

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



**CALIDAD DE SUELOS EN PARCELAS DE MEDICIÓN PERMANENTE (PPM) A
DIFERENTES ALTITUDES EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNAS
(BRUNAS) TINGO MARÍA – PERÚ.**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

LIZ MARGOTH HUAMAN RENGIFO

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 114-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 24 de octubre de 2024, a horas 9:00. am. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CALIDAD DE SUELOS EN PARCELAS DE MEDICION
PERMANENTE (PPM) A DIFERENTES ALTITUDES EN EL BOSQUE
RESERVADO DE LA UNAS (BRUNAS)TINGO MARIA - PERÚ”**

Presentado por el Bachiller: **HUAMAN RENGIFO, LIZ MARGOTH**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “ **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, 27 de noviembre de 2024

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE

Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO

Ing. MSc. ANDY W. VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“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° 368 - 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
CALIDAD DE SUELOS EN PARCELAS DE MEDICIÓN PERMANENTE (PPM) A DIFERENTES ALTITUDES EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNAS (BRUNAS) TINGO MARÍA - PERÚ.	LIZ MARGOTH HUAMAN RENGIFO	13 % Trece

Tingo María, 19 de diciembre de 2024

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

Dr. Tomás Menacho Mallequi

JEFE

C.C. Archivo



Repositorio Institucional Digital UNAS: Formulario de Autorización

1. Datos del Autor:

Nombres y Apellidos: LIZ MARGOTH HUAMAN RENGIFO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 48613341

Correo electrónico: liz.huaman@unas.edu.pe

Teléfono: 994462762

2. Grado, título o especialización:

Bachiller Lic./Ing. Magister Segunda Especialidad

3. Tipo de investigación¹:

Tesis Trabajo Académico Trabajo de Investigación

Trabajo de Suficiencia Profesional

DOI²: _____

Título Investigación: CALIDAD DE SUELOS EN PARCELAS DE MEDICION PERMANENTE (PPM) A DIFERENTES ALTITUDES EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNAS (BRUNAS) TINGO MARIA - PERÚ

Año Sustentación: 2024

Especialidad/Mención: INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA.

Datos de asesores:

N°	DNI	Apellidos y Nombres	ORCID ID ³
1	23015258	RENGIFO TRIGOZO JUAN PABLO	0000-0002-4099-8501
2			

¹Tipo de Investigación:

Tesis: Para Bachiller, Maestría, Doctorado y Programas de Segunda Especialidad.

Trabajo Académico: Para Programas de Segunda Especialidad.

Trabajo de Investigación: Artículo científico, Proyecto de arquitectura con investigación de sustento, Investigación aplicada.

Trabajo Suficiencia Profesional: Proyecto profesional, Informe de experiencia profesional calificada, Sustentación de casos.

²DOI: Identificador de Objeto Digital, Ingresar si es que lo tuviera.

³ORCID: Identificador único y permanente para cada investigador y/o colaborador. ingresar los últimos 16 dígitos, Ejcm:0000-0000-1234-123X. (información OBLIGATORIO)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN

Datos de Jurados:

N°	DNI	Apellidos y Nombres
1	21797383	LEVANO CRISOSTOMO JOSE DOLORES
2	23018305	VELA ZEVALLOS ANDY WILLIAMS
3	22961469	TORRES GARCIA JAIME
4		
5		

4. Licencias:

a) **Licencia Estándar:**

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de Investigación en el Repositorio Institucional Digital UNAS

Con la autorización de depósito de mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional Agraria de la Selva una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital UNAS, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones. En virtud de dicha licencia, la Universidad Nacional Agraria de la Selva podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas. La Universidad Nacional Agraria de la Selva consignará el nombre del/los autores/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la presente licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN

Autorizo el depósito (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite y/o publique inmediatamente.

Sí, reconozco que al depositar no estoy infringiendo ningún derecho de propiedad intelectual.

No autorizo⁴.

b) Licencias Creative Commons⁵:

Autorizo el depósito (marque con una X)

Sí autorizo el uso comercial y las obras derivadas de mi trabajo de investigación.

Sí autorizo el uso comercial y las obras derivadas de mi trabajo de investigación mientras se comparta de la misma manera.

Sí autorizo el uso comercial, pero no autorizo las obras derivadas de mi trabajo de investigación.

No autorizo el uso comercial y tampoco las obras derivadas de mi trabajo de investigación.

No autorizo el uso comercial, pero sí autorizo las obras derivadas de mi trabajo de investigación.

No autorizo el uso comercial, pero sí autorizo las obras derivadas de mi trabajo de investigación mientras se comparta de la misma manera.

Firma

20 / 12 / 2024

Fecha

⁴ Pasar a la última página para firmar el formulario. No es necesario otorgar las licencias Creative Commons.

⁵ Licencias Creative Commons:

Las licencias Creative Commons sobre su trabajo de investigación, mantiene la titularidad de los derechos de autor de ésta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de ésta, siempre y cuando reconozcan la autoría correspondiente. Todas las licencias Creative Commons son de ámbito mundial. Emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales. En consecuencia, goza de una eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.

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



PROYECTO DE TESIS
CALIDAD DE SUELOS EN PARCELAS DE MEDICIÓN PERMANENTE (PPM) EN
DIFERENTES ALTITUDES EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNAS
(BRUNAS) TINGO MARÍA – PERÚ

Autor : Liz Margoth, Huamán Rengifo
Asesor de tesis : M, Sc Juan Pablo Rengifo Trigozo
Programa de investigación : Ciencias Básicas
Línea de Investigación : Física y Química de Suelos
Eje temático de investigación : Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo
Lugar de ejecución : Bosque Reservado de la UNAS.
Duración **Fecha** : 17/01/2024
 inicio
 Termino 17/06/2024
Financiamiento (S/) : 1 452, 00
 FEDU : No
 Propio : Si
 Otros : No

Tingo María – Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente durante todo el periodo de estudio para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis amados padres: Mario Huamán Tomanguilla y Doris Rengifo Pinedo, por ser los pilares más importantes en mi vida, demostrándome siempre su amor y apoyo incondicional desde que llegue a sus vidas. Por seguir acompañándome en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A mis queridos hermanos: Mario Royser y Mildred Dámaris, son el mejor regalo que mis padres me dieron con sus existencias, quienes siempre me hicieron sentir orgullosa de lo que soy y me motivaron a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por bendecirme con la vida, por guiarme a lo largo de mi camino, ser mi apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y debilidad.

Quiero expresar mi gratitud a mis padres por haberme brindado la oportunidad de estudiar con la tranquilidad de saber que cuento con su respaldo. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a los docentes de la Especialidad de Conservación de Suelos y Agua, por enriquecerme con sus valiosos conocimientos y permitir que crezca día a día como profesional. A cada uno de ustedes, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento, a mi asesor del presente trabajo de investigación, el Msc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, por su guía experta, conocimiento, enseñanza y colaboración que han sido fundamentales en la realización de esta investigación.

Un sincero agradecimiento a los integrantes del jurado de tesis: Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo, Ing. Jaime Torres García, M.Sc Andy Williams Vela Zevallos por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.

Y en forma especial es justo dejar una nota de agradecimiento a Pablo Cajas Lino, por estar conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Agradecerles a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Marco teórico.....	16
2.1.1. El suelo	16
2.1.2. Calidad del suelo.....	17
2.1.3. Indicadores físicos de la calidad del suelo.....	18
2.1.4. Indicadores químicos de la calidad del suelo.....	22
2.1.5. Indicadores biológicos de la calidad del suelo.....	27
2.1.6. La diversidad biológica.....	28
2.1.7. Diversidad en los bosques montanos	29
2.2. Estado del arte	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. Lugar de ejecución.....	36
3.1.1. Características del área de investigación	36
3.1.2. Ubicación política y extensión.....	36
3.1.3. Ubicación geográfica	36
3.1.4. Zonas de vida	37
3.1.5. Clima.....	37
3.1.6. Red hídrica del BRUNAS.....	38
3.1.7. Accesibilidad	38
3.2. Equipos, herramientas y materiales	38
3.3. Tipo y nivel de investigación.....	38
3.3.1. Tipo de la investigación	38
3.3.2. Nivel de la investigación.....	38
3.4. Método y diseño de la investigación	38

3.4.1. Método de la investigación	38
3.4.2. Diseño de la investigación	39
3.4.3. Población, muestra y muestreo	39
3.5. Metodología.....	40
3.5.1. Determinar la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en diferentes altitudes mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el BRUNAS de Tingo María	40
- Literaturas consultadas	40
- Delimitación del área de muestreo.....	40
- Muestreo de suelos.....	40
- Muestreo de la macrofauna edáfica	¡Error! Marcador no definido.
- Extracción de muestra para densidad aparente	41
- Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo.....	42
3.5.2. Determinar la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en Parcelas Permanente de Medición (PPM) en diferentes altitudes mediante en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) de Tingo María.....	42
- Muestreo de macrofauna.....	42
- Evaluación de macrofauna.....	44
- Conteo de macrofauna en laboratorio	44
3.5.3. Correlacionar las características físicas y químicas de los suelos con la macrofauna en las Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en el BRUNAS de Tingo María – Perú.	47
3.6. Análisis de datos	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Determinación de la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición a diferentes altitudes mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el BRUNAS de Tingo María	49
4.1.1. Propiedades físicas.....	49

4.1.2. Propiedades químicas	54
4.1.3. Propiedades biológicas	62
4.3. Determinar la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en Parcelas Permanente de Medición en diferentes altitudes mediante en el BRUNAS de Tingo María.....	66
4.4. Correlacionar las características físicas y químicas de los suelos con la macrofauna en las Parcelas Permanente de Medición (PPM) en diferentes altitudes en el BRUNAS de Tingo María	67
4.4.1. Correlación de las propiedades físicas con las propiedades biológicas.....	67
4.4.2. Correlación de las propiedades químicas con las propiedades biológicas.	68
V. CONCLUSIONES	69
VI. PROPUESTAS A FUTURO	70
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rangos interpretativos de densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.....	20
2. Niveles de pH en el suelo.....	23
3. Intervalos de materia orgánica en el suelo.....	24
4. Niveles de contenido de nitrógeno.....	25
5. Niveles de contenido de fósforo disponible.....	26
6. Niveles de contenido de potasio disponible (K ₂ O).....	27
7. Coordenadas UTM (WGS 84) y altitud de las parcelas permanentes de medición.....	36
8. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).....	42
9. Parámetros biológicos del suelo (variables).....	45
10. Valores máximos y mínimos para la textura del suelo en el BRUNAS.....	49
11. Valores para la densidad aparente (g/cm ³) en las parcelas permanentes.....	50
12. Valores para la resistencia a la penetración del suelo en parcelas permanentes de medición.....	51
13. Valores numéricos para la temperatura del suelo (°C) a diferentes altitudes del BRUNAS.....	53
14. Valores numéricos para el potencial de hidrogeno del suelo (pH) a diferentes altitudes del suelo.....	54
15. Parámetros biológicos del suelo (variables).....	56
16. Valores para el nitrógeno del suelo (%) a diferentes altitudes en el BRUNAS.....	57
17. Valores numéricos para el fósforo del suelo (ppm) a diferentes altitudes del BRUNAS.....	59
18. Valores numéricos para el potasio del suelo (ppm) a diferentes altitudes del BRUNAS.....	61
19. Valores numéricos para la densidad de la macrofauna del suelo (ind./m ²) a diferentes altitudes del BRUNAS.....	63
20. Valores numéricos para la biomasa macrofauna del suelo (g/m ²) a diferentes altitudes del BRUNAS.....	65

21. Índices de diversidad: Riqueza específica (S), Índice de Margalef (D), Índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) para la macrofauna del suelo a diferentes altitudes del BRUNAS.	67
22. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas del suelo con los indicadores biológicos a diferentes altitudes del BRUNAS.	67
23. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades químicas del suelo con los indicadores biológicos a diferentes altitudes del BRUNAS.	68
24. Datos recolectados de las propiedades físicas a diferentes altitudes del BRUNAS.	84
25. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 1.	1
26. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 3.	1
27. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 4.	2
28. Valores de la biomasa de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 1.	3
29. Valores de la biomasa de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 3.	4
30. Valores de la biomasa de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 4.	5

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Modelo de la parcela de 20 x 50 m. para el muestreo de suelo.	41
2. Esquema del plan de muestreo.	43
3. Valores para la densidad aparente en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.....	51
4. Valores numéricos para la resistencia a la penetración del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.....	52
5. Valores para la temperatura del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	54
6. Valores para el pH del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	55
7. Valores para la materia orgánica del suelo (%) en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	57
8. Estadísticos descriptivos para el nitrógeno en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	58
9. Estadísticos descriptivos para el fosforo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	60
10. Valores para el potasio del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.....	62
11. Número de individuos para la densidad de macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.....	64
12. Valores de la biomasa de la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	66
13. Midiendo el área donde se muestreará en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS. .	80
14. Limpiando el área donde se muestreará en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	80
15. Muestreando y colectando la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	81
16. Recolectando la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS..	81
17. Grupo Aranae como macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	82
18. Macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	82

19. Muestreo del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	83
20. Muestreo del suelo con un marco para determinar longitudes exactas en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.	83

RESUMEN

La investigación se realizó en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), en parcelas Permanente de Medición (PPM), el objetivo fue evaluar la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en diferentes altitudes en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), se usó la estadística descriptiva. Los resultados mostraron que los suelos de las PPMs a diferentes altitudes del BRUNAS presentan en general una textura franco arcilloso, el mayor valor de densidad aparente de $0,84 \text{ g/cm}^3$ en la PPM 1 valor ideal para el crecimiento de las raíces, resistencia a la penetración del suelo más bajo de $1,28 \text{ kg/cm}^2$ en la PPM 4 que responde a suelos no restrictivos y una temperatura con menor valor que presentan generalmente bosques como el BRUNAS de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ en la PPM 4. Los suelos de las PPMs a diferentes altitudes del BRUNAS presentan en sus propiedades químicas un pH de 5,00 como el más alto en la PPM 1 el cual define a un suelo fuertemente ácido, materia orgánica y nitrógeno con el valor más alto en la PPM 4 con 3,14% y 0,16% de contenido medio respectivamente, en el fósforo la PPM N° 3 presenta el valor más alto con 5,28 ppm aunque de contenido bajo, potasio presenta el valor más alto la PPM 1 con 91 ppm de contenido bajo en las parcelas evaluadas a diferentes altitudes del BRUNAS. La macrofauna del suelo presenta en la PPM N° 1 los valores más altos en la densidad y biomasa con 530 ind./m^2 y $58,64 \text{ g/m}^2$ respectivamente, los Isópteros (termitas) son los más abundantes con 167 ind./m^2 en la PPM 3 y los Oligochaeta (lombriz de tierra), que contribuyen con $32,30 \text{ g/m}^2$ en la PPM N° 1. Los indicadores físicos y químicos del suelo versus los indicadores biológicos en las PPMs a diferentes altitudes del BRUNAS no tienen relación alguna. En general los resultados demostraron que existen diferencias entre las propiedades físicos, químicas y biológicos en los sistemas de uso del suelo.

Palabras clave: Bosque, parcelas, características, suelos, relación.

