersos medianamente. Al respecto podemos afirmar que de acuerdo con el valor promedio obtenido este posee una CIC muy bajo, por lo que se deduce que son suelos con muy baja capacidad de retención de nutrientes, generalmente pobres en fertilidad, explicado también por el pH obtenido en el área muestreada del bosque.

De acuerdo con INTAGRI (2015) conocer la CICE de la tierra es primordial, ya este valor indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes, sabiendo que la CICE, es una medida más específica de la CIC que se calcula en condiciones actuales del suelo, teniendo en cuenta el pH real del suelo en el momento de la medición, esta medida es una herramienta valiosa para la gestión agrícola, ya que proporciona una medida precisa de la capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes bajo sus condiciones naturales.

Tabla 21. Valores para la capacidad de intercambio catiónico efectivo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	CICe (meq/100g)	Interpretación
Promedio	7.00	Muy bajo
Conteo	25	.....
Máximo	8.15	.....
Mínimo	5.63	.....
Desviación. Estándar	0.64	.....
Coef. Variación (%)	9.13	.....

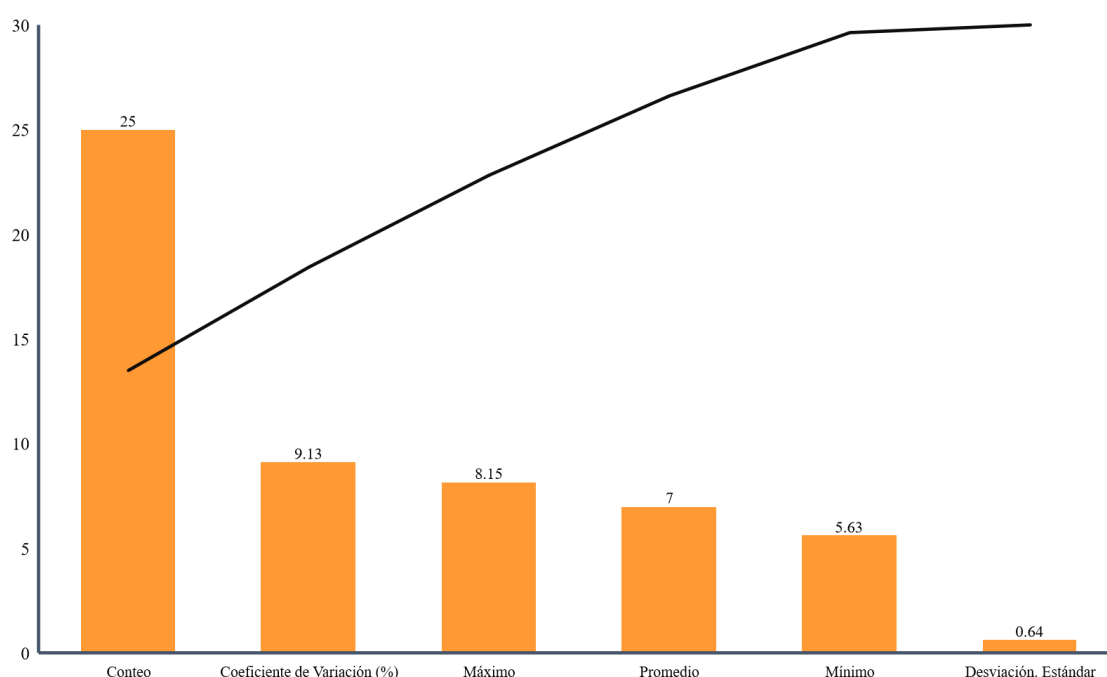


Figura 13. Estadísticos descriptivos para la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

4.2.7. Calcio

Observando los valores encontrados en la variable de calcio del suelo (tabla 13 y figura 14), para las 25 subparcelas con especies forestales del bosque reservado mostrando un valor promedio de 1.32 Cmol(+)/kg, con un valor máximo de 1.66 Cmol(+)/kg y un valor mínimo de 1.15 Cmol(+)/kg el cual genera un coeficiente de variación de 9.37%, valor medio que indica que los valores no se encuentran dispersos, de acuerdo con SAGARPA (2012) se interpreta que este valor promedio obtenido para el contenido de Ca en el suelo es muy bajo, aspecto muy preocupante dado que el calcio es un microelemento que ayuda a estabilizar la

acidez del suelo y hacer disponible los nutrientes existentes en el suelo, añade también que el calcio es relativamente abundante particularmente en zonas semiáridas, pero está presente en formas químicas de baja solubilidad, por lo que su disponibilidad en la solución suelo es baja.

Tabla 22. Valores para el calcio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	Ca (Cmol(+)/kg)	Interpretación
Promedio	1.32	Muy bajo
Conteo	25	.....
Máximo	1.66	.....
Mínimo	1.15	.....
Desviación Estándar	0.12	.....
Coficiente de Variación (%)	9.37	.....