ABSTRACT

The research was done in the Universidad Nacional Agraria de la Selva's Forest Reserve (BRUNAS – acronym in Spanish) on permanent measuring plots (PPM – acronym in Spanish). The objective was to evaluate the quality of the soil from the permanent measuring plots (PPM) at different altitudes within the Universidad Nacional Agraria de la Selva's forest reserve (BRUNAS); the descriptive statistic was used. The results revealed that the soil from the PPMs at different altitudes within the BRUNAS generally presented a frank, clay like texture; the greatest value for the apparent density was 0.84g/cm³ for PPM 1, an ideal value for the growth of the roots, [and] the lowest penetration resistance for the soil was 1.28 kg/cm² for PPM 4, which corresponded to non-restrictive soil, and the lowest temperature value that forests like the BRUNAS generally have was 22 °C for PPM 4. [For the] chemical properties of the soils from the PPMs at different altitudes within the BRUNAS a pH of 5.00 was present for PPM 1, which was the highest, this defines a strongly acidic soil, [with the] highest values for the organic matter and nitrogen being 3.14% and 0.16% of average content, respectively, from PPM 4; the phosphorous for PPM 3 presented the highest value at 5.28 ppm, although it was a low content; the highest value for the potassium was from PPM 1 with 91 ppm, of low content for the plots evaluated at different altitudes within the BRUNAS. The macrofauna present in the soil from PPM 1 had the highest values for the density and biomass with con 530 specimens/m² and 58.64 g/m², respectively; the Isoptera (termites) were the most abundant with 167 specimens/m² from PPM and the Oligochaeta (earthworms), which contributed with 32.30 g/m² for PPM 1. The physical and chemical indicators of the soil versus the biological indicators from the PPMs at different altitudes within the BRUNAS did not have any relationship. In general, the results demonstrated that differences existed between the physical, chemical and biological properties for the systems of soil use.

Keywords: Forest, plots, characteristics, soils, relationship.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas boscosos del trópico están distribuidos en áreas con distinto gradiente altitudinal distinguidos por compleja topografía, que influyen en las condiciones climáticas, la biología edáfica, estructura de la población y la fisiología de cada especie, que viene a ser la respuesta a la variación de la condición ambiental que produce cambios significativos para la composición y estructura de las comunidades vegetales. Cada tipo de vegetación observable dentro de una gradiente altitudinal resultan de una complejidad de interacción de muchos factores como posición en el relieve, elevación y el nivel de estar expuesto a los rayos del Sol, el cambio en el relieve afecta a las propiedades del suelo como el desarrollo del perfil, profundidad, pH, nivel de materia orgánica y su humedad, además de cada proceso que ocurre para formar un suelo.

Los suelos suelen cumplir roles fundamentales para que se encuentren en equilibrio cada ecosistema, participan protegiendo tanto el agua subterránea así como el superficial frente a la penetración de cada agente nocivo y van a transformar compuestos orgánicos al descomponerlos, actúan como filtros y amortiguadores al retener sustancias nocivas atenuando los impactos adversos y mejorando la calidad de los suelos, que viene a ser una de las medidas de la condición del mismo relacionadas a las necesidades de una o varias especies bióticas, porque el suelo sustenta la cobertura vegetal. La calidad del suelo hace referencia a su salud donde se evalúan las características físicas, químicas y biológicas; debido a que los suelos son resultados de las interacciones de estas características influyentes de manera significativa respecto a su capacidad de los suelos para que provean sus funciones en un ecosistema determinado.

En el suelo se albergan una abundante diversidad de organismos interactuando unos con otros con la cual vienen contribuyendo de manera favorable a cada ciclo global con la cual vienen haciendo que sea posible la vida. En cada ecosistema natural y agrícola, hay organismos en el sistema edáfico que cumplen funciones vitales por interactuar de manera directa con el sistema biológico, atmosférico e hidrológico, estos organismos vienen a ser elementos esenciales del ciclo de cada nutriente, que regulan el dinamismo de la materia orgánica en los suelos, el secuestro de carbono así como la emisión de distintos gases que contribuyen al efecto invernadero, modificando su estructura física de los suelos y cada régimen hídrico, con la cual incrementa su volumen así como es muy eficiente la absorción de

cada nutriente por las plantas existentes a través de varias relaciones mutuas con la que se benefician y mejoran la salud de las plantas.

Los estudios de las relaciones de los suelos con las plantas nos permiten comprender como se componen los bosques debido a que existe una estrecha relación entre la vegetación y los suelos, ya que de acuerdo con el tipo de suelo se da una vegetación determinada, razones que nos permiten plantear la interrogante ¿Se conoce la calidad del suelo de las Parcelas Permanente de Medición (PPM) del Bosques Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María - Perú? Formulándose al respecto la Hipótesis: Las Parcelas Permanente de Medición ubicadas en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María presentan una alta calidad del suelo.

La investigación se justifica porque a nivel nacional y local existe poca información de la calidad del suelo en Parcelas Permanente de Medición (PPM) de los bosques por lo que dicha información permitirá copar ese vacío que contribuirá como instrumento de gestión e investigación para el ámbito de Tingo María. Es necesario analizar si las Parcelas Permanentes de Medición a diferentes altitudes en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María y las prácticas agrícolas influyen o no en los parámetros fisicoquímicos y mediante ello en su estado o en su calidad el trabajo de investigación planteándose los objetivos siguientes:

1.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en diferentes altitudes en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María – Perú.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en diferentes altitudes mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el bosque reservado UNAS (BRUNAS) de Tingo María – Perú.
- Determinar la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en Parcelas Permanente de Medición en diferentes altitudes en el bosque reservado de la UNAS (BRUNAS) de Tingo María – Perú.
- Correlacionar las características físicas y químicas de los suelos con la macrofauna en las Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en el bosque reservado de la UNAS (BRUNAS) de Tingo María – Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El suelo

El suelo se define como una mezcla compleja de materiales minerales y orgánicos, junto con organismos vivos, aire y agua, que constituye un medio fundamental para el crecimiento vegetal. Su estructura se organiza en capas llamadas horizontes, formadas por procesos físicos, químicos y biológicos. Además de su función agrícola, el suelo desempeña un papel crucial en el ciclo de nutrientes, la regulación del agua y la mitigación del cambio climático (Brady & Weil, 2019).

El suelo viene a representar un recurso natural no renovable y limitado que se caracteriza por proporcionar varios servicios ecosistémicos, sobre todo lo que se relaciona a su intervención en cada ciclo biogeoquímico de elementos vitales como el nitrógeno, carbono, fósforo, entre otros, que perennemente a efectos de la energía aprovechable, suelen pasar de cada sistema biótico al componente no bióticos de la Tierra. En otro sentido lo que más se conoce, es que los suelos son el asiento natural para que se produzcan los alimentos y cada materia prima que es dependiente la humanidad (Montanarella, 2015).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, un suelo aparte de ser fuente de nutrientes y dar soporte a la planta suele ser hábitat para distintas variedades de organismos, efectivamente, el suelo suele albergar ciertas comunidades biológicas de mayor diversidad del globo terráqueo. La dinámica de los seres vivos dentro del suelo confirma la multiplicidad de servicio ecológico que bajo distintas situaciones ambientales suministran los suelos al conjunto de la biosfera (FAO, 2015).

Un suelo viene a representar la estructura primordial que da soporte a la actividad agrícola, se compone por materia orgánica, agua, materia mineral y aire. Encima del suelo e encuentra establecido el crecimiento de las plantas y también el crecimiento de las raíces que suministran a las plantas de nutrientes, agua y le soporta mecánicamente. Los suelos vienen a ser resultados de muchas interacciones como la topografía, el clima, los distintos organismos y cada material parental a través de los años (FAO, 2017).

Un suelo suele ser un recurso natural esencial, compuesto por partículas minerales, agua, aire, materia orgánica y microorganismos. Su importancia radica en su papel como sustento para los ecosistemas terrestres, además de su función en la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad. Es considerado un sistema dinámico que interactúa constantemente con la atmósfera y la hidrosfera (Lal, 2020a).

El suelo influye en gran manera respecto al medio donde está ubicado y trae repercusiones en distintas acciones económicas y sociales de las personas asentadas sobre un determinado espacio territorial, población que vienen ejerciendo diferentes grados de presión hacia los suelos y están generando efectos o vienen deteriorándolos, y también al ser parte de cada ecosistema y del agroecosistema, suelen tener funciones vitales o servicios importantes que mantienen a estos y suelen apoyar varias acciones económicas y sociales de cada persona (Burbano-Orjuela, 2016).

2.1.2. Calidad del suelo

La calidad de los suelos son indicadores esenciales de sostenibilidad agrícola y ambiental, ya que refleja su capacidad para cumplir funciones clave en los ecosistemas. Incluye atributos como la fertilidad, que determina la disponibilidad de nutrientes; la retención de agua, que asegura un suministro hídrico eficiente; y la estabilidad estructural, que previene la erosión. Además, el suelo contribuye significativamente a mitigar el cambio climático mediante el almacenamiento de carbono. Una buena calidad del suelo garantiza la productividad sostenible, que se conserve el recurso natural y se protejan los ecosistemas frente a la creciente presión humana (Lal, 2020b).

La calidad de los suelos es definida como la capacidad que presenta para que desempeñe distintas funciones esenciales en los ecosistemas, como sustentar el crecimiento vegetal, regular el ciclo del agua y actuar como filtro natural de contaminantes. Esto depende de propiedades físicas (como estructura y porosidad), químicas (pH y nutrientes) y biológicas (actividad de microorganismos y materia orgánica). Estas propiedades interactúan para mantener la salud del suelo, garantizar su sostenibilidad y contribuir al equilibrio ambiental, siendo clave para las productividades agrícolas y que se conserven cada recurso natural (Osman, 2018).

La calidad de los suelos se conceptualiza como un atributo clave para la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres, definido por su capacidad para cumplir funciones esenciales como el soporte de la vida vegetal, suelen regular el ciclo del agua y de distintos

nutrientes, y filtran los contaminantes. Este artículo destaca que la calidad del suelo debe evaluarse mediante indicadores biológicos, químicos y físicos que reflejen su estado actual y su potencial para mantener estas funciones en el tiempo (Bünemann et al. (2018).

La calidad del suelo, estrechamente vinculada al concepto de salud del suelo, se refiere a su capacidad para sustentar la productividad agrícola, mantener la biodiversidad y contribuir a la regulación climática. Los autores enfatizan que una buena calidad del suelo no solo implica su fertilidad, sino también su capacidad para resistir disturbios, adaptarse a cambios ambientales y sostener servicios ecosistémicos fundamentales (Lehmann et al., 2020).

La calidad de los suelos está referido a su capacidad de un determinado suelo para que funcione, enmarcados en los límites del ecosistema natural o bajo manejo, para que mantenga su productividad de cada vegetal y animal, que mantenga o mejore la calidad hídrica, así como del aire, soporte la salud y que sea habitable para la humanidad. Cada cambio en la capacidad de los suelos para que funcionen son reflejados entre sus características de los suelos que son variables dependientes del clima o manejo (United States Department of Agriculture [USDA], 2020).

2.1.3. Indicadores físicos de la calidad del suelo

Cada indicador físico como la densidad aparente, la porosidad y la estabilidad de agregados son esenciales para evaluar la calidad del suelo, ya que permiten entender cómo las características físicas afectan su funcionalidad. Por ejemplo, la densidad elevada restringe la penetración de las raíces y dificulta el intercambio de gases, limitando el desarrollo vegetal y la aireación. Por otro lado, la estabilidad de los agregados indica la resistencia de los suelos a la erosión y su capacidad para mantener una estructura que facilite la infiltración de agua y el soporte radicular. Estos factores no solo determinan la productividad agrícola, sino también la sostenibilidad del suelo frente a prácticas de manejo intensivo (Pulido Moncada et al., 2014).

Los indicadores físicos como la resistencia a la penetración, la conductividad hidráulica y la estabilidad estructural son parámetros clave para determinar la calidad física de los suelos. La propiedad de resistir a la penetración mide la facilidad con la que las raíces y el agua atraviesan el suelo, mientras que la conductividad hidráulica evalúa la capacidad del suelo para transmitir agua en condiciones saturadas, lo que es crucial en la regulación hídrica. La estabilidad estructural refleja la cohesión del suelo frente a

perturbaciones como el tránsito de maquinaria agrícola. Suelos compactados y con baja estabilidad presentan una mayor vulnerabilidad a la erosión, menor retención de agua y un deterioro general en su capacidad productiva, comprometiendo la sostenibilidad a largo plazo (Gómez & Lozano, 2016).

La compactación de los suelos y su distribución de los tamaños de poros son indicadores físicos fundamentales que afectan directamente su funcionalidad. La compactación limita el movimiento de raíces, agua y aire, reduciendo las productividades agrícolas y la salud de los suelos. Asimismo, los poros más grandes son esenciales para el drenaje y la aireación, mientras que los más pequeños contribuyen a la retención de agua. La pérdida de estas características físicas debido a prácticas de manejo inadecuadas incrementa el riesgo de degradación ambiental, incluyendo la erosión y la merma de la materia orgánica, comprometiendo tanto su sostenibilidad de estos ecosistemas agrícolas como su resiliencia frente a cambios climáticos (Dexter & Czyz, 2016).

Los indicadores físicos incluyen propiedades fundamentales del suelo que determinan su capacidad para gestionar de manera eficiente el agua y facilitar la disponibilidad de nutrientes esenciales. Entre estas propiedades destacan la retención hídrica, que permite almacenar agua para el uso de las plantas; la infiltración, que regula cómo el agua penetra y se distribuye en el perfil del suelo; y la estructura del suelo, que influye en su estabilidad, aireación y capacidad para soportar el crecimiento radicular. Estos indicadores son esenciales para evaluar la funcionalidad del suelo en el mantenimiento de sistemas agrícolas sostenibles (García et al. 2012).

2.1.3.1. Textura del suelo

La textura del suelo es entendida como una propiedad física muy importante, ya que describe la razón relativa de cada partícula mineral (arcilla, arena y limo) que componen a los suelos. Esta característica no solo determina la capacidad del suelo para retener agua y permitir la infiltración, sino que también define su estructura y su habilidad para proporcionar un soporte adecuado a las raíces. Además, la textura influye en el comportamiento de los nutrientes y el agua dentro del perfil del suelo, regulando su disponibilidad y movilidad. Esto la convierte en un factor esencial para el manejo agrícola y la sostenibilidad de los ecosistemas productivos (Maino et al., 2022).

Además, la textura de los suelos se encuentra definida como la composición de partículas de diferentes tamaños que afectan directamente su estructura física.

Los autores destacan que esta propiedad es determinante en su capacidad de los suelos para que retengan el agua, soporten cargas mecánicas y almacenen a cada nutriente, los cuales son cruciales para el desarrollo de cultivos. Sin embargo, en áreas impactadas por actividades como la minería, los cambios en la textura pueden alterar significativamente estas capacidades, afectando su fertilidad y el grado de funcionalidad de dichos suelos (Quinto-Mosquera et al., 2022).

Asimismo, la textura de los suelos es descrita como la distribución de cada partícula mineral en las categorías de arena, limo y arcilla, la cual influye en múltiples atributos físicos de los suelos, como su densidad, porosidad y su capacidad de retener agua. Esta propiedad no solo determina la calidad del suelo, sino que también condiciona su potencial para sostener el desarrollo agrícola, especialmente en suelos con limitaciones físicas y químicas, como los oxisoles. La textura se presenta como un indicador clave para planificar estrategias de manejo que aseguren la productividad sostenible (Rubiano et al., 2017).

2.1.3.2. Densidad aparente del suelo

Esta propiedad de los suelos, se define como la masa de los suelos secos que se encuentra en una determinada unidad volumétrica, es un parámetro clave para evaluar su estructura y funcionalidad de los suelos. Se sabe que una densidad elevada indica compactación, lo que reduce la porosidad y afecta negativamente al crecer la raíz y que infiltre el agua. En contraste, valores bajos de densidad reflejan suelos menos compactos, favoreciendo la aireación y el desarrollo radicular. Este indicador es esencial para el manejo agrícola y la planificación de prácticas sostenibles (Agostini et al., 2014).