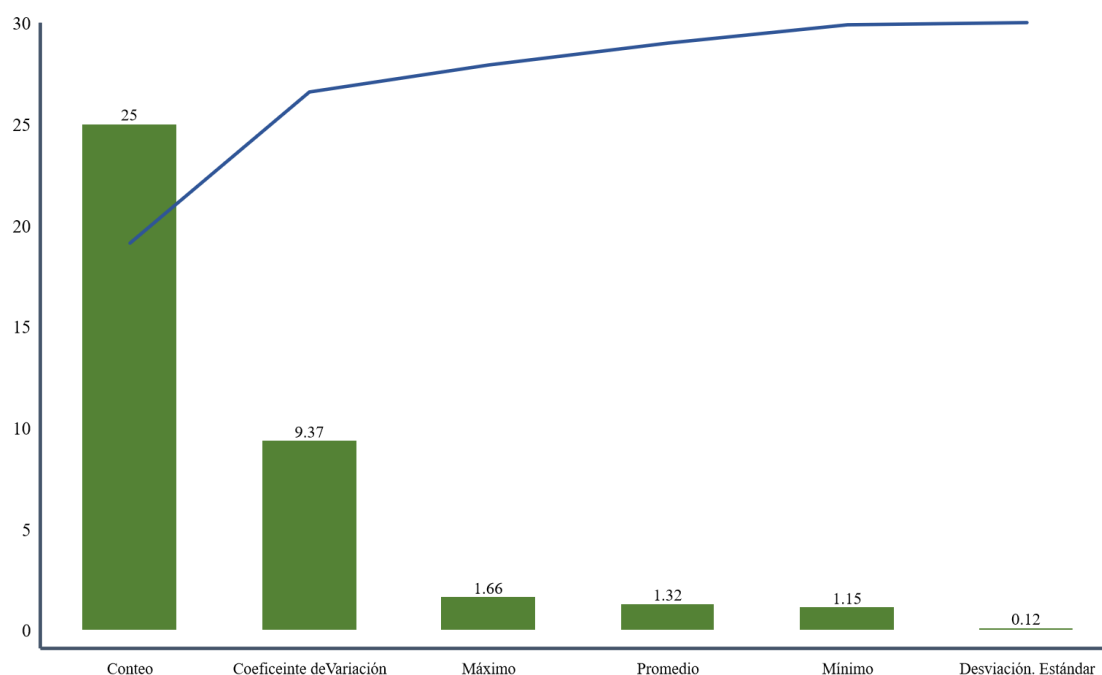


Figura 14. Estadísticos descriptivos para el calcio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

El calcio es un elemento importante en suelos complejos, ya que ayuda a nutrientes, que son sustancias químicas disueltas en la humedad del suelo, importantes para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas. Según INTAGRI (2015) es un oligoelemento. El calcio tiene un rol importante e insustituible en las plantas tanto como nutriente estructural

como enmienda del suelo, ya que el calcio tiene un aporte nutricional completo a la producción de cultivos. La falta de este nutriente en los vegetales provocará: retraso en el desarrollo en todos los aspectos de la planta, por lo que se puede observar que el contenido de cal en el suelo forestal es menor.

4.2.8. Magnesio

Los valores determinados en la variable de calcio del suelo (tabla 24 y figura 15), para las 25 subparcelas con especies forestales del BRUNAS muestran un valor promedio de 0.21 Cmol(+)/kg, con un valor máximo de 0.31 Cmol(+)/kg y un valor mínimo de 0.13 Cmol(+)/kg del cual se desprende un coeficiente de variación de 22.01%, valor relativamente alto que indica que los valores están dispersos en las áreas muestreadas, al respecto SAGARPA (2012) reporta que el contenido de magnesio en suelos del bosque reservado es muy baja, el cual denota que los bosques de esta zona tienen poco contenido de magnesio si de inferencia hacia un valor se trata.

Tabla 23. Valores para el magnesio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Parámetros	Mg (Cmol(+)/kg)	Interpretación
Promedio	0.21	Muy Bajo
Conteo	25	.....
Máximo	0.31	.....
Mínimo	0.13	.....
Desviación. Estándar	0.05	.....
Coef Variación (%)	22.01	.....

El Magnesio es un compuesto poco considerado pero que participa en múltiples procesos fisiológicos tal como la afirma INTAGRI (2015), donde los síntomas de deficiencia se producen como manchas rojas en hojas viejas, aunque ayudado por el exceso de sombra como sucede en los bosques, en particular el BRUNAS por la cantidad de luz interceptada por la planta, en el cual es más notorio cuando la luz es plena, como es el caso de los cultivos y en este caso requerirían mayores cantidades de este nutrimento.

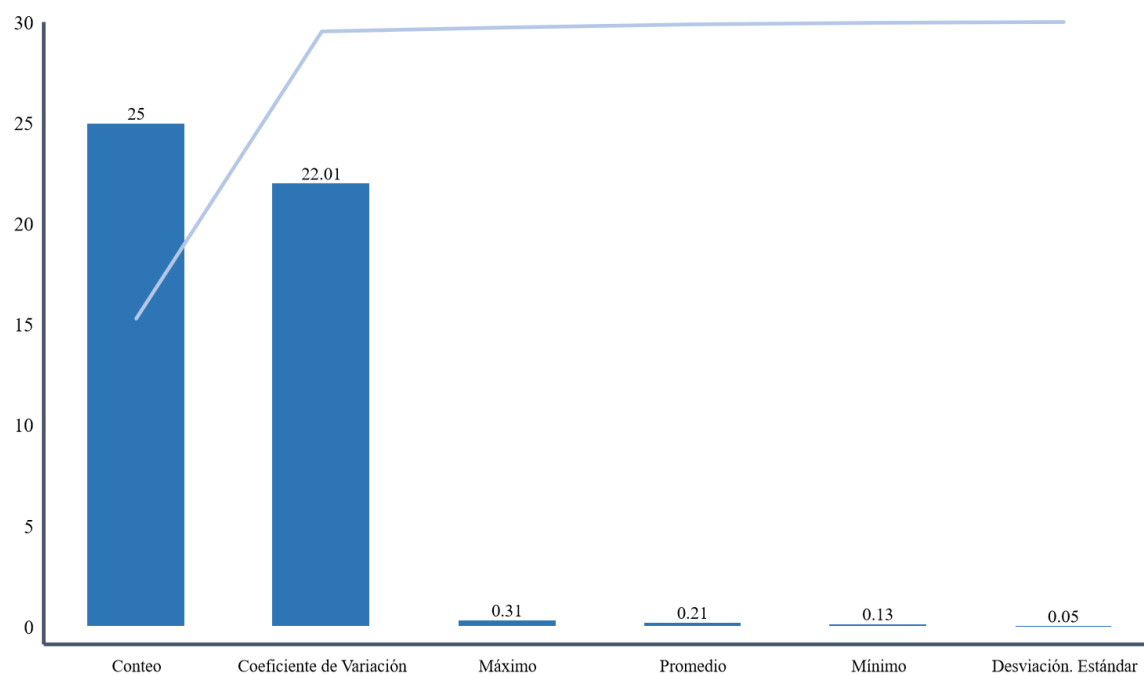


Figura 15. Estadísticos descriptivos para el magnesio del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