Una densidad elevada se asocia con suelos más compactos, menos capaces de absorber agua y aire, mientras que una densidad baja mejora su capacidad de que retenga el agua y favorece en que crezcan los cultivos. Este estudio resalta que la densidad aparente es un factor determinante de las productividades agrícolas y la salud de los suelos en sistemas intensivos de manejo (Hossne, 2014).

Las densidades elevadas limitan la infiltración y el desarrollo de las raíces, mientras que una densidad baja está relacionada con suelos más saludables y productivos. Estos hallazgos subrayan la importancia de monitorear la densidad aparente para que se optimicen su manejo de los cultivos y mejorar su calidad de los suelos (Salamanca Jiménez & Sadeghian Khalajabadi, 2014).

Hernández et al. (2015) señalan que una densidad aparente alta puede disminuir la capacidad de retener agua y dificultar el intercambio gaseoso, lo que afectaría negativamente que se desarrollen cada cultivo establecido. Este estudio enfatiza lo importante que es medir y gestionar adecuadamente la densidad aparente, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y el riego.

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

Clase textural	Ideales (g/cm ³)	Aceptables (g/cm ³)	Afectaría que crezca la raíz (g/cm ³)	Restringe que crezca la raíz (g/cm ³)
Areno-franco, arena	Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.69	1.69 ≤ Dap < 1.8	Dap mayor a 1.80
Franco, franco-arenosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.63	1.63 ≤ Dap < 1.8	Dap mayor a 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap mayor a 1.75
Limosa	Dap < 1.3	1.3 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap mayor a 1.75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.55	1.55 ≤ Dap < 1.65	Dap mayor a 1.65

2.1.3.3. Resistencia a la penetración

Esta característica es un parámetro esencial con fines de evaluar su compactación y la estructura de los suelos. Este indicador refleja la dificultad que encuentran el sistema de raíces para que penetren en los suelos, lo que afecta su desarrollo y la absorción de agua y nutrientes. Una alta resistencia a la penetración suele asociarse con suelos compactados, lo que suele limitar que crezcan las raíces y que infiltre el agua, mientras que la baja resistencia indica suelos más sueltos y aireados, que favorecen que se desarrolle la raíz y también absorbe el agua (INIA, 2016).

Este parámetro indica el nivel de compactación de los suelos. La compactación suele limitar que crezcan las raíces y es limitado el agua y aire disponibles para la raíz. Una de las formas de que se mida la resistencia a la penetración es mediante el cálculo de la resistencia de los suelos al movimiento de un cono de penetrar y dividir respecto a la profundidad que ha penetrado. El penetrómetro es una herramienta comúnmente utilizada para este propósito (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 2017).

La capacidad de resistir a la penetración viene a ser un indicador clave en que se evalúe el grado de compactación de los suelos, ya que refleja la dificultad que tienen las raíces para penetrar el suelo. Este parámetro se usa ampliamente en estudios de calidad del suelo, pues valores elevados suelen asociarse con suelos compactados, lo cual

afecta negativamente la aireación y que se infiltre el agua. Por otro lado, una baja resistencia a la penetración se relaciona con suelos más porosos, favoreciendo el desarrollo radicular y mejorando que esté disponible el agua para la planta (Tormo et al., 2020).

2.1.3.4. Temperatura del suelo

Las temperaturas de los suelos juegan papeles fundamentales para que crezcan y desarrollen cada planta, ya que influye para procesos clave como la acción de germinar las semillas y que se desarrolle la raíz. Temperaturas demasiado altas o bajas pueden afectar negativamente estos procesos. Las altas temperaturas pueden dañar las raíces, mientras que las bajas pueden ralentizar la actividad metabólica de las plantas, lo que limita su crecimiento y productividad (AgriculturaWiki, 2020).

Además, un estudio realizado por EOS Data Analytics resalta la importancia de monitorear la temperatura del suelo, ya que sus fluctuaciones impactan directamente en la eficiencia del crecimiento de los cultivos. El análisis de datos históricos de la temperatura del suelo y su seguimiento son clave para predecir el éxito agrícola en regiones específicas, especialmente en condiciones climáticas extremas (EOS Data Analytics, 2021).

2.1.4. Indicadores químicos de la calidad del suelo

2.1.4.1. El pH (1:1)

Los indicadores químicos del suelo, como el pH, materia orgánica y nutrientes como el fósforo, nitrógeno, calcio, potasio y magnesio, suelen ser esenciales con la cual se evalúan la fertilidad y la salud de los suelos. Para el caso del pH, por ejemplo, suele influir sobre lo disponible que se encuentran cada nutriente para los vegetales, además los suelos con pH extremos pueden limitar la absorción de ciertos minerales. Estos indicadores proporcionan información crucial sobre la capacidad de los suelos con la cual se sustenta la vida de las plantas (Sánchez, 2023).

Otro indicador químico de suma importancia es la materia orgánica, ya que mejora la estructura edáfica aumentando su capacidad de retener agua. Según un estudio, el valor y composición de la materia orgánica juegan un rol fundamental en la fertilidad edáfica, impactando cada propiedad física, química y biológica. La materia orgánica es esencial para el funcionamiento sostenible de los sistemas agrícolas (Martínez et al., 2009).

El pH edáfico es un indicador químico esencial influyente en la disponibilidad del nutriente hacia las plantas. Un pH bajo (ácido) o alto (alcalino) pudiera

limitar que se absorban los nutrientes y afectaría que la planta crezca. El suelo con un pH entre 6 y 7 es generalmente el más adecuado para casi todas las plantas, porque en dicho rango cada nutriente es más soluble y accesible. Además, el pH también puede influir en la toxicidad de ciertos elementos, como el aluminio en suelos ácidos. El manejo adecuado del pH, mediante la aplicación de enmiendas, es clave para optimizar la fertilidad de los suelos, así como mejorar la productividad agrícola (López et al., 2018).

El pH de los suelos suele ser un factor muy importante que influye en la biodisponibilidad de nutrientes para la planta. Los suelos ácidos (con pH bajo) pueden incrementar la solubilidad de elementos tóxicos como el aluminio, lo que puede inhibir el crecimiento de las raíces, mientras que en un suelo alcalino (pH elevado) se registra que nutrientes como el manganeso y hierro disminuyen significativamente su disponibilidad. Por esto, el control adecuado del pH es crucial con fines de que se asegure en la planta que posea acceso a cada nutriente necesario para que logre desarrollar (Smith & Jones, 2019).

El pH óptimo para la mayoría de los cultivos agrícolas se encuentra en un rango de 6 a 7. En suelos con pH fuera de este rango, las plantas pueden experimentar deficiencias de nutrientes, lo que afecta su crecimiento y rendimiento. Aplicar enmiendas como la cal en un suelo ácido y azufre en un suelo alcalino, permite que se ajuste el nivel del pH y mejore la salud y productividad del suelo (Hernández et al., 2020).

Tabla 2. Niveles de pH en el suelo.

Interpretación de suelos	Rango
Extremadamente ácidos	< 4.5
Fuertemente ácidos	4.6 - 5.4
Moderadamente ácidos	5.5 - 6.5
Neutros	6.6 - 7.3
Moderadamente alcalinos	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalinos	>8.5

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

2.1.4.2. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es un componente crucial que influye en la estructura de los suelos, la capacidad de retención de nutrientes y agua, así como las actividades biológicas. A más materia orgánica en el suelo se mejora su porosidad, facilita que se desarrollen las raíces y favorece la retención de nutrientes esenciales. Además,

contribuye a la formación de humus, que es vital para la fertilidad a largo plazo del suelo (Gómez et al., 2018).

Características como calidad y cantidad de la materia orgánica de los suelos determinan en su capacidad edáfica para que sustenten la vida de las plantas. El suelo que contiene elevado nivel de materia orgánica suele tener mejor característica física, química y biológica, resultando sobre una mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes. El manejo adecuado de la materia orgánica, como la adición de compost o estiércol, es primordial en la mejora de la salud y fertilidad de los suelos (Torres et al., 2019).

Tabla 3. Intervalos de materia orgánica en el suelo.

Niveles	Rangos (%)
Bajos	Menor a 2
Medios	Entre 2 a 4
Altos	Mayor a 4

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.1.4.3. La conductividad eléctrica

Característica influenciada al combinarse distintas propiedades fisicoquímicas de los suelos entre ellos se encuentra la clase textural, humedad, materia orgánica, salinidad, Ca^{+2} , capacidad de intercambio catiónico, Mg^{+2} , pH, tipo de suelos, etc. (Peralta *et al.*, 2013).

Esta propiedad edáfica y su ulterior mapeo permiten implementar la factibilidad, viabilidad y buen desarrollo de un producto en un suelo específico, debido a que es considerado una técnica rápida y económica para que se indique su productividad. La conductividad eléctrica se influencia de la cantidad de agua, arcillas y los iones intercambiables en los suelos, con capacidad de que conduzcan la corriente eléctrica incidiendo sobre la característica nutritiva de un suelo. Esta característica se encuentra en asocio a su salinidad de los suelos, siendo la estimación, así como la predicción a nivel espacial suelen representar un importante interés de los investigadores con fines de atribuirles novedosa aplicación ambiental o agrícola (Allaire *et al.*, 2012).

2.1.4.4. Nutrientes en el suelo

Los nutrientes del suelo, como el potasio, fósforo, nitrógeno, magnesio y calcio, se caracterizan por ser esenciales durante su crecimiento y desarrollo de la

planta. Estos nutrientes están disponibles para las plantas en función de las características químicas de los suelos, como la CIC y el pH. El manejo adecuado de estos nutrientes es primordial para que el suelo se mantenga fértil y productivo, especialmente en sistemas agrícolas intensivos, donde la demanda de nutrientes es alta (Rodríguez et al., 2017).

La correcta gestión de los nutrientes del suelo es esencial para que se optimice el rendimiento de cada cultivo y se evite la degradación de los suelos. El N, fósforo y potasio son los tres nutrientes primarios más demandados por las plantas, y su deficiencia puede limitar el crecimiento y la productividad. Las prácticas agrícolas, como la aplicación de fertilizantes, deben ser cuidadosas para evitar la sobrecarga de nutrientes, lo que puede llevar a la contaminación del agua y la pérdida de fertilidad del suelo (González et al., 2018).

a. Nitrógeno en el suelo

El nitrógeno viene a ser un nutriente esencial para la planta y constituye uno de los componentes claves de las proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. En el suelo, el nitrógeno se encuentra principalmente en formas orgánicas e inorgánicas, como el amonio (NH_4^+) y los nitratos (NO_3^-). La disponibilidad de nitrógeno en el suelo depende de factores como el pH, la materia orgánica y cada práctica del manejo agrícola, resaltando la aplicación de fertilizantes. La deficiencia de nitrógeno limita el crecimiento de las plantas, mientras que su exceso puede llevar a que se contamine el agua y se emitan gases de efecto invernadero (Martínez et al., 2019).

La gestión adecuada del nitrógeno en el suelo es crucial para optimizar la eficiencia de los fertilizantes y reducir los impactos ambientales negativos. El nitrógeno se pierde en el suelo mediante procesos como la lixiviación, la volatilización y la desnitrificación. Por lo tanto, el monitoreo y la aplicación precisa de nitrógeno, en combinación con prácticas agrícolas sostenibles, son esenciales para que se mejore la salud edáfica y la productividad del cultivo (Sánchez & Pérez, 2020).

Tabla 4. Niveles de contenido de nitrógeno.

Niveles	Rangos (%)
Bajos	Menores a 0.1
Medios	Entre 0.1 hasta 0.2
Altos	Mayores a 0.2

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

b. Fósforo disponible en el suelo

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, ya que es fundamental para la fotosíntesis, transfiera energía y se forme la raíz. En el suelo, a este elemento suele encontrarse principalmente bajo formas inorgánicas, como el fosfato (PO_4^{3-}), que puede ser absorbido por las plantas. Sin embargo, la disponibilidad de fósforo en el suelo depende de varios factores, como el pH, la presencia de hierro, calcio y aluminio, y la actividad microbiana. La deficiencia de fósforo puede limitar el crecimiento de las plantas, mientras que su exceso puede causar la contaminación de cuerpos de agua cercanos debido a la eutrofización (Hernández et al., 2018).

La gestión adecuada del fósforo disponible en el suelo es crucial para la producción agrícola sostenible. Este elemento no es fácilmente móvil en los suelos, lo que significa que las plantas pueden tener dificultades para acceder a él, especialmente en suelos con bajo contenido de materia orgánica o en suelos con pH muy alto o bajo. Las enmiendas, como los fertilizantes fosfatados, pueden mejorar la disponibilidad de fósforo, pero su uso debe ser controlado para evitar impactos negativos en el medio ambiente (Gómez & Rodríguez, 2020).

Tabla 5. Niveles de contenido de fósforo disponible.

Niveles	Rangos (ppm)
Bajos	Menores a 7
Medios	Entre 7 hasta 14
Altos	Mayores a 14

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

La asimilación del fósforo por las plantas es más eficiente en suelos ácidos, donde la forma H_2PO_4^- es la más asimilable. En suelos con pH bajo, este ion se encuentra en mayor concentración, lo que facilita su absorción por las raíces. Según García et al. (2016), el fósforo disponible en el suelo puede variar dependiendo del pH, y los suelos ácidos tienen una mayor capacidad para mantener el fósforo en formas que las plantas pueden asimilar.

Wild (2017) menciona que la disponibilidad de fósforo también está estrechamente relacionada con la clase textural de los suelos y el nivel de materia orgánica. En suelos con elevada concentración de la materia orgánica, el fósforo tiene una mayor

tendencia a estar disponible para la planta, porque la materia orgánica actúa como un reservorio que retiene este nutriente. En promedio, los suelos pueden contener alrededor de 180 mg/kg de fósforo, aunque dicha cantidad pudiera tener variaciones dependientes de las condiciones edáficas locales.

c. Potasio disponible del suelo

Este elemento es un nutriente fundamental para la planta, y su disponibilidad en los suelos es dependiente de distintos factores entre los cuales resalta el pH, la textura y la materia orgánica. Los suelos ácidos generalmente favorecen una mayor concentración de potasio en su forma intercambiable, facilitando su absorción por las plantas. Sin embargo, en suelos alcalinos, el potasio puede quedar fijado en minerales como feldespatos y micas, lo que limita su disponibilidad para las plantas. La gestión eficiente de este nutriente es crucial para garantizar la nutrición adecuada y mejorar la productividad agrícola (International Plant Nutrition Institute, 2020).

El manejo adecuado del potasio en el suelo es clave para optimizar la eficiencia de los fertilizantes y mejorar la salud del suelo. La materia orgánica juega un papel fundamental en la retención de potasio, ya que ayuda a mantener este nutriente disponible para las plantas. Además, las prácticas de fertilización deben considerar las diferentes formas de potasio presentes en el suelo para asegurar una nutrición balanceada (Tiloom, 2021).

Tabla 6. Niveles de contenido de potasio disponible (K₂O).

Niveles	Rango (kg/ha)
Bajos	Menor a 300
Medios	Entre 300 a 600
Altos	Mayores a 600

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.1.5. Indicadores biológicos de la calidad del suelo

El indicador biológico como las actividades microbianas, la presencia de lombriz de tierra y diversidad de la mesofauna de los suelos, son fundamentales para evaluar la calidad del suelo. La actividad microbiana, medida a través de la respiración del suelo, refleja la capacidad del suelo para realizar procesos biológicos esenciales, como la descomposición de materia orgánica. Un suelo con una alta actividad microbiana

generalmente indica una buena salud y productividad. Además, cuando se encuentra presente la lombriz de tierra indica que el suelo está bien estructurado, posee buena capacidad de retener el agua (Contaminación Ambiental, 2024).