4.3. Descripción de los indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de especies) de macrofauna en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)

4.3.1. Densidad

Se puede observar la densidad de la macrofauna del suelo (tabla 25 y figura 16) teniendo una suma total de 329 individuos en toda el área muestreada, teniendo el mayor número de individuos en orden secuencial la lombriz de tierra con 77 individuos, las hormigas con 54 individuos, las moscas y mosquitos con 47 individuos, de acuerdo con esto y como refiere Ferreras (2020) la mayor cantidad de individuos de macrofauna se encuentran representadas generalmente entre lombrices de tierra, insectos y luego los demás invertebrados, el cual se corrobora en lo obtuvimos en las 254 subparcelas del BRUNAS. Además observando los resultados observamos que es una densidad de individuos baja por la cantidad de ellas obtenida y tratándose de un bosque en selva alta, el cual debería arrojar otro tipo de resultados, al cual el mismo autor refiere que La densidad de macrofauna puede variar significativamente en función del tipo de suelo, el uso de la tierra y las prácticas de manejo agrícola, por tanto los resultados obtenidos reflejan en parte la salud del suelo de esa parte muestreada y por toda el área del bosque.

Tabla 24. Densidad de la macrofauna del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Clase	Orden	Nombre Común	Nº Individuos
Arachnida	Araneae	Arácnidas Araña	29
Clitellata	Oligochaeta	Lombriz de tierra	77
Insecta	Coleóptera	Escarabajo de agua	12
Insecta	Hymenóptera	Hormigas	54
Insecta	Isóptera	Termitas	37
Insecta	Coleóptera	Torito	30
Insecta	Lepidóptera	Oruga	17
Insecta	Díptera	Moscas y mosquitos	47
Insecta	Diplopoda	Milpiés	26
Total			329

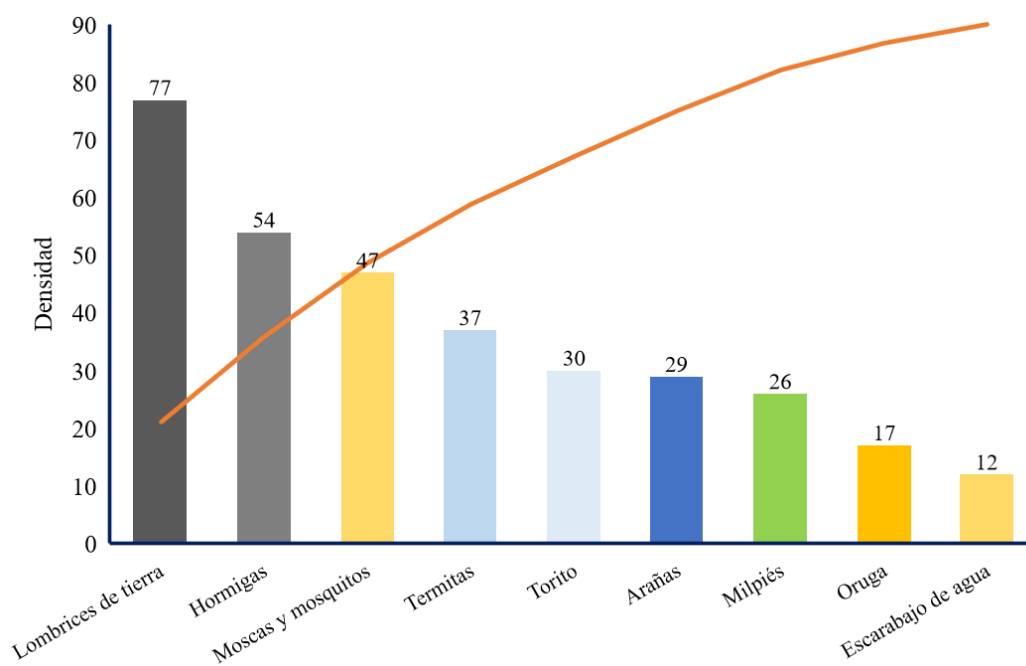


Figura 16. Densidad de individuos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

De acuerdo con Acevedo y Martínez (2003) la población de lombrices de tierra son consideradas indicadores biológicos de la salud del suelo, en nuestro caso podríamos afirmar que el bosque posee poco número de individuos, al respecto Sánchez (2007) indica que conocer las características biológicas ayudan a identificar señales tempranas de desgaste o de mejoría de los suelos, ya que según Lok (2005) los diversos organismos inciden sobre las

propiedades físicas del suelo por la apertura túneles y galerías que incrementan la porosidad y la infiltración del agua y modifican y crean agregados, de acuerdo a lo obtenido el bosque reservado a pesar de la vegetación existente posee un número de individuos mínimo.

4.3.2. Biomasa

Los resultados muestran la biomasa de las 25 subparcelas de la macrofauna del suelo (tabla 26 y figura 17) teniendo un peso total de 40.31 g en las 25 subparcelas muestreada, teniendo el mayor peso en orden secuencial las lombrices de tierra con 32.42 g, las arañas con 2.03 g y las orugas 1.14 g, de acuerdo con Ferreras (2020) la biomasa de macrofauna del suelo se refiere a la cantidad total de peso de los organismos macroscópicos existente en un área específica de suelo y esta es una medida esencial para evaluar la contribución de la macrofauna al ciclo de nutrientes y a la calidad general del suelo, por una sencilla razón una mayor biomasa indica una mayor capacidad del suelo para descomponer materia orgánica y por ende un suelo sano, el cual difiere con lo obtenido en la investigación.