La diversidad de la mesofauna, que incluye organismos como ácaros y colémbolos, es otro indicador biológico crucial para la calidad del suelo. Estos organismos contribuyen a la descomposición de materia orgánica y al reciclaje de nutrientes. Su presencia y abundancia reflejan un equilibrio ecológico adecuado, mientras que una disminución en su diversidad puede señalar procesos de degradación o un manejo no adecuado de los suelos (Allaire, 2012).

2.1.5.1. Macrofauna del suelo

La macrofauna del suelo, que incluye organismos como lombrices de tierra y otros invertebrados, juegan papeles esenciales en mejorar la estructura de los suelos y retienen los nutrientes. Su actividad de estos organismos facilita que se descomponga la materia orgánica y la formación de agregados estables, lo que es favorable para la aireación y que retengan el agua, haya presencia y abundancia de la macrofauna que es un indicador biológico importante en la calidad de los suelos, porque reflejan su capacidad para sustentar la vida vegetal y su salud general (Estrella Juanacio et al. 2024)

Castillo-Trejo et al. (2023) destacan que la diversidad y la cantidad de macrofauna edáfica también pueden indicar el estado de conservación de los suelos en agroecosistemas. Los suelos con una rica biodiversidad de macrofauna son más resilientes y productivos, lo que hace que el monitoreo de estos organismos sea una herramienta clave en gestionar de manera sostenible el suelo agrícola.

2.1.6. La diversidad biológica

La biodiversidad de los suelos viene a ser fundamental para que funcione un determinado ecosistema, porque influye en que se forme la estructura de los suelos, se descomponga la materia orgánica y se reciclen los nutrientes. La diversidad de organismos en los suelos, que incluye hongos, bacterias, mesofauna y macrofauna, está asociada con la mayor capacidad en retener nutrientes y agua, contribuyendo a su fertilidad de los suelos y la salud de las plantas. Conservar esta biodiversidad resulta ser esencial para garantizar la sostenibilidad de cada ecosistema agrícola (FAO, 2015).

La biodiversidad del suelo es un componente crucial para la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. Diversos estudios han demostrado que la

presencia de una amplia gama de organismos del suelo, como bacterias, hongos, lombrices y ácaros, mejora la estructura del suelo, facilita la descomposición de materia orgánica y contribuye al ciclo de nutrientes. Esta diversidad también incrementa la resiliencia del suelo ante cambios ambientales y prácticas de manejo. La pérdida de biodiversidad en el suelo, ocasionada por prácticas agrícolas intensivas, puede comprometer la salud y la productividad del suelo (Benitez et al., 2019).

La pérdida de biodiversidad del suelo debido a prácticas agrícolas intensivas y la contaminación puede afectar la calidad del suelo y la productividad agrícola. La implementación de cada práctica agrícola sostenible, como rotar cultivos y aplicar los abonos orgánicos, ayudaría en la preservación de su biodiversidad del suelo, lo que, a su vez, mejora la salud del suelo y la resiliencia de los ecosistemas (Raigón, 2014).

2.1.7. Diversidad en los bosques montanos

Los bosques montanos son ecosistemas ricos en biodiversidad, albergan varias especies endémicas que se adaptaron a situaciones extremas vinculadas al clima y altitud. Dichos ecosistemas desempeñan papeles cruciales en conservar la diversidad biológica global, especialmente en regiones como los Andes Tropicales, donde se han identificado numerosos endemismos en flora y fauna. Además, la diversidad genética y funcional en estos bosques es fundamental para mantener su resiliencia y capacidad de adaptación ante el cambio climático y otras perturbaciones (Cuesta et al., 2009).

Los bosques montanos son esenciales para que se conserven la diversidad biológica, al albergar una rica variedad de especies de animales y plantas no presentes en otros ecosistemas. Estos bosques actúan como refugios para especies endémicas que dependen de las condiciones específicas de altitud y clima. La alta diversidad biológica de estos bosques está directamente relacionada con su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos críticos, como regular el ciclo hídrico y controlar la erosión (Sarmiento & Ortega, 2017).

Según los estudios realizados por López et al. (2020), la diversidad de especies en cada bosque montano también contribuye a la estabilidad de los ecosistemas al promover interacciones ecológicas que facilitan la regeneración del bosque. Las especies que habitan estos bosques no solo desempeñan roles clave en la dinámica del ecosistema, sino que también tienen un alto valor para cada comunidad local dependiente de este ecosistema para su sustento y bienestar.

El grado de biodiversidad de los bosques montanos está bajo creciente amenaza debido a la actividad humana, como la expansión agrícola y la deforestación. La fragmentación de estos hábitats está reduciendo las áreas de refugio para especies endémicas, lo que podría llevar a una disminución irreversible de la biodiversidad. Según la FAO (2021), se requiere un enfoque integrado de conservación que combine la restauración de hábitats y el manejo sostenible para asegurar la protección de estos vitales ecosistemas.

2.1.7.1. La diversidad alfa

La diversidad alfa es fundamental para evaluar la salud y resiliencia de los ecosistemas. Se considera un indicador clave en la conservación, ya que una mayor diversidad alfa está vinculada a la estabilidad ecológica y la capacidad de los ecosistemas para responder a perturbaciones. La medición de la diversidad alfa, a través de índices como Shannon-Wiener y Simpson, permite cuantificar tanto la riqueza de especies como su distribución relativa dentro de una comunidad (Mouillot et al., 2014).

La diversidad alfa no solo refleja la riqueza de especies en un ecosistema, sino también la equidad en la distribución de estas especies. La alta diversidad alfa en comunidades ecológicas está asociada con un mayor nivel de funcionalidad del ecosistema, cada ecosistema que posea una alta diversidad alfa suele tener mayor eficiencia en aspectos como que provea de los servicios ecosistémicos dentro de los que se destacan la purificación del aire, así como la regulación del ciclo del recurso hídrico (López-Pujol et al. 2016)

La medición precisa de la diversidad alfa se ha convertido en una herramienta esencial empleado durante acciones del monitoreo vinculado a la diversidad biológica como respuesta hacia el cambio climático y otras presiones ambientales. Los índices de diversidad proporcionan una visión detallada de la composición de especies y la equidad en su distribución, lo que permite identificar comunidades más vulnerables a los cambios en las condiciones ambientales (Chao et al., 2018).

A medida que la biodiversidad de una comunidad aumenta, también lo hace la complejidad de sus interacciones ecológicas, lo que mejora la resiliencia del ecosistema. La diversidad alfa juega un papel crucial en el mantenimiento de esta complejidad, especialmente en comunidades tropicales, que suelen tener una mayor riqueza de especies y mayor interdependencia entre ellas (Gao et al., 2020).

2.1.7.2. La diversidad beta

Según Baselga (2017), la diversidad beta ayuda a comprender los procesos ecológicos que determinan las variaciones en la composición de especies, tales como la dispersión, la interacción entre especies y la influencia de los factores ambientales. Además, el uso de índices de disimilitud, como el índice de Bray-Curtis, permite a los ecologistas cuantificar y comparar de manera precisa las diferencias en la biodiversidad entre comunidades ecológicas.

La diversidad beta también es importante para la planificación de la conservación, ya que refleja cómo los cambios en la composición de las especies de distintos sitios están asociados con factores ambientales y ecológicos. Según Martínez et al. (2015), un mayor valor de diversidad beta puede ser indicativo de una región con ecosistemas ecológicamente diversos, lo que puede aumentar la resiliencia ante perturbaciones y cambios climáticos.

La medición de la diversidad beta a través de índices como el de Jaccard y Bray-Curtis no solo permite comparar la variabilidad de especies entre comunidades, sino que también proporciona información sobre los patrones de distribución espacial de las especies. Estos índices son útiles para la biogeografía y el manejo de la biodiversidad, ya que ofrecen una visión integral de cómo las especies se distribuyen a lo largo de gradientes ambientales (Socolar et al., 2016).

2.2. Estado del arte

Guisado Lale (2024) investigó la calidad de los suelos en gradientes altitudinales en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* e *Inga macrophylla* en altitudes de 800 a 1500 m en Chontabamba, Perú. La investigación fue desarrollada en tres áreas: condiciones climáticas, propiedades fisicoquímicas del suelo, y sostenibilidad del sistema agrícola. Los resultados muestran que, en altitudes mayores, la temperatura media anual disminuye, mientras que la precipitación anual es relativamente estable, lo que favorece una mayor retención de humedad en el suelo. En cuanto a las propiedades de los suelos, el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) con la cual se evaluó su calidad y sustentabilidad de los suelos, alcanzó hasta 0.85 en altitudes superiores, mientras que en altitudes bajas fue de 0.60, indicando una mejor calidad en altitudes elevadas. La materia orgánica (MO) y el carbono total (CT) mostraron incrementos a medida que la altitud aumentaba, con valores de MO de hasta 6% en zonas altas, frente a 3.5% en zonas bajas, lo que mejora la estructura y fertilidad

del suelo. La porosidad total también fue mayor en altitudes elevadas (55% frente a 45% en bajas), favoreciendo la capacidad de retener agua y la aireación. Estos cambios de su calidad de los suelos se traducen en mejores condiciones para el crecimiento de cultivos, haciendo que el sistema agroforestal en altitudes altas sea más sostenible y productivo. El estudio resalta la importancia de identificar estas variaciones altitudinales para optimizar el manejo de suelos y asegurar la sostenibilidad agrícola en zonas montañosas.

Murga-Orrillo et al. (2021) analizó la calidad de los suelos entre la gradiente altitudinal de 0 a 5000 m, evaluando cómo el cambio en la altitud afecta las condiciones edafoclimáticas en los bosques tropicales. La información se sistematizó en tres áreas: clima, propiedad física, química y biológica de los suelos, y respuestas de cada especie forestal. Los resultados muestran que la temperatura promedio anual disminuyó a mayor nivel altitudinal, mientras que las lluvias anuales alcanza picos en altitudes medias, influye sobre la disponibilidad de nutrientes y agua. El pH del suelo desciende hasta los 3000 m, lo que lo vuelve más ácido, y aumenta en altitudes superiores, afectando la calidad de los suelos respecto a la disponibilidad de los nutrientes. El carbono orgánico, materia orgánica, carbono total, y el nitrógeno total aumentan hasta los 3000 m, mejorando la calidad del suelo, pero decrecen en altitudes superiores, disminuyendo así la fertilidad. Además, nutrientes clave como el potasio, calcio, magnesio, hierro y aluminio disminuyeron paralelo a la altitud debido a la baja temperatura y menor humedad edáfica, lo que afecta la retención de nutrientes y la calidad del suelo en altitudes elevadas. La variación edafoclimática afecta la densidad y diversidad de especies forestales, disminuyendo la calidad ecológica en altitudes altas y limitando el crecimiento. Este estudio destaca la importancia de entender los límites altitudinales para implementar políticas conservacionistas y gestión de la calidad de los suelos en los ecosistemas tropicales.

Cruz-Flores et al. (2020) en su investigación cuyo objetivo fue la identificación y el reconocimiento de mejores indicadores sobre la calidad del suelo y buscar una relación con el contenido del carbono orgánico, se ejecutó el estudio en áreas boscosas de la Reserva de la Biósfera los Volcanes. Se seleccionó 26 lugares que se distribuyeron desde 2600 hasta 3800 msnm donde se colectó muestras de suelos entre los 0 hasta 20 cm para analizar las características fisicoquímicas y desde 0 hasta 10 cm sobre los atributos biológicos y bioquímicos. Como resultado se registró de excelente indicador parcial en la evaluación de la calidad de los suelos (*IpCS*) al pH, porcentaje de arena, carbono orgánico, contenido gravimétrico de agua, K^+ y Ca^{+2} intercambiables; carbono de biomasa microbiana y actividad

fosfatasa ácida y presencia/abundancia de algas y bacterias. Con los IpCS, se determinaron de forma conmutativa y aditivamente, calidad total del suelo (CSTsum y CSTmul) cuya tendencia fue similar, siendo el modelo aditivo mejor para bosque afectado y vegetación secundaria (2600 y 2700 m) solían tener menos calidad edáfica, sin embargo, para la franja media (3000 a 3300 m) en bosque de abies y bosque mixto de abies con pino, estos suelos presentaron más contenido del carbono orgánico y elevados valores de CSTsum y CSTmul.

Cueva et al. (2019) en la presente investigación analizaron la influencia de la altitud sobre la composición florística, estructura y biomasa de la vegetación arbórea en los bosques secos andinos. Se estableció tres conglomerados entre las altitudes de 1 750 a 2 320 m.s.n.m en la Reserva Natural Pisaca de Loja. Se ha medido a la vegetación con $DAP \geq 10$ cm demarcadas en la parcela de 0,36 ha y las plantas con $DAP \geq 5$ cm en la parcela anidada cuya área fue 0,04 ha, registrando aspectos dasométricos, ecológicos y se estimó la biomasa a través de ecuaciones alométricas. Hubo 2,012 individuos distribuidos en 39 especies y un morfotipo que abarcan hasta 35 géneros agrupados en 23 familias. Las familias más diversas estuvieron representadas por Myrtaceae, Fabaceae y Asteraceae. Se encontró especies muy importantes como *Lafoensia acuminata*, *Myrcianthes* sp., *Mauria heterophylla*, *Xylosma* sp. y *Vachellia macracantha*. El bosque registró 29,48 m² de área basal, 149,51 m³ de volumen maderable y 565,44 Mg/ha de biomasa. Presentaron como conclusión que, en los bosques secos andinos hay una relación directa entre la altitud con su estructura, riqueza y biomasa, ratificando que, la gradiente altitudinal es un factor determinante para estudiar la biodiversidad.

Socarras (2014) evaluó el impacto de los métodos agroecológicos por medio de la variación de la mesofauna de los suelos de la finca donde se maneja integradamente la ganadería con la agricultura en Cangrejeras de la provincia Artemisa. Se seleccionó como sistema de manejo a un pastizal con una edad superior a los 20 años (control) un área de forraje establecida en mosaico con varias parcelas pequeñas de cultivos perenne que se sometió al abonamiento orgánico; y un área de policultivos que se aplica la rotación de cultivos de corto ciclo siendo aplicado el compost. Se realizó muestreos a seis y ocho años de establecerse el área de forraje y cultivo, en cada estación del año; fueron extraídos cinco muestras de 0 a 10 cm por sistema prosiguiendo el diseño completo al azar. Generalmente en el área de forraje y pastizal, respecto a la relación oribátido/astigmado, oribátido/prostigmado y astigmado/mesostigmado (para cada estación y año de transformación), predominó cada grupo edáfico que constituye cada indicador de estabilidad y fertilidad de los suelos (oribátido

y mesostigmado), al favorecerse de haberse incorporado la materia orgánica y mejor cobertura de los suelos, que estimuló a la mesofauna en recobrar condiciones de mejor estabilidad. Para el policultivo hubo predominancia del conjunto de indicadores de la infertilidad e inestabilidad de los suelos (astigmado y prostigmado), porque rotar cultivos y manejar con técnicas agroecológicas no certificaron cada condición beneficiosa de establecer los demás grupos.