Tabla 25. Biomasa de la macrofauna del suelo en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Clase	Orden	Nombre Común	Peso (g)
Arachnida	Araneae	Arácnidas Araña	2.03
Clitellata	Oligochaeta	Lombriz de tierra	32.42
Insecta	Coleóptera	Escarabajo de agua	0.84
Insecta	Hymenóptera	Hormigas	0.97
Insecta	Isóptera	Termitas	0.15
Insecta	Coleóptera	Torito	1.50
Insecta	Lepidóptera	Oruga	1.14
Insecta	Díptera	Moscas y mosquitos	0.38
Insecta	Diplopoda	Milpiés	0.88
Total			40.31

Añaden en el mismo sentido Cárdenas (2008) indica que toda la masa de microorganismos vivos se encuentra en un determinado volumen de tierra o masa y su presencia o ausencia de acuerdo con lo que mencionan Porta et al. (1999) Cambian totalmente dependiendo de la utilización y la estabilidad del estado natural del sistema biológico, especialmente la insolación (temperatura), la pegajosidad relativa, la ingeniería de la vegetación

(separación) y el trabajo de degradar la materia orgánica, por tanto una mayor biomasa de macrofauna suele indicar una mayor actividad biológica y, en consecuencia, una mayor calidad del suelo, en términos de la biomasa de la macrofauna del suelo.

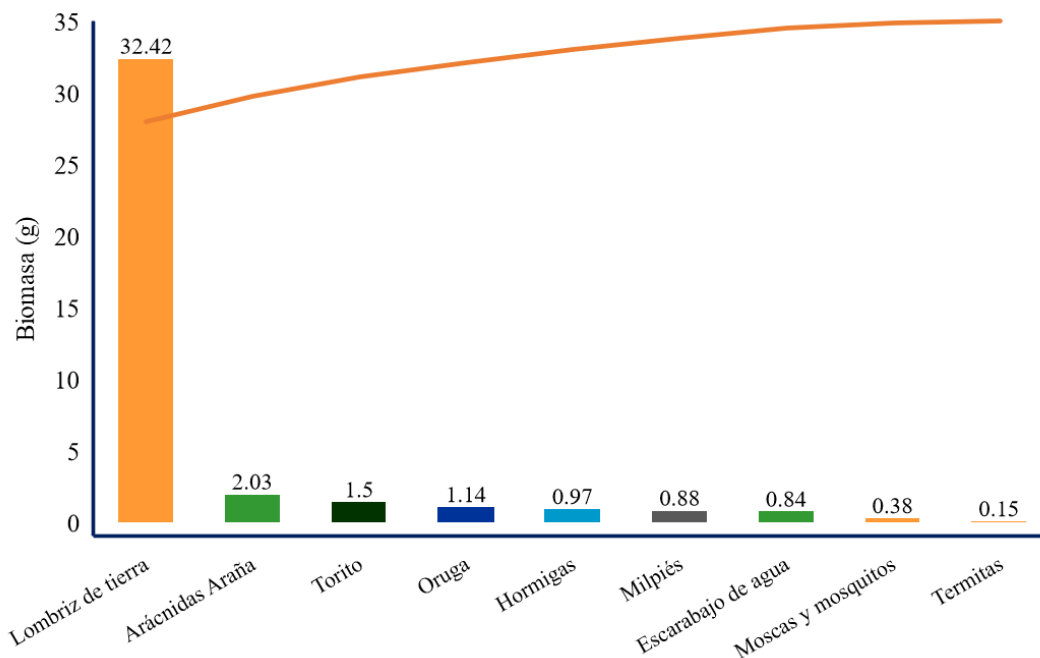


Figura 17. Biomasa de los individuos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS

4.3.3. Diversidad de especies

Los valores para la diversidad de especies observamos que el área muestreada del BRUNAS posee una riqueza específica de 9 individuos, un índice de diversidad de Margalef de 1.38, un valor de 2.07 para el índice de Shannon Wiener y un valor de 0.63 para la equidad de Pielou, observando los resultados vemos que existe pocos individuos encontrados, además es corroborado por el Índice de Margalef el cual indica que existe más de una especie dentro del área, además se observa que el valor para el Índice de Shannon Wiener otorga una diversidad moderada, y un valor para la equidad de Pielou también una equidad media, por tanto el BRUNAS cuenta con una diversidad media. Al respecto Moreno (2001) afirma que la riqueza específica es la forma más sencilla de medir la diversidad biológica, basándose únicamente en el conteo del número de especies presentes, sin considerar el valor de importancia de estas, en nuestro caso se hizo el conteo del número de órdenes encontrados.

Al tener estos valores podemos tener una idea o diagnóstico rápido del bosque en cuanto a su calidad, para conocer de manera rápida las cualidades del bosque la mayoría de las veces se recurre a índices de diversidad sobre todo a la riqueza específica que se obtiene desde el muestreo de la comunidad dentro del bosque.

Tabla 26. Riqueza específica (S), Índice de Margalef (D), Índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo en las subparcelas del BRUNAS

Lugar	Índices de diversidad			
	S	D	H'	J
BRUNAS	9	1.38	2.07	0.63

4.4. Relación de los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS)

4.4.1. Relación de los indicadores físicos versus los indicadores biológicos

Observamos en la correlación de las características físicas versus la macrofauna del suelo en sus variables físicas como la DA, porosidad y la resistencia a la penetración del suelo versus la densidad de individuos y la biomasa de la macrofauna del suelo, donde se denota que no existe correlación alguna entre las variables investigadas, aunque de acuerdo a lo que manifiesta Navarro, (2003) las sustancias naturales consisten en mezclas de fuentes orgánicas que se encuentran en la tierra, así como las acumulaciones de plantas determinan los elementos únicos en las sustancias naturales de la tierra, lo que supondría una relación con la porosidad y al menos la DA o quizás la resistencia a la penetración de la tierra el cual no sucedió al realizar el análisis estadístico respectivo.

Tabla 27. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas del suelo con los indicadores biológicos en subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

Variabes	Da	Pr	RPS
Densidad	-0.25 ¹	-0.34 ²	-0.12 ¹
Biomasa	-0.06 ¹	0.08 ²	0.11 ¹

Variabes: Da; densidad aparente, Pr; porosidad RPS; resistencia a la penetración del suelo.

*1 Correlación de Pearson 2 Correlación de Spearman

Los valores obtenidos guardan relación con la cantidad de individuos encontrados, normalmente en ecosistemas boscosos los valores son mayores y se reflejan en la densidad y biomasa de los individuos, pero los valores menores a 3 son comúnmente bajos en diversidad de especies y pueda influir en la no existencia de la relación de las propiedades y variables medidas en la macrofauna de la tierra.

4.4.2. Relación de los indicadores químicos versus los indicadores biológicos

Se puede observar en la correlación de las propiedades químicas versus la macrofauna del suelo en sus variables como el pH, MO, N, P, K, Ca, Mg y la CICE, donde arroja que no existe correlación alguna entre las variables evaluadas

Variables	pH	Mo	N	P	K	Ca	Mg	CICE
Densidad	-0.03	-0.16	-0.19	-0.19	-0.17	-0.20	-0.18	-0.10
Biomasa	-0.21	0.03	-0.02	0.03	0.05	-0.06	0.12	0.10

Variables: Da; densidad aparente, Pr; porosidad RPS; resistencia a la penetración del suelo.

*1 Correlación de Pearson 2 Correlación de Spearman

Al respecto podemos afirmar que la densidad de la macrofauna de los sistemas agroforestales está en función a de los distintos factores que intervienen en la calidad del suelo, dado que los microorganismos sobre todo los hongos se desarrollan mejor en suelos ácidos, el cual en nuestro caso no llego a ser determinante y así todas las demás variables evaluadas.

V. CONCLUSIONES

- Los suelos de las subparcelas presentan una textura franca, estructura granular, densidad aparente ideal para el crecimiento de las raíces, porosidad moderada, resistencia a la penetración responde a suelos suaves encontradas en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.
- Los suelos de las subparcelas presentan un pH fuertemente ácido, materia orgánica y nitrógeno de contenido medio, fósforo, potasio, calcio, magnesio y capacidad de intercambio catiónico efectiva de contenido muy bajo en subparcelas evaluadas del BRUNAS.
- La macrofauna del suelo presenta un total de 329 individuos en toda el área muestreada, teniendo el mayor número de individuos la lombriz de tierra con 77 individuos, las hormigas con 54 individuos, las moscas y mosquitos con 47 individuos y en la biomasa un peso total de 40,31 g, teniendo el mayor peso las lombrices de tierra con 32,42 g, las arañas con 2,03 g y las orugas 1,14 g, los índices de diversidad muestran en los distintos índices una diversidad moderada en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.
- No presentan relación alguna los indicadores físicos y químicos del suelo con los indicadores biológicos en las subparcelas con especies forestales del BRUNAS.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Establecer plantaciones con especies fijadoras de nitrógeno para mejorar las propiedades físicas y la fertilidad del suelo en la parte baja del BRUNAS, dado que la zona de investigación se ubica en la parte media.
- Establecer barreras como prácticas de manejo para evitar el arrastre de restos vegetales y mantillo (mulch) hacia las partes bajas y esto permita aumentar los niveles de materia orgánica y mejorar la retención de humedad del suelo.
- Establecer áreas donde se pueda hacer conservación específica para la protección de la fauna del suelo y promover prácticas que no alteren significativamente el hábitat de especies clave como lombrices y hormigas el cual ayudará a la recuperación del bosque.
- Establecer un programa de monitoreo continuo que evalúe tanto los indicadores físicos y químicos como los biológicos del suelo, para detectar cambios y ajustar las prácticas de manejo en consecuencia.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas.
- Andrade, Isabel, & Rossel (2020). Calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú-2018. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(2), 42-52. pub 01 de junio de 2020.
- An S, Mentler A, Mayer H, Blum WE. (2010). Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena* 81(3):226–233. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816210000457>
- Azañero L., Ñique M., & Florida N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Tayacaja*, 3(1). <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Barrera J., Unda B., Miguel R., & Batista, G. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 182–190. Retrieved from <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/248>
- Bengough, O., Mullins, Q. (1991). *Ecología y Cultura: Cambio ambiental, evolución biológica y evolución cultural*. Politeia, (28).
- Bernal, A. & Hernández, A. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 50- 57. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr10417.pdf>
- Blake, G. R., Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am*, 363 – 375.
- Buckman, H., & Brady, N. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Barcelona: Editorial Montaner y Simón, 590 p.
- Cairo, P. Y Fundora, O. (2002) *Edafología*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana. 476 p.
- Carbonero P. (2007). *Química del suelo y los fertilizantes*. Universidad Politécnica Madrid. Madrid, España 131-134 p.

- Cárdenas, P. (2008). Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Castillo X., Etchevers J. D., Hidalgo C. M. I., & Aguirre A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2016). *Biodiversidad Mexicana*. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose.htm>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- Díaz, E. (2017). Análisis estructural del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva mediante parcelas permanentes de medición. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Agraria de Selva. Tingo María. 150 p. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2231e950-e8b6-4ab5-a44a-1ee974f498fc/content>
- Estrada R., Hidalgo C., Guzmán R., Almaraz J. J., Navarro H., & Etchevers J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad / Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, (8), 813. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1405.31952017000800813&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
- Fassbender, H. (1975). *Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina*. 2ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.
- Fassbender, H., Bornemisza, E. (1994). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2ed. IICA. San José, Costa Rica. 163-164 p
- Ferreras L., Toresani S., Bonel B., Fernández E., Bacigaluppo S., Faggioli V., & Beltrán C. (2019). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia Del Suelo*, 27 (1), 103–114.
- Flaig, W., Beutelspacher, H., Rietz, E. (1975). *Chemical composition and physical properties of humic substances*. New York, EE.UU. Vol 1. 1-211p.