Correa (2011) evaluó la calidad de los suelos de distintos sistemas de uso (cultivo permanente, pastura, purma, y cultivo anual) en el distrito de Pueblo Nuevo. Se evaluó cada indicador físico como la clase textural, la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad efectiva, resistencia a la penetración, capacidad de retener agua y la temperatura de los suelos; y entre el indicador químico se consideró a la reacción del suelo, materia orgánica, fósforo disponible, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico y potasio disponible, mientras que entre el indicador biológico estuvo considerado por la respiración edáfica, biomasa microbiana y densidad de lombrices. En el resultado en base al análisis de la varianza, se obtuvo mejor calidad de los suelos en el sistema purma con 15 años, proseguido por el cultivo permanente de cítrico, el pastizal predominado por brizanta y finalmente el cultivo anual representado por un maizal.

Reátegui (2009) en su investigación el objetivo fue evaluar cada indicador físico, químico y biológico en varios sistemas de uso de los suelos (pastizal, maizal, bosque secundario y cafetal) en el distrito Hermilio Valdizan, se estableció un transecto por sistema de uso donde se extrajo cinco monolitos cuyas dimensiones fueron de 0.25 m x 0.25 m y 0.30 m de profundidad. Como resultado, el cafetal registró un suelo de textura franco arcillo limosa, con 0.9 g/cm³ de DA, 2.5 kg/cm² de resistencia, moderadamente ácido, nivel medio en MO y N, niveles bajos para el P y el K. El bosque secundario posee textura franco-arcillosa, 1.1 g/cm³ de DA, 1.5 kg/cm² de resistencia, moderadamente ácido, nivel bajo en MO, así como el N, niveles medios de P y K. El suelo del pastizal presentó la textura franco arcillosa, baja DA con 1.0 g/cm³, alta resistencia a la compactación con 2.9 kg/cm², fuertemente ácido, bajo en MO y N, nivel medio de P y K. El suelo del maizal presentó textura franca arcillo limosa, baja DA con 1.0 g/cm³, resistencia de 1.7 kg/cm², fuertemente ácido, nivel medio de MO y N, nivel bajo de P y K.

Camayo (2010) publicó un estudio en suelos residuales de la laguna Los Milagros que pertenece al distrito de Pueblo Nuevo, abarcando los sistemas de uso cafetal, yucal, cocal y bosque secundario; cuantificó la macrofauna y se relacionó a cada propiedad

del suelo. Entre los resultados, los cuatro sistemas de uso tuvieron suelos franco arenoso, hubo variaciones de la densidad real, densidad aparente, porcentaje de humedad, temperatura, resistencia de penetración y porcentaje de espacio poroso. De manera similar, para cada indicador de las propiedades químicas edáficas hubo diferencias entre los sistemas evaluados; respecto a las propiedades biológicas fue identificado ocho grupos taxonómicos destacándose el Himenópteros, Oligoquetas, Isópodos, Isópteras, Chillipodas, Araneas, Coleópteros y larvas. Respecto a la macrofauna de los suelos (Simón et al., 2005), encontraron mayores diversidades de organismos en el sistema con árbol, lo que pudiera relacionarse a los efectos ejercidos por el árbol sobre el suelo, cuando se regulan distintos factores como la humedad y temperatura que crean microclimas con condiciones favorables a lo que exigen los distintos organismos vivos que suelen desarrollar parte de su ciclo de vida o la totalidad de su vida bajo las condiciones del suelo o sobre el suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Características del área de investigación

El estudio fue desarrollado en los bosques montanos que pertenecen a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, conocido como Bosque Reservado UNAS o BRUNAS, está ubicada a una distancia referencial de 1.5 km desde la ciudad de Tingo María y recorrer por la carretera en dirección a la ciudad de Huánuco.

3.1.2. Ubicación política

El Bosque Reservado UNAS se localiza políticamente en el distrito Rupa Rupa circunscrito a la provincia de Leoncio Prado en el departamento de Huánuco. Este ecosistema boscoso abarca un área de 217,22 ha, distribuidos en 185 ha con cobertura boscosa que representa el 85,17% de la totalidad de área, el resto de las áreas se encuentran en recuperación con vegetación de pequeño porte debido a la perturbación anterior por cultivos ilícitos ocurridos durante la década del año 1970 (Puerta, 2007).

3.1.3. Ubicación geográfica

Los puntos de muestreo fueron ubicados a lo largo de la gradiente altitudinal del bosque reservado UNAS, dentro de las coordenadas siguientes (Tabla 7):

Tabla 7. Coordenadas UTM (WGS 84) y altitud de las parcelas permanentes de medición.

N° PPM	Coordenadas		Gradiente altitudinal (msnm)
	Este	Norte	
1	391 156	8 970 610	720
3	391 560	8 970 320	820
4	391 860	8 970 120	920

En BRUNAS posee una distribución de gradiente altitudinal entre los 667 a 1092 msnm, en ella se encuentran distribuidas las unidades fisiográficas de Colina baja que abarca 22,91 ha, luego la de mayor superficie que es la colina alta donde abarca 150,74 ha, y en la parte más alta está la zona montañosa abarcando un área de 43,57 ha, siendo denominado comúnmente esta última unidad como “Cerro Cachimbo” debido a que su

característica resaltante es que se encuentra desprovista de vegetación de porte alto. En cuanto al valor de las pendientes; se tiene un aproximado del 70,74% de su área del Bosque reservado UNAS poseen valores superiores a los 25,0%, con la cual se ratifica que estas áreas suelen pertenecer a la zona de protección.

Las Parcelas Permanentes de Medición N° 1 y N° 3 (PPM 1 y 3) fueron instaladas en el Bosque Reservado UNAS en el año 2004 por el Br. David Blas Jaimes con una dimensión de 1 ha (100 m por 100 m), divididas en 25 subparcelas de 20 metros por 20 metros, lo que permitió realizar una evaluación a detalle de su composición florística y el crecimiento de todas las especies presentes. Este diseño fue pensado para monitorear la dinámica del ecosistema, analizando no solo el incremento medio anual (IMA) de las especies, sino también los procesos de reclutamiento y mortalidad que moldean la dinámica del bosque.

En ese mismo año, el Br. Jenri Ruiz Gonzales también estableció la parcela permanente de medición N° 4 (PPM 4), de similares dimensiones, pero igualmente y también dividida en 25 subparcelas, la PPM 4 fue creada con un enfoque especial en la estructura y características fitosanitarias de los árboles. Evaluando el crecimiento y la mortalidad de las especies, así como también examinó la calidad del fuste, las características de la copa y la incidencia de lianas, que pueden afectar la competencia por luz y espacio.

3.1.4. Zonas de vida

En base a lo clasificado mediante las zonas de vida o cada formación vegetal a nivel mundial y el diagrama bioclimático, el bosque reservado UNAS está localizado entre las formaciones vegetales de bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), mientras que respecto a cada región natural del Perú corresponde a la región Selva Alta o Rupa Rupa (Puerta, 2007).

3.1.5. Clima

Para el ecosistema boscoso en estudio se revisaron varias publicaciones de los boletines hidro climáticos emitidas por parte del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2019), en los cuales indican que estas áreas presentan elevada tasa de pluviosidad registrando lluvias en periodos anuales que acumulan un promedio hasta los 3 714,0 milímetros, con una humedad relativa del 87% y en el caso de la temperatura se tiene un promedio por año que alcanzó los 25,56 °C, notándose un incremento de este parámetro climático en los últimos años.

3.1.6. Red hídrica del BRUNAS

Dentro del área que abarca el BRUNAS, se encuentran seis quebradas cuyos nombres son: Asunción Saldaña, Cocheros, Córdova, Del Águila, Naranjal y Zoocriadero, siendo estos originados en la parte montañosa y vienen desembocando hacia el río Huallaga (Puerta, 2007).

3.1.7. Accesibilidad

Para acceder al área de investigación se realiza por vía terrestre, mediante una carretera asfaltada teniendo como origen la ciudad de Tingo María en dirección hacia la Universidad Nacional Agraria de la Selva y posteriormente se ingresa a través de un camino interno hacia el bosque con un tiempo aproximado de 15 minutos.

3.2. Equipos, herramientas y materiales

Se consideró el uso de una wincha de 50 m, libreta de campo, ficha para el registro de datos, bolsas de polietileno con capacidad de 1,0 y 2,0 kg, cuadrado muestreador, pala recta, cilindro muestreador, machete, papel secante, lupa, alcohol, agua destilada, formol, termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, estereoscopio, peachímetro, sistema de posicionamiento global (GPS), estufa y balanza de precisión.

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de la investigación

Para ejecutar el estudio se prosiguió los diseños descriptivo y correlacional - causal, teniendo en consideración los suelos con tres parcelas, con tres altitudes diferentes en el bosque reservado de la UNAS.

3.3.2. Nivel de la investigación

Se optó por emplear el nivel probabilístico porque se consideró realizar un muestreo con la cual se obtuvieron los datos de mejor representación.

3.4. Método y diseño de la investigación

3.4.1. Método de la investigación

El estudio fue de alcance descriptivo - comparativo, porque se realizó una descripción para que seguidamente se elabore la comparación entre cada una de las Parcelas Permanentes de Medición sobre las características de cada suelo, y también explicativo ya que fue explicado la relación causa-efecto entre las variables en estudio.

a. Variable dependiente (Y) = Fertilidad de diferentes tipos de suelo

Indicadores Y = Parcelas Permanente de Medición (PPM)

Y1 = PPM-1 altitud de 720 msnm.

Y2 = PPM-2 altitud de 820 msnm.

Y3 = PPM-3 altitud de 920 msnm.

b. Variable independiente (X) = variación de macrofauna

Indicadores de la variable X: macrofauna

X1 = Annelida

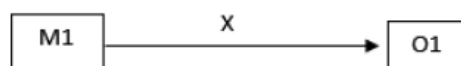
X2 = Arthropoda

X3 = Nematoda

X4 = Mollusca

3.4.2. Diseño de la investigación

El diseño proseguido fue el transversal (Hernández *et al.*, 2014), debido a que la recolección de datos fue realizada una sola vez por cada unidad de estudio, por medio del muestreo y analizando los suelos, se evaluaron el grado de compactación, la densidad aparente y la cantidad de la macrofauna, estas labores fueron realizadas entre un periodo de seis meses.



Donde:

M1 : muestra de suelo de las Parcelas Permanente de Medición con tres altitudes diferentes

O1 : Observación de cada característica física, química y biológica de los suelos.

X : Análisis de los suelos (físico, químico y biológico)

3.4.3. Población, muestra y muestreo

La población suele representar a toda el área del bosque reservado de la UNAS y las especies forestales presentes, para seleccionar a la muestra se utilizaron el muestreo probabilístico de tipo estratificado, siendo considerado como estrato a la altitud del

bosque: 720 msnm PPM uno, 820 PPM dos y 920 PPM tres. En cada una de las parcelas se tomaron las muestras de suelo, del muestreo se tomaron 10 unidades de estudio buscando que las cualidades tiendan a ser lo más homogéneo posible.

3.5. Metodología

3.5.1. Determinación de la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en diferentes altitudes mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el BRUNAS de Tingo María

- Literaturas consultadas

Consistió en la revisión de literatura concerniente a la investigación, obtención y elaboración del mapa base del lugar. Luego se realizó un recorrido por toda el área del bosque reservado de la UNAS y se seleccionaron las tres PPM en tres pisos altitudinales, se verificaron la distribución de especies en lo posible homogéneas. Al tener estos datos se georreferenció a cada subparcela con la cual se pudo iniciar el trabajo en campo.

- Delimitación del área de muestreo

Se realizó un recorrido por todo el bosque reservado para la ubicación de los puntos y de esta manera se identificaron las condiciones del terreno para el muestreo, todas estas parcelas brindan las condiciones adecuadas para dicha acción, luego se procedió a identificar y marcar el área de muestreo de las tres PPM ubicadas a diferentes altitudes (Tabla 7).

- Muestreo de suelos

La toma de muestras para el análisis físico – químico se realizó en forma de zigzag en cada una de las 25 subparcelas de (20 x 20) m por cada altitud, seleccionando una muestra de cada una (Figura 1), la recolección de las submuestras de suelo se realizó utilizando una pala recta donde se procedió a realizar un corte del suelo semejante a la “V” hasta los 30 cm de profundidad, estas muestras fueron colocadas dentro de un costal de yute en donde se realizó la homogenización mediante una mezcla y posteriormente se obtuvo de ella la muestra final con un peso de 1 kilogramo aproximadamente por cada una, estas fueron colocadas en cada bolsa de polietileno sin ninguna impureza y también se le colocó el rótulo, luego fueron trasladadas hacia el laboratorio de suelos que se encuentra en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

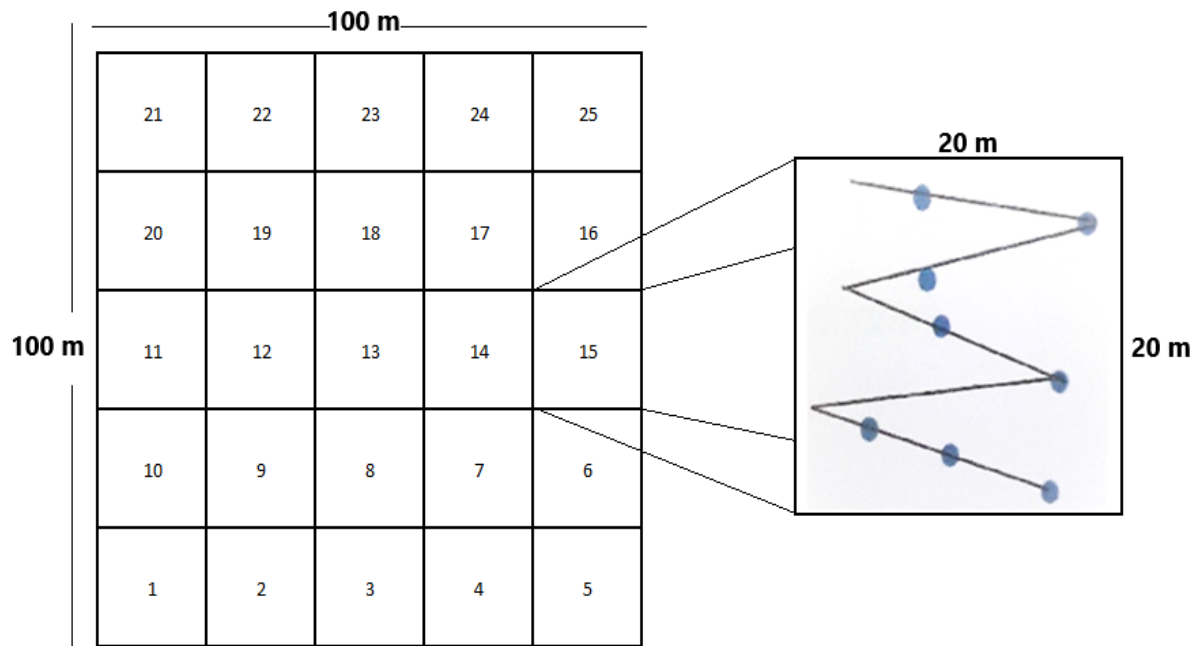


Figura 1. Modelo de la parcela para el muestreo de suelo.