- Forsythe, W. (1985). *Manual de Laboratorio Física de Suelos*. 1 ed. 2 reimposición. San José, Costa Rica. IICA. 46 p.
- Gutiérrez D., J. S., Cardona, W. A., & Monsalve C., O. I. (2017). Potencial en el uso de las propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 450–458. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.5719>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. México. 600 p. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- Horowitz, A.J. & Walling, D.E. (2005). *Sediment Budgets*. International Association of Hydrological Sciences IAHS Press. 292 (2), 262-270.
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2015a). *La Capacidad de Intercambio Cationico del Suelo*. Serie Suelos. Núm. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2015b). *Funciones del calcio (ca) en la nutrición de los cultivos*. Serie Suelos. Núm. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-calcio-en-la-nutricion-de-los-cultivos>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2015c). *El magnesio en el suelo y su efecto en las raíces*. Serie Suelos. Núm. 11. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-magnesio-en-el-suelo-y-su-efecto-en-las-raices>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2017a). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas*. *Serie Suelos*, 29, 1-5. Artículos Técnicos de INTAGRI, México. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2018). *La Salud del Suelo*. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-salud-del-suelo#>
- Jaramillo, J. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. (<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>).

- Lok, S. (2005). Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno. [Tesis de Doctorado]. Instituto de ciencia animal. Cuba.
- Marín V., Rengifo J., Rengifo A. (2019). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en el sector Nueva Esperanza Supte Chico-distrito de Rupa Rupa. *Investigación y Amazonía*, Tingo María, Perú; 9(8): 22-30, julio – diciembre, 2019
- Murrillo, M., Carbajal, E., Chacolla, E. (2007). Evaluación de la calidad de suelos en llanuras de piedemonte mediante indicadores e índices en el área de producción de quinua (s.o de Bolivia) Ministerio de Desarrollo Rural y de Tierras. La Paz Bolivia.34-36 p.
- Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- Núñez-Peñaloza, J. L., Pérez-Nieto, J., Prado-Hernández, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(6). México, ME: e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- OBIO (Observatorio Nacional de Biodiversidad). (2016). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Suelos*. Buenos Aires, Argentina. <http://obio.ambiente.gob.ar/suelos>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Padilla, A. (2023). La calidad de los suelos. Productividad de los cultivos. *Revista científica agroecosistemas*, 11(1), 1-5. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/issue/view/27>
- Panaifo C., Ñique M., & Lévano J. (2021). Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 3(5), 9–24. <https://doi.org/10.38186/difcie.35.02>
- Paz, J. (2006). Propiedades bioquímicas de suelos de Prado de Galicia. Galicia, España. Universidad de Santiago de Compostela. 21-22 p.
- Pinedo, E. (2013). Determinación de la composición florística en la parcela permanente de medición (PPM) utilizando tecnología Fiel – Map en el BRUNAS – Tingo María. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de Selva. Tingo María. 108 p.

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2231e950-e8b6-4ab5-a44a-1ee974f498fc/content>

- Porta, J., López, M., Poch, M. (2019). Edafología; uso y protección de suelos. 4 ed. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa.
- Porta, M., López, A., Roquero, C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- Rojas, C. (2006). Interpretación de la disponibilidad del fósforo en los suelos de Chile. Centro Regional de investigación INIA La Platina. Chile. 24- 25 p.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., HILL, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. 2-3 p.
- Salamanca, A., Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Colombia. Cenicafé 56(4): 381-397 p.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA]. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo*. Suelos. SMYE. Mexico. 51 p. ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos\).pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos).pdf).
- Silva, S.; Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 23, 13-34.
- Silva, V.R.; Reinert, D.J. and Reichert, J.M. (2000). Soil strength as affected by grazing and soil management. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 24:191-199.
- Soriano, M. (2018). pH del Suelo. Valencia, España. Universitat Politècnica de València. 2-8 p.
- Supo, J., Zacarías, H. (2020). *Metodología de la investigación científica* (3ra ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Torres – Guerrero, C. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana México D.F. México.
- Vandermeer, J. (2011). *The Ecology of Agroecosystems*. by Jones and Barlett Publishers. Massachussetts, USA. 405 p.

file:///C:/Users/UNAS/Downloads/The_Ecology_of_Agroecosystems(BookFi.org)
[John_Vandermeer]_.pdf

Vélez, M. y Vélez, J. (2002). Cap. 8. Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica.

Zerpa, G. (2006). Acción del pisoteo de la hacienda sobre la estabilidad estructural de un suelo. En: IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rhizosfera. 2 p.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 18. Vista panorámica de las subparcelas del BRUNAS

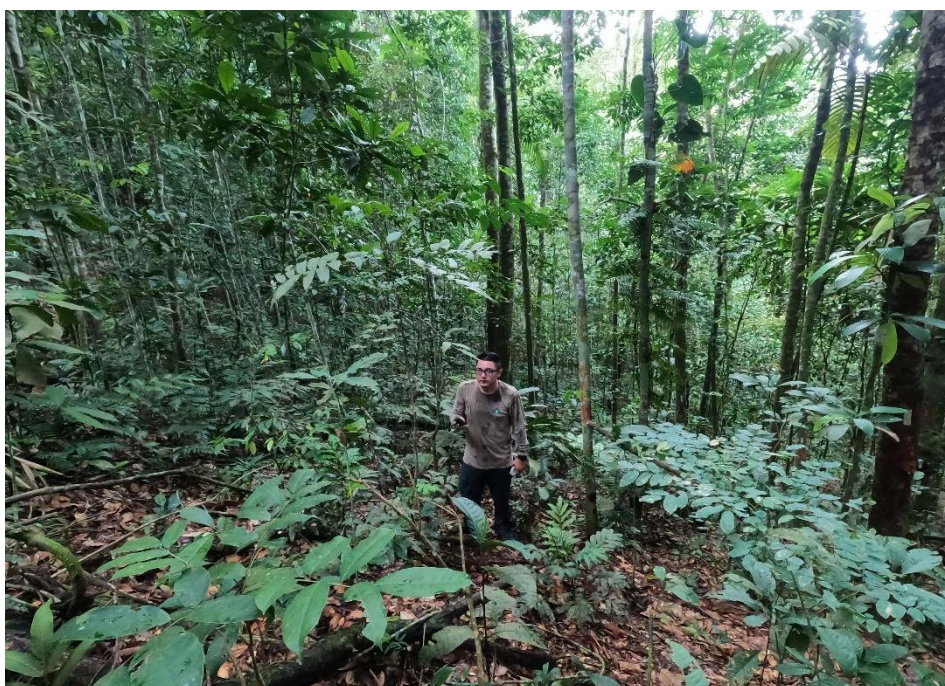


Figura 19. Georreferenciación de las subparcelas del BRUNAS



Figura 20. Realizando la medición de la pendiente de las subparcelas del BRUNAS



Figura 21. Muestreo de suelos en las subparcelas del BRUNAS



Figura 22. Limpieza de superficie del suelo para identificación de macrofauna en las subparcelas del BRUNAS



Figura 23. Muestreo de macrofauna en superficie del suelo en las subparcelas del BRUNAS



Figura 24. Identificación de hormigas del suelo en las subparcelas del BRUNAS



Figura 24. Identificación de araña del suelo en las subparcelas del BRUNAS

Anexo 2. Análisis de suelos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

LASAE



ANÁLISIS DE SUELOS



1. DATOS

SOLICITANTE:	RENGIFO TRIGOSO JUAN PABLO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	2/10/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	2/10/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	9/10/2023
LOCALIDAD:	TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	24192
SECTOR:	BRUNAS	OBSERVACION:	--

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO					pH	CE dS/m	M.O. %	N %	C %	P ppm	K ppm	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiab les %	Acidos Cambiab les %	Saturación de Aluminio %
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural																			
			%	%	%																				
1	S1312	M1	54	16	31	Franco Arenoso	4.23	0.180	3.421	0.171	1.984	5.851	53.177	---	1.274	0.167	0.090	0.074	1.987	3.870	7.461	21.502	78.498	26.630	
2	S1313	M2	56	16	29	Franco Arenoso	4.10	0.196	2.861	0.143	1.659	1.435	55.925	---	1.150	0.142	0.091	0.113	4.684	0.240	6.420	23.302	76.698	72.960	
3	S1314	M3	58	16	27	Franco Arenoso	4.13	0.197	3.172	0.159	1.840	2.230	61.473	---	1.248	0.163	0.100	0.083	5.213	0.180	6.986	22.804	77.196	74.619	
4	S1315	M4	58	16	27	Franco Arenoso	4.20	0.190	2.923	0.146	1.696	6.646	60.973	---	1.260	0.171	0.129	0.100	5.515	0.280	7.455	22.262	77.738	73.982	
5	S1316	M5	54	18	29	Franco Arenoso	4.44	0.177	3.358	0.168	1.948	2.936	115.000	---	1.320	0.238	0.162	0.200	5.289	0.220	7.428	25.837	74.163	71.201	
6	S1317	M6	54	16	31	Franco Arenoso	4.22	0.164	3.172	0.169	1.840	1.523	112.551	---	1.272	0.200	0.134	0.083	5.364	0.510	7.563	22.332	77.668	70.925	
7	S1318	M7	56	18	27	Franco Arenoso	4.17	0.204	3.794	0.190	2.201	3.554	110.751	---	1.266	0.267	0.133	0.091	5.289	0.200	7.245	24.247	75.753	72.992	
8	S1319	M8	54	18	29	Franco Arenoso	4.23	0.139	3.172	0.159	1.840	1.788	99.956	---	1.238	0.167	0.094	0.091	4.835	0.310	6.736	23.611	76.389	71.786	
9	S1320	M9	54	18	29	Franco Arenoso	4.18	0.189	2.923	0.146	1.696	3.025	59.824	---	1.224	0.179	0.102	0.083	4.533	0.540	6.661	23.838	76.162	68.055	
10	S1321	M10	54	18	29	Franco Arenoso	4.29	0.171	2.488	0.124	1.443	2.318	59.224	---	1.278	0.163	0.095	0.087	5.477	0.150	7.250	22.383	77.617	75.548	
11	S1322	M11	54	18	28	Franco Arenoso	4.26	0.165	3.856	0.193	2.237	1.346	63.722	---	1.330	0.233	0.111	0.083	6.195	0.120	8.072	21.764	78.236	76.750	
12	S1323	M12	58	18	25	Franco Arenoso	4.15	0.217	3.545	0.177	2.056	2.495	71.559	---	1.218	0.188	0.134	0.087	4.994	0.690	7.311	22.253	77.747	68.309	

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531



ANÁLISIS DE SUELOS



1. DATOS

SOLICITANTE:	RENGIFO TRIGOSO JUAN PABLO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	2/10/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	2/10/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	9/10/2023
LOCALIDAD:	TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	24192
SECTOR:	BRUNAS	OBSERVACION:	--