- **Extracción de muestra para densidad aparente**

- Se hizo uso del martillo de pico con la que se incrustó de manera vertical en el suelo el cilindro metálico con 5 cm de diámetro, enmarcado entre 0 a 10 cm de profundidad.
- Se retiró parte del suelo que se encontraba alrededor del cilindro empleando un machete debajo de éste, fue levantado el cilindro cuidadosamente para no perder suelo que se encontraban dentro del cilindro.
- Fue removido el excedente del suelo que sobresale del cilindro utilizando el machete, cortando los bordes teniendo en consideración como límite cada borde del anillo.
- Se introdujo la muestra de suelo con el cilindro dentro de la bolsa de polietileno, seguidamente fue cerrado y se etiquetaron las bolsas.
- Se pesaron en una balanza digital el cilindro que traía consigo como contenido a la muestra del suelo. Fue registrado el valor del peso húmedo en la ficha para el registro de los datos elaborados para las muestras de los suelos, posteriormente fue depositado en la estufa a 75°C para secar las muestras de los suelos.
- Una vez que se encontraban secas las muestras de los suelos se sacaron los cilindros de la estufa y se pesaron el cilindro con las muestras de suelo seco calculando de esa manera el peso preciso de las muestras. Se procedió a la anotación de los pesos en la ficha para el registro de los datos.

- **Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo**

Los análisis fisicoquímicos de las muestras de los suelos fueron realizados dentro del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Fueron considerados los siguientes indicadores: textura, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, nitrógeno total, carbono, potasio, fósforo y capacidad de intercambio catiónico. Las metodologías proseguidas fueron:

Tabla 8. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).

Parámetros físicos	Método de su determinación
Clase textural	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Del cilindro
Temperatura	Directo empleando termohigrómetro
Resistencia a la penetración	Directo utilizando penetrómetro
Parámetros químicos	
Materia orgánica	Walkley y Blakc
Reacción del suelo	potenciómetro
Nitrógeno total	De Kjeldahl
Fósforo disponible	De Olsen
Potasio disponible	Del ácido sulfúrico
Parámetros biológicos	
Densidad de la macrofauna	Directo mediante conteo
Diversidad de especies	Shannon – Winner

3.5.2. Determinación de la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en Parcelas Permanente de Medición (PPM) en diferentes altitudes en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) de Tingo María

- **Muestreo de macrofauna**

Para realizar el muestreo y análisis de la calidad biológica de los suelos se tuvieron en consideración un protocolo con la cual se evaluó la calidad de los suelos en base a la macrofauna, prosiguiendo el método establecido por la Tropical Soil Biology and

Fertility (TSBF), la metodología que se utilizó posee similitud a lo utilizado por Vargas - Machuca (2010), teniendo como punto de muestreo en cada parcela de 20 x 20 m extrayendo cada monolito a distancias de 10 m, generando en total hasta 25 monolitos para cada gradiente altitudinal (Figura 2), en base al procedimiento siguiente:

- Fue recolectado la macrofauna de las parcelas en horario de la mañana, debido a que en horas de la mañana presentan una mayor actividad en el suelo.
- Se extrajo cada monolito o bloque de suelo que presentaban como características: 25 cm x 25 cm y una profundidad de 30 cm, para ello se utilizó una pala, tomando cinco (05) muestras a distintas profundidades secuenciales como la hojarasca a 1,0 m², seguido de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y finalmente entre 20 a 30 cm.
- Se extrajo en cada estrato del monolito el contenido de suelo y fueron depositados sobre la mantada de polietileno, se revisaron minuciosamente el suelo y recolectaron cada uno de los organismos visibles para lo cual se utilizó el pincel y la pinza pequeña.
- Se colocaron cada macrofauna que se extrajo en un frasco de plástico con tapa con contenido de formaldehído al 4% con la que se conservó a la lombriz de tierra y el alcohol al 70% con fines de que se preserven a los demás organismos.
- Se colocaron la etiqueta donde se escribió con lápiz describiendo el gradiente altitudinal, numeración del monolito y su respectiva fecha que fue colectada.
- Fue incorporado en el suelo un cuadrante de madera considerando entre sus medidas de 25 x 25 cm. Se registraron los datos en un formato de campo.

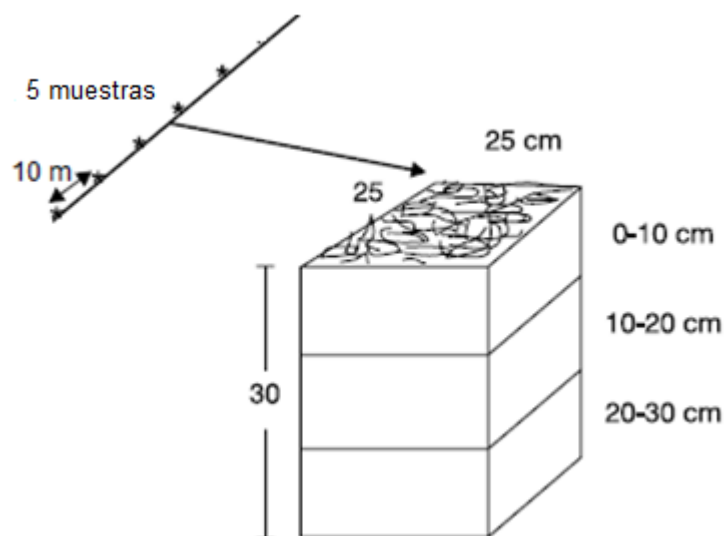


Figura 2. Esquema del plan de muestreo.

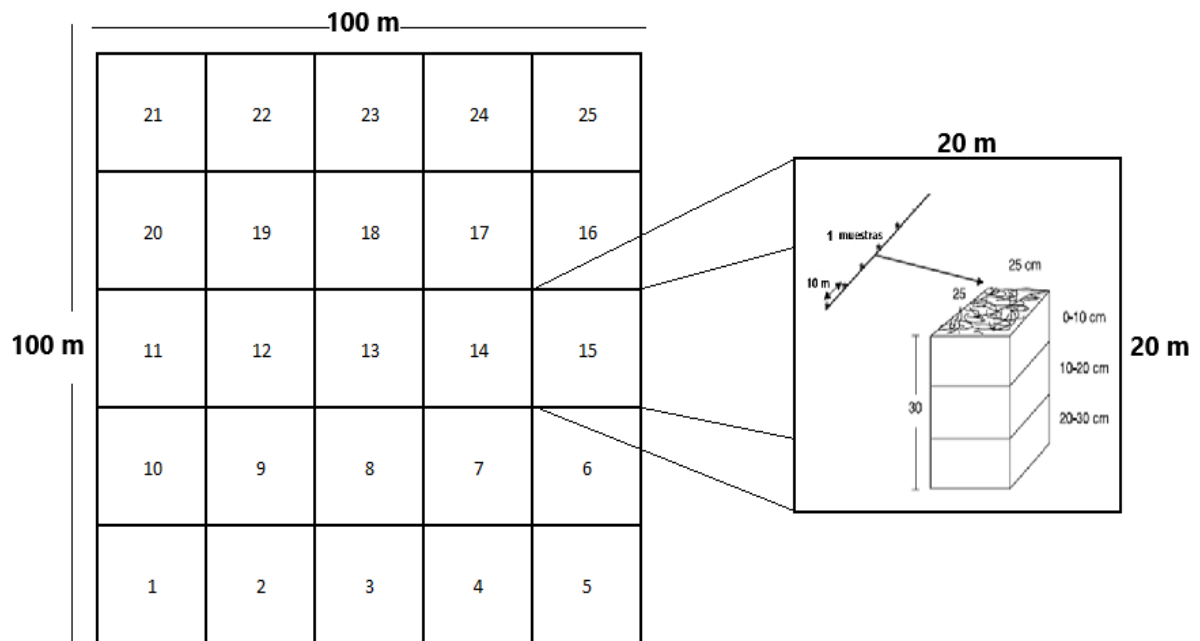


Figura 3. Diagrama de muestreo de suelos para análisis biológico en cada uno de parcelas permanentes de medición por gradiente altitudinal.

- Evaluación de macrofauna

Se colectó los macroinvertebrados encontrados en los estratos o profundidades, siendo posteriormente colocados dentro de frascos con alcohol al 80% en el caso de tratarse de macrofauna con cuerpo endurecido, mientras que se usó formol entre 4% al 10% en el caso de encontrar macrofauna o larvas por presentar su cuerpo blando (Decaëns *et al.*, 1994). También, en el mismo lugar donde se colectaban la macrofauna, se procedió a emplear la guía para identificar los organismos, con lo cual se acercaba a la identificación hasta el nivel del Orden. Seguidamente en el caso de los organismos que no lograron identificarse se procedió a trasladarlos hacia el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde garantizaron la adecuada clasificación de dichos organismos me menor dimensión por utilizarse equipos como el estereoscopio.

- Conteo de macrofauna en laboratorio

Cuando la macrofauna se encontraba en el laboratorio se procedieron a separarlos bajo grupos taxonómicos, se le contaron a cada individuo, cantidad de especies que se encontró en cada estrato y en cada sistema de uso, mediante el apoyo de cada descriptor entomológico y el personal especializado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. En el caso del orden Isópteros e Hymenóptera se emplearon un contómetro.

Determinar la cantidad de macrofauna fue realizado en el mismo lugar siendo colocados posteriormente en alcohol al 80% en el caso de ser individuos con cuerpo endurecido y se usó el formol entre 4% a 10% para la macrofauna o larvas que tienen su cuerpo blando. Se cuantificaron su biomasa expresado en g/m² y la densidad en ind/m² para cada macroinvertebrado empleando un estereoscopio y fueron pesados utilizando la balanza con precisión milésima. Con cada clave de identificación, fueron categorizados en grupos taxonómicos, fueron contabilizados la cantidad de individuo por unidades taxonómicas en cada monolito, fueron sumados la totalidad de macrofauna por categoría de taxón y fue calculado el valor porcentual para la abundancia o también la densidad relativa media por unidad taxonómica de cada gradiente altitudinal. Fue elaborada una figura contenida de cada porcentaje de las abundancias. Fueron pesados con la cual se determinó su biomasa de cada macrofauna para los pisos altitudinales.

$$\text{Densidad relativa por monolito (DRM)} = \frac{\text{Suma de cada monolito}}{\text{Totalidad de monolitos}}$$

$$\text{Frecuencia (\%)} = \frac{\text{Suma de cada densidad}}{\text{Cantidad de unidad taxonómica}}$$

Para la identificación de las especies de las PPM a diferentes altitudes se utilizaron la base de datos Tropicos.org (APG IV).

Se sistematizó y analizaron los datos empleando como programas al Microsoft Excel 2010 y el SPSS v 25.0.

Para evaluar la macrofauna que representa el indicador biológico de los suelos para las tres PPM a diferentes altitudes, se determinaron los siguientes componentes biológicos (Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros biológicos del suelo (variables).

Parámetro biológico	Método de su determinación
Densidad de macrofauna	Directo mediante conteo
Biomasa de macrofauna	Por peso directo

La diversidad alfa para la macrofauna del suelo se determinó:

– **Diversidad de especies**

Con fines de determinar el índice de diversidad para las especies se utilizaron el modelo elaborado por Simpson y Shannon Wiener.

– **Riqueza de la diversidad biológica alfa**

Cada variable de estudio y el índice de diversidad alfa fueron determinadas:

– **Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')**

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

Dónde:

n_i = Abundancia de género

N = Totalidad de abundancia por género = $\sum n_i$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Respecto a la parte biológica fue realizado el diagnóstico respecto a la calidad de los suelos considerando los siguientes aspectos:

- La clasificación taxonómica fue considerada hasta el nivel clase u orden.
- Alta calidad de los suelos: un suelo que posee más tipos de organismos (elevada tasa de diversidad) y de especímenes por tipo, en especial de cada organismo detritívoro y en el caso de las lombrices (aplicar cada indicador de detritívoro/no detritívoro y lombriz de tierra/hormiga, con la que se obtiene su valor por encima de la unidad).
- La baja calidad de los suelos: está referido a cada suelo que contenga una menor cantidad de los tipos de organismos (baja tasa de diversidad) y de la cantidad de especímenes por tipos, pero donde vienen prevaleciendo cada organismo no detritívoro y en el caso de la hormiga (cuando se aplica cada indicador de detritívoro/no detritívoro y en el caso de la lombriz de tierra/hormiga, obteniendo resultados por debajo de la unidad).

3.5.3. Correlación de las características físicas y químicas de los suelos con la macrofauna en las Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en el BRUNAS de Tingo María – Perú

Fue realizado al considerarse cada valor y porcentaje relativo de cada indicador utilizado, cuando se suponía ideal se realizaba mediante la metodología que propuso los autores Chen (2000), Porta (1999) y Doran & Lincoln (1999).

Con fines de que se determine la existencia o ausencia de relación entre cada propiedad física y química de los suelos con las características de la macrofauna, cada dato fue evaluado por medio del grado de la correlación paramétrica (Pearson), resultante de la expresión siguiente:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$$

Para la toma de decisiones, en base a Hernández *et al.* (2014), el valor del coeficiente r de Pearson tienen posibilidades de que varíen desde -1.00 hasta +1.00, los mismos que se expresan de la siguiente manera:

* -1.00 = Correlación negativa perfecta. (Cuanto más es X, menos es el valor de Y, proporcionalmente distribuidos. Dicho de otra manera, cuando X suele aumentar en uno, Y suele disminuir de manera permanente una cantidad constante). Es aplicado también cuando es menor X, se tiene más Y; los casos de correlaciones son:

- ✓ -0.90 = Negativas muy fuertes
- ✓ -0.75 = Negativas considerables
- ✓ -0.50 = Negativas medias
- ✓ -0.25 = Negativas débiles
- ✓ -0.10 = Negativas muy débiles
- ✓ 0.00 = No hay correlaciones
- ✓ +0.10 = Positivas muy débiles
- ✓ +0.25 = Positivas débiles
- ✓ +0.50 = Positivas medias
- ✓ +0.75 = Positivas considerables
- ✓ +0.90 = Positivas muy fuertes

✓ +1.00 = Positivas perfectas

3.6. Análisis de datos

Para el análisis de los datos se procedió a utilizar el software SPSS v. 25.0. En el caso de querer que se vean diferencias entre altitudes se procedió a realizar la prueba de Kolmogorov Smirnov con fines de que se verifiquen la distribución normal de los datos, seguidamente se calculó el contraste de hipótesis mediante el análisis de varianza y en el caso de encontrar significancia se sometió a la comparación múltiple de promedios de Tukey teniendo en consideración un nivel de significancia del 5%. Con el objetivo de que se determine la existencia o ausencia de diferencias significativas respecto a cada propiedad física y química de los suelos en las parcelas (bosque natural), se ha tenido que emplear la prueba estadística T de Student para grupos independientes, sometido a un 5% del nivel de significancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la calidad del suelo en Parcelas Permanentes de Medición a diferentes altitudes mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el BRUNAS de Tingo María

4.1.1. Propiedades físicas

4.1.1.1. Textura

Los resultados para la textura del suelo, en las tres parcelas permanentes de medición van desde un suelo franco obtenido en la PPM 4 hasta suelos con textura franco-arcillosa obtenida en las parcelas PPM 1 y PPM 3, mostrando además valores casi similares de las porciones arena, arcilla y limo en las tres parcelas dando como resultado coeficiente de variación aceptable con valores entre 5,31% y 27,98% mostrados principalmente en la PPM 3. Los valores de textura obtenida luego de un muestreo nos permiten comprender cómo un suelo interactúa con el agua, los nutrientes y las plantas, y cómo responde a las prácticas de manejo agrícola si se pretende instalar un cultivo, en este caso al ser parcelas permanentes resultan como referente para conocer su capacidad para retener agua y nutrientes, influir en la estructura y estabilidad del suelo, y soportar la cobertura forestal, que al final facilita un ecosistema forestal saludable y resiliente, tal como lo afirman Quinto-Mosquera et al. (2022) esta propiedad es determinante en la capacidad del suelo para retener agua, soportar cargas mecánicas y almacenar nutrientes, los cuales son cruciales para el desarrollo de cultivos. Sin embargo, en áreas impactadas por actividades como la minería, los cambios en la textura pueden alterar significativamente estas capacidades, afectando la fertilidad y la funcionalidad del suelo.