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO					pH	CE			P	K	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidos Cambiables	Saturación de Aluminio		
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	dS/m		M.O.	N	C														disponible	
																									ppm	ppm
			CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%		1:1	1:1	%														%	%
13	S1324	M13	46	24	31	Franco	4.44	0.086	3.172	0.159	1.840	0.905	67.720	---	1.346	0.213	0.141	0.100	5.727	0.020	7.546	23.847	76.153	75.888		
14	S1325	M14	46	26	29	Franco	4.36	0.117	2.488	0.124	1.443	1.788	63.122	---	1.368	0.229	0.129	0.100	5.530	0.080	7.437	24.559	75.441	74.365		
15	S1326	M15	46	26	29	Franco	4.32	0.156	2.799	0.140	1.623	2.230	76.766	---	1.370	0.250	0.171	0.096	4.684	0.100	6.671	28.280	71.720	70.221		
16	S1327	M16	46	26	29	Franco	4.47	0.099	2.737	0.137	1.587	0.816	72.518	---	1.374	0.308	0.163	0.104	4.737	0.030	6.717	29.028	70.972	70.525		
17	S1328	M17	48	22	31	Franco	4.71	0.085	1.119	0.056	0.849	0.463	53.676	---	1.180	0.225	0.111	0.087	4.155	0.090	5.848	27.413	72.587	71.048		
18	S1329	M18	48	22	31	Franco	4.84	0.085	2.301	0.115	1.335	2.141	60.473	---	1.546	0.283	0.119	0.091	4.382	0.200	6.622	30.808	69.192	66.172		
19	S1330	M19	48	20	33	Franco	4.54	0.104	3.110	0.155	1.804	4.703	53.876	---	1.240	0.225	0.099	0.083	4.835	0.140	6.622	24.872	75.128	73.014		
20	S1331	M20	60	18	23	Franco Arenoso	4.52	0.132	3.794	0.190	2.201	1.611	49.778	---	1.300	0.204	0.100	0.083	5.651	0.220	7.558	22.318	77.682	74.771		
21	S1332	M21	58	16	27	Franco Arenoso	4.28	0.177	4.167	0.208	2.417	3.554	70.819	---	1.294	0.188	0.151	0.083	6.369	0.070	8.154	21.032	78.968	78.110		
22	S1333	M22	50	22	29	Franco	4.72	0.093	3.047	0.152	1.768	0.375	49.678	---	1.252	0.150	0.092	0.078	3.778	0.500	5.850	26.881	73.119	64.572		
23	S1334	M23	50	20	31	Franco	4.49	0.120	3.607	0.180	2.092	1.611	60.873	---	1.304	0.129	0.130	0.083	5.515	-0.230	6.931	23.743	76.257	79.576		
24	S1335	M24	44	24	33	Franco	4.42	0.169	3.980	0.199	2.309	2.495	76.317	---	1.610	0.242	0.182	0.096	5.266	0.030	7.425	28.673	71.327	70.923		
25	S1336	M25	44	24	33	Franco	4.53	0.115	3.421	0.171	1.984	0.816	66.671	---	1.662	0.229	0.145	0.096	4.533	0.330	6.995	30.478	69.522	64.804		

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Anexo 3. Datos recolectados

Tabla 28. Datos recolectados para la densidad de la macrofauna del suelo en las subparcelas.

Orden	Nombre Común	subparcelas																									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Araneae	Arácnidas Araña	2	1	1	0	2	2	1	1	2	4	2	1	0	1	0	1	0	2	1	0	1	2	0	2	0	29
Oligochaeta	Lombriz de tierra	4	4	1	4	2	3	4	3	0	3	4	6	2	4	0	5	4	3	3	0	4	3	3	5	3	77
Coleóptera	Escarabajo de agua	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	12
Hymenoptera	Hormiga	2	1	2	6	0	1	3	2	1	2	3	2	1	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	54
Isóptera	Termitas	2	3	0	1	2	1	0	1	2	3	0	1	3	2	0	2	4	1	0	2	0	2	2	2	1	37
Coleoptera	Torito	1	2	1	1	0	2	1	2	0	2	1	1	2	0	2	1	2	1	0	1	2	1	2	0	2	30
Lepidóptera	Oruga	0	1	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	2	0	1	0	1	1	1	0	17
Díptera	Moscas y mosquitos	1	2	2	2	3	3	2	1	2	2	4	3	2	1	2	2	1	0	2	2	1	3	2	1	1	47
Diplopoda	Milpiés	2	0	0	0	2	2	0	2	2	1	0	1	2	1	2	0	2	1	0	2	0	2	0	2	0	26

Tabla 29. Datos recolectados para la biomasa de la macrofauna del suelo en las subparcelas.

Nombre Común	subparcelas																									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Araña	0.14	0.07	0.07	0.00	0.14	0.14	0.07	0.07	0.14	0.28	0.14	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.14	0.07	0.00	0.07	0.14	0.00	0.14	0.00	2.03
Lombriz de tierra	1.68	1.68	0.42	1.68	0.84	1.26	1.68	1.26	0.00	1.26	1.68	2.53	0.84	1.68	0.00	2.11	1.68	1.26	1.26	0.00	1.68	1.26	1.26	2.11	1.26	32.42

Escarabajo de agua	0.07	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.84
Hormiga	0.04	0.02	0.04	0.11	0.00	0.02	0.05	0.04	0.02	0.04	0.05	0.04	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.97
Termitas	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.15
Torito	0.05	0.10	0.05	0.05	0.00	0.10	0.05	0.10	0.00	0.10	0.05	0.05	0.10	0.00	0.10	0.05	0.10	0.05	0.00	0.05	0.10	0.05	0.10	0.00	0.10	1.50
Oruga	0.00	0.07	0.00	0.07	0.13	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.13	0.00	0.07	0.13	0.00	0.07	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	1.14
Moscas y mosquitos	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.38
Milpiés	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.07	0.07	0.03	0.00	0.03	0.07	0.03	0.07	0.00	0.07	0.03	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.88