Tabla 10. Valores máximos y mínimos para la textura del suelo en el BRUNAS.

Parcelas	Fracción	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Textura
PPM 1	Arena (%)	48,46	65,82	37,82	8,08	16,67	Franco arcilloso
	Arcilla (%)	24,87	35,44	15,44	5,69	22,87	
	Limo (%)	26,98	40,74	18,74	5,90	21,86	
PPM 3	Arena (%)	43,82	51,82	35,82	7,30	16,67	Franco arcilloso
	Arcilla (%)	25,44	33,44	19,44	7,12	27,98	
	Limo (%)	30,74	32,74	28,74	1,63	5,31	

	Arena (%)	51,92	60,00	44,00	4,98	9,60	
PPM 4	Arcilla (%)	19,88	26,00	16,00	3,49	17,56	Franco
	Limo (%)	29,20	33,00	23,00	2,42	8,27	

4.1.1.2. Densidad aparente

Los valores de densidad aparente para cada PPM (tabla 11) muestran un promedio de 0,84 g/cm³ en la PPM 1, seguido de la PPM 4 con un valor de 0,78 g/cm³ y con el menor valor en la PPM 3 con 0,77 g/cm³, siendo muy disperso en la PPM 3 porque se tiene un valor de 21,61% en el coeficiente de variación, pero que en términos generales resultan con valores ideales para el crecimiento de las raíces, estos valores de densidad aparente observados en los diferentes puntos de muestreo son bajos ya que de acuerdo con el USDA (2020) valores casi normales son 1,0 a 1,5 g/cm³, por lo que los resultados nos dicen que están en un rango considerado ideal para el crecimiento de las raíces, esto indica que, el suelo en estas áreas es favorable para el desarrollo radicular, lo cual es crucial para el bienestar y la productividad de las plantas, así mismo añade el USDA (2020) esta variable puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces.

Tabla 11. Valores para la densidad aparente (g/cm³) en las parcelas permanentes.

Parcelas	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	0,84	1,08	0,60	0,13	15,26	Ideal
PPM 3	0,77	1,08	0,54	0,17	21,61	Ideal
PPM 4	0,78	0,93	0,60	0,14	18,59	Ideal

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

También, cabe añadir que la alta variabilidad en PPM 3 (figura 4), podría requerir una atención especial para garantizar el cometido de nutrientes del suelo, y pueda deberse a la configuración del terreno. En conjunto, estos datos proporcionan una visión positiva de la calidad del suelo y su capacidad para soportar un crecimiento saludable de las raíces, según Agostini et al. (2014), La densidad aparente del suelo, definida como la masa de suelo seco por unidad de volumen, es un parámetro clave en la evaluación de la estructura y funcionalidad del suelo. Se sabe que una densidad elevada indica compactación, lo que reduce la porosidad y afecta negativamente el crecimiento de las raíces y la infiltración de agua. En contraste, valores bajos de densidad reflejan suelos menos

compactos, favoreciendo la aireación y el desarrollo radicular. Este indicador es esencial para el manejo agrícola y la planificación de prácticas sostenibles.

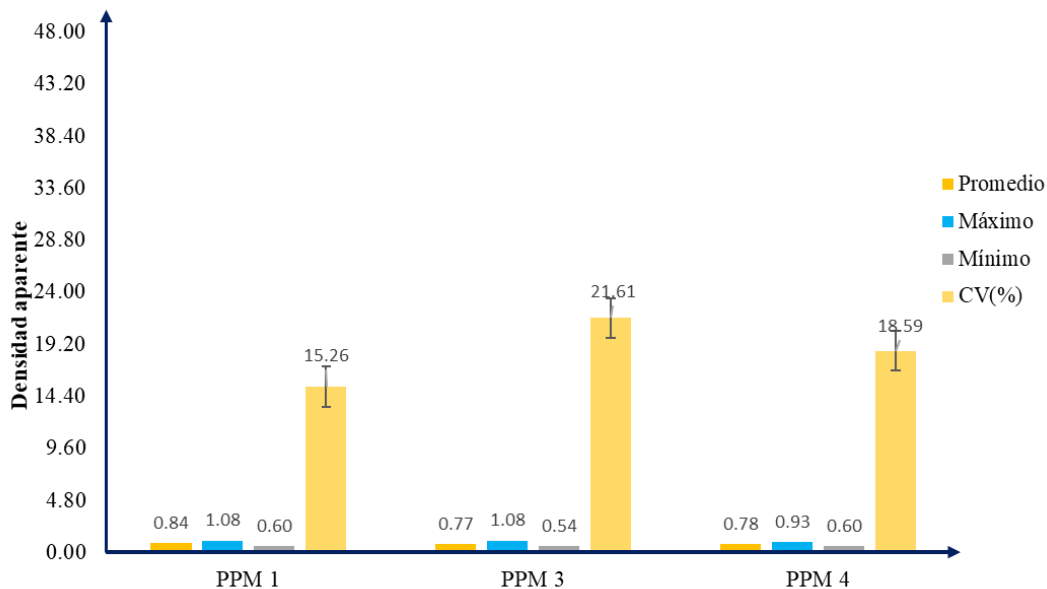


Figura 4. Valores para la densidad aparente en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.1.3. Resistencia a la penetración del suelo

Los valores registrados en la variable de resistencia a la penetración para cada PPM (tabla 12) indican un promedio de 1,48 kg/cm² en la PPM 1, seguido por la PPM 3 con 1,30 kg/cm² y el menor promedio en la PPM 4 con 1,28 kg/cm², la variabilidad es mínima, reflejada en un coeficiente de variación siendo el más alto en la PPM 3 con un valor de 11,87%, de acuerdo con INIA (2016) es un parámetro esencial para evaluar la compactación y la estructura del suelo, ya que refleja la dificultad que encuentran las raíces para penetrar el suelo, lo que afecta su desarrollo y la absorción de agua y nutrientes. Una alta resistencia a la penetración suele asociarse con suelos compactados, lo que limita el crecimiento radicular y la infiltración de agua, mientras que una baja resistencia indica suelos más sueltos y aireados, que favorecen el desarrollo de las raíces y la absorción de agua.

Tabla 12. Valores para la resistencia a la penetración del suelo en parcelas permanentes de medición.

Parcelas	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	1,48	2,00	1,20	0,14	9,23	Restringido
PPM 3	1,30	1,82	1,00	0,15	11,87	No restringido

PPM 4	1,28	1,35	1,17	0,08	6,23	No restrictivo
--------------	------	------	------	------	------	----------------

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

En términos generales podríamos afirmar que los valores obtenidos (figura 5) se encuentra dentro del rango aceptable, aunque indican diferencias entre sí en la resistencia a la penetración del suelo, que puede implicar quizás la composición del suelo o material analizado en cada parcela permanente de medición, esto lo corrobora Tormo *et al.*, (2020) la resistencia a la penetración es un indicador clave para evaluar la compactación del suelo, ya que refleja la dificultad que tienen las raíces para penetrar el suelo. Este parámetro se usa ampliamente en estudios de calidad del suelo, pues valores elevados suelen asociarse con suelos compactados, lo cual afecta negativamente la aireación y la infiltración de agua. En cambio, una baja resistencia a la penetración se relaciona con suelos más porosos, favoreciendo el desarrollo radicular y mejorando la disponibilidad de agua para las plantas.

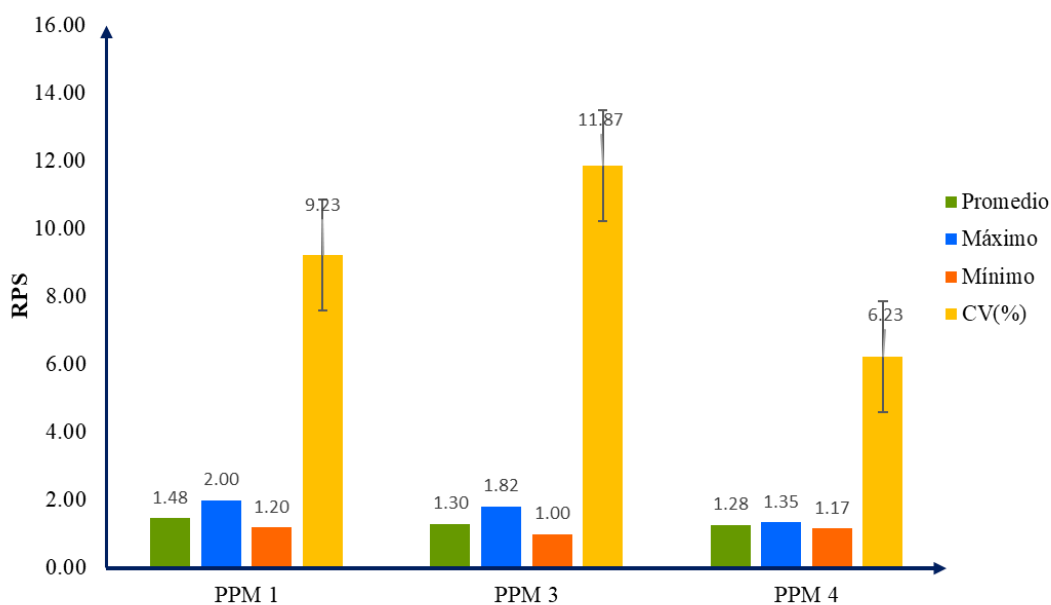


Figura 5. Valores numéricos para la resistencia a la penetración del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.1.4. Temperatura del suelo

Los resultados mostrados (tabla 13 y figura 6) presentan que la mayor temperatura del suelo lo presenta la PPM 1 con un valor promedio de 25 °C, seguido de la PPM 3 con un valor promedio de 23 °C y por último el menor valor obtenido en la PPM 4 mostrando un valor de 22 °C, teniendo valores mínimos según lo obtenido en el coeficiente

de variación con números entre 5,42% y 7,57%, de acuerdo a lo obtenido valores de temperatura del suelo entre 22 °C y 25 °C son considerados según la Soil Survey Staff (2014) como suelos Hipertermotérmico, característico de suelos tropicales y a altitudes de 600 msnm como lo es la zona de Tingo María y por ende el BRUNAS que por sus características de bosque con fisiografía de pendientes permite medianamente el ingreso de los rayos solares.

Tabla 13. Valores numéricos para la temperatura del suelo (°C) a diferentes altitudes del BRUNAS.

Parcelas	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	25	26	23	1,50	6,06	Hipertermotérmico
PPM 3	23	25	20	1,76	7,57	Hipertermotérmico
PPM 4	22	24	21	1,21	5,42	Hipertermotérmico

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, clasificación según Soil Survey Staff (2014)

Según refieren algunos autores la incidencia directa del sol que se traduce en la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie al suelo es determinante para el calentamiento de este, pero según USDA (2020) aduce que la presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, sino por la humedad presente en bosques de colina con bastante presencia de árboles que retienen agua en el suelo y es un modificante de la temperatura, añade además que un suelo con un bosque denso puede llegar a estar 10 °C más frío que un suelo sin cubierta vegetal, como resultado en nuestro caso al evaluar este parámetro.

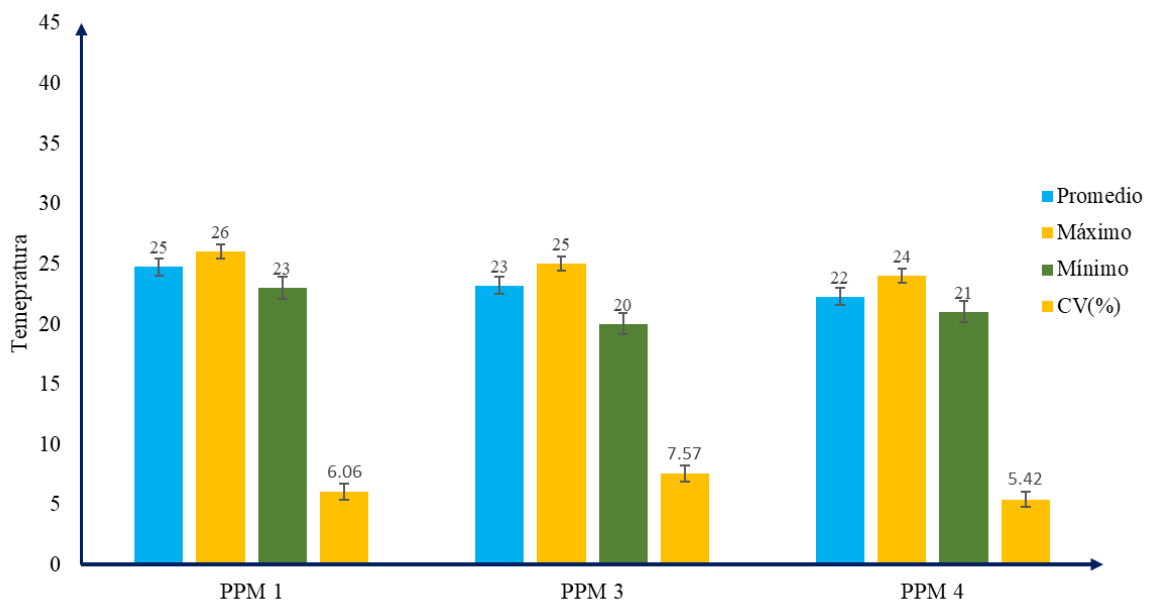


Figura 6. Valores para la temperatura del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.2. Propiedades químicas

4.1.2.1. pH

Los valores obtenidos en la evaluación del parámetro pH del suelo muestran que la PPM 1 y PPM 3 presentan valores de 5 y 4,62 que se interpretan como suelos con pH fuertemente ácidos y la PPM 4 como suelos con pH extremadamente ácidos porque se obtuvo un valor de 4,37, el cual muestra variaciones mínimas en el coeficiente de variación que indica que los suelos son de dos tipos en su totalidad variando entre fuerte y extremadamente ácidos. Al respecto podemos afirmar que, la evaluación del pH del suelo es vital no solo para la agricultura, sino también para la salud y la dinámica de los ecosistemas boscosos como lo es el BRUNAS, afirma Bautista López et al. (2018) el pH del suelo es un parámetro químico esencial que influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Un pH bajo (ácido) o alto (alcalino) puede limitar la absorción de nutrientes y afectar el crecimiento de las plantas. Los suelos con un pH entre 6 y 7 son generalmente los más adecuados para la mayoría de las plantas, ya que en este rango los nutrientes son más solubles y accesibles. Además, el pH también puede influir en la toxicidad de ciertos elementos, como el aluminio en suelos ácidos. El manejo adecuado del pH, mediante la aplicación de enmiendas, es clave para optimizar la fertilidad del suelo y mejorar la productividad agrícola.

Tabla 14. Valores numéricos para el potencial de hidrogeno del suelo (pH) a diferentes altitudes del suelo.

Parcelas	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	5,00	4,96	4,30	0,13	2,94	Fuertemente acido
PPM 3	4,62	4,72	4,54	0,09	1,87	Fuertemente acido
PPM 4	4,37	4,84	4,10	0,20	4,55	Extremadamente acido

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

En la PPM 1 y PPM 3 muestran valores de pH de 5 y 4,62 (figura 7), respectivamente, estos suelos, clasificados como fuertemente ácidos, son típicos en muchos bosques, especialmente en zonas montañosas y de pendientes y especies adaptadas a condiciones ácidas, se podría explicar la acidez en estos suelos por la descomposición de la materia orgánica rica en ácidos orgánicos, o quizás la lixiviación de bases como el calcio y el magnesio o en su defecto actividades agrícolas realizadas anteriormente, el cual no es comparable con lo obtenido en la PPM 4 con un valor de pH de 4,37 se clasifica como extremadamente ácido, que son menos comunes y pueden presentar desafíos significativos para la vegetación que no está adaptada a condiciones tan ácidas y según Sánchez (2023) influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, y suelos con pH extremos pueden limitar la absorción de ciertos minerales. Estos indicadores proporcionan información crucial sobre la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal.

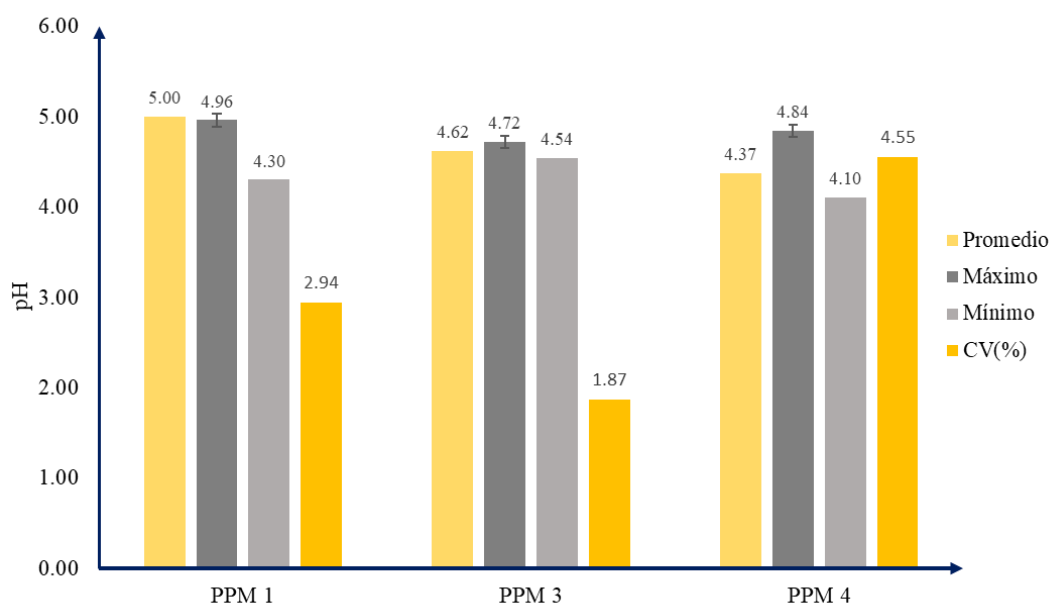


Figura 7. Valores para el pH del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.2.2. Materia orgánica

Los valores observados para la variable materia orgánica del suelo a diferentes altitudes del BRUNAS (tabla 15) muestran que la PPM 4 muestra el mayor valor con 3,14%, seguido de la PPM 3 con 2,65% y la PPM 1 con 2,18% con el menor valor en este parámetro, observando según el muestreo valores medios entre 15,06% y 26,17% para el coeficiente de variación indicando que las zonas de muestreo muestran una notable diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo, para efectos de comprender este resultado se puede definir como la materia orgánica del suelo es un componente crucial que influye en la estructura del suelo, su capacidad para retener agua y nutrientes, y su actividad biológica. Una mayor cantidad de materia orgánica mejora la porosidad del suelo, facilita el desarrollo de las raíces y favorece la retención de nutrientes esenciales. Además, contribuye a la formación de humus, que es vital para la fertilidad a largo plazo del suelo (Gómez et al., 2018).

Los resultados obtenidos la PPM 4 muestran el valor más alto de 3,14%, como segundo mejor la PPM 3 con 2,65%, y la PPM 1 con el valor más bajo de 2,18%, valores que pueden estar influenciadas por diversos factores, como la influencia de diferentes condiciones climáticas y edáficas en las distintas altitudes, así como a la diversidad de ecosistemas presentes en cada zona de muestreo. Cabe añadir que la variabilidad de materia orgánica y pH del suelo resalta la diversidad de condiciones ambientales y edáficas a lo largo del gradiente altitudinal en el BRUNAS, el cual tiene implicaciones para la salud del suelo.

Tabla 15. Parámetros biológicos del suelo (variables).

	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	2,18	3,94	1,52	0,57	26,17	Medio
PPM 3	2,65	2,99	2,14	0,40	15,06	Medio
PPM 4	3,14	4,17	1,12	0,64	20,39	Medio

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

Aunque las PPM (figura 8) muestran variaciones en los niveles de materia orgánica del suelo, es interesante analizar la materia orgánica en un contexto más amplio, considerando su valor medio en todas las áreas de muestreo según Torres et al., (2019) El manejo adecuado de la materia orgánica, como la adición de compost o estiércol, es esencial para mejorar la salud y fertilidad del suelo

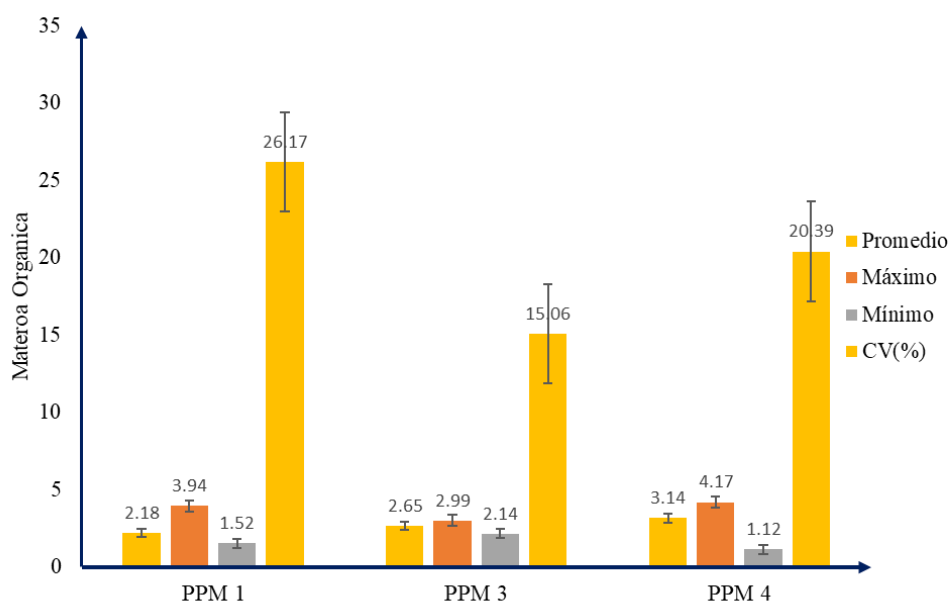


Figura 8. Valores para la materia orgánica del suelo (%) en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.2.3. Nitrógeno

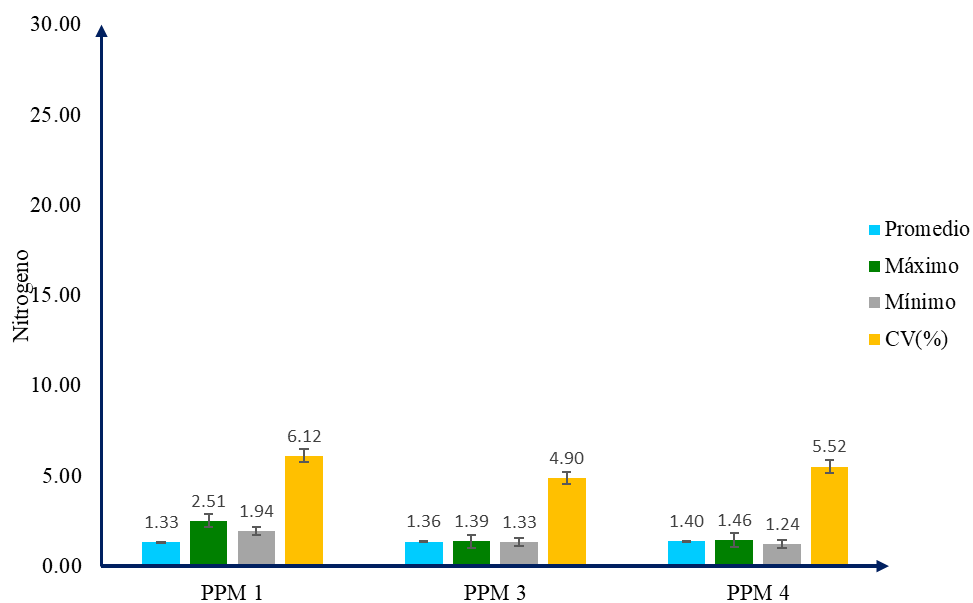
Los resultados obtenidos para las propiedades químicas en la variable nitrógeno del suelo (tabla 16), muestran que el mayor valor de nitrógeno se encuentra en la PPM 4 con 0,16%, en alternancia se observa a la PPM 3 con un valor de 0,13% y en última posición a la PPM 1, teniendo para el coeficiente de variación una media con valores entre 15,18% a 26,18%, la gestión adecuada del nitrógeno en el suelo es crucial para optimizar la eficiencia de los fertilizantes y reducir los impactos ambientales negativos. Según Sánchez & Pérez (2020). El nitrógeno se pierde en el suelo mediante procesos como la lixiviación, la volatilización y la desnitrificación. Por lo tanto, el monitoreo y la aplicación precisa de nitrógeno, en combinación con prácticas agrícolas sostenibles, son esenciales para mejorar la salud del suelo y la productividad de los cultivos.

Tabla 16. Valores para el nitrógeno del suelo (%) a diferentes altitudes en el BRUNAS.

	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	0,11	2,29	0,88	0,33	26,18	Medio
PPM 3	0,13	0,15	0,11	0,02	15,18	Medio
PPM 4	0,16	0,21	0,06	0,03	20,39	Medio

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

Podemos deducir que la PPM 4 y PPM 3 con 0,13% están en el rango más bajo de estos valores típicos, sugiriendo suelos con una moderada a baja reserva de nitrógeno en comparación con algunos bosques más ricos en materia orgánica, también podría indicar una baja a moderada acumulación de materia orgánica o una tasa más rápida de mineralización y pérdida de nitrógeno en comparación con bosques más densos o suelos más ricos en humus. En contraparte la PPM 1 con 0,11% que es la parcela con el valor más bajo, podría reflejar áreas con menor cobertura de hojarasca, menor acumulación de materia orgánica, o una mayor exposición a la lixiviación de nitratos, al respecto Fernández (2006) afirma que el nitrógeno llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire, algo que es corroborable porque la PPM 1 es un bosque secundario denominado “purma vieja”, lo que explicaría los resultados encontrados, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo depende de factores como el pH, la materia orgánica y las prácticas de manejo agrícola, como la aplicación de fertilizantes. La deficiencia de nitrógeno limita el crecimiento de las plantas, mientras que su exceso puede llevar a la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero (Martínez et al., 2019).



Transformación de raíz +1

Figura 9. Estadísticos descriptivos para el nitrógeno en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.2.4. Fósforo

Los resultados obtenidos muestran (tabla 17) los valores para el fósforo del suelo a diferentes altitudes del BRUNAS, donde la PPM 3 presenta el valor más alto con 5,28 ppm seguido de la PPM 1 con 4,56 ppm y con el valor más bajo la PPM 4

mostrando un valor numérico de 2,35 ppm, teniendo una gran dispersión de los valores obtenidos en el muestreo expresados en el coeficiente de variación que exhibe valores altos entre 36,26% y 66,58%. Estos valores encontrados son típicos para suelos de bosques como el BRUNAS, donde generalmente se encuentran concentraciones de fósforo disponible más bajas en comparación con suelos agrícolas debido a la inmovilización del fósforo en formas orgánicas e inorgánicas no fácilmente accesibles.

Tabla 17. Valores numéricos para el fósforo del suelo (ppm) a diferentes altitudes del BRUNAS.

	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	4,56	7,34	0,33	1,65	36,26	Bajo
PPM 3	5,28	9,58	2,95	2,94	55,70	Bajo
PPM 4	2,35	6,65	0,38	1,56	66,58	Bajo

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

La PPM 3, que presenta un contenido de fósforo de 5,28 ppm, muestra el nivel más alto de fósforo disponible, que puede estar relacionado con una mayor acumulación de materia orgánica o con características del suelo que favorecen la disponibilidad del fósforo en esa gradiente altitudinal del BRUNAS, la PPM 1 con 4,56 ppm y PPM 4 con 2,35 ppm tienen valores más bajos, que pueden reflejar una menor acumulación de hojarasca o condiciones del suelo menos favorables para la liberación de fósforo, Wild (2017) menciona que la disponibilidad de fósforo también está estrechamente relacionada con la textura del suelo y su contenido de materia orgánica. En suelos con una alta concentración de materia orgánica, el fósforo tiene una mayor tendencia a estar disponible para las plantas, ya que la materia orgánica actúa como un reservorio que retiene este nutriente. En promedio, los suelos pueden contener alrededor de 180 mg/kg de fósforo, aunque este valor puede variar dependiendo de las condiciones edáficas locales, en general podemos afirmar que los valores de fósforo disponibles en este estudio (2,35 – 5,28 ppm) están dentro del rango esperado para suelos forestales, especialmente en áreas con una baja o moderada acumulación de materia orgánica.

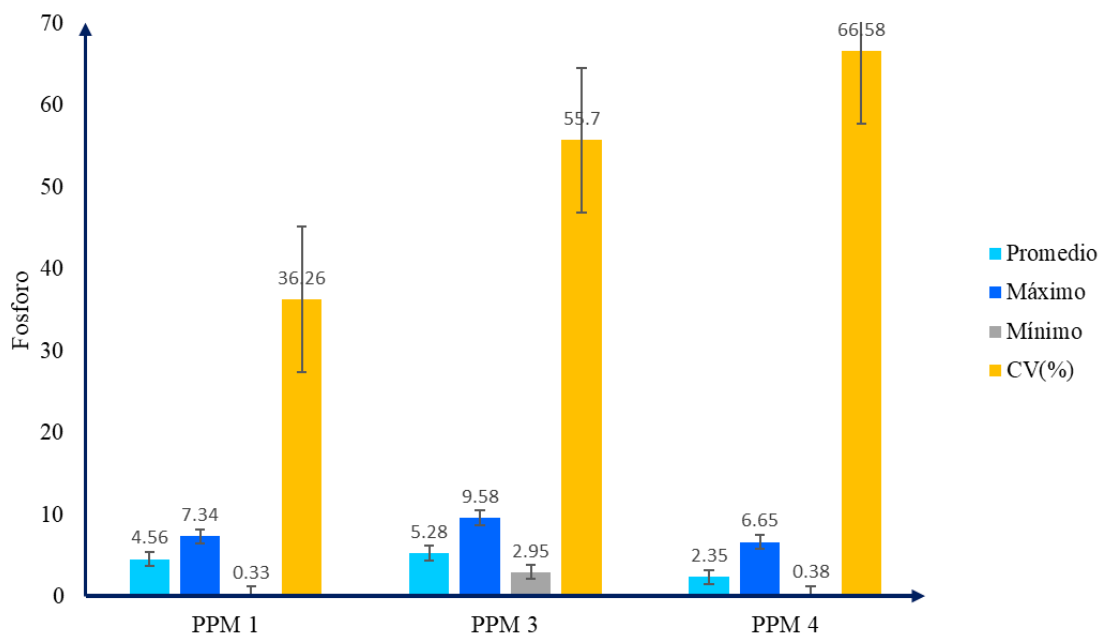


Figura 10. Estadísticos descriptivos para el fosforo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

Los resultados del análisis de fósforo en suelos a diferentes altitudes en el BRUNAS (figura 10) reflejan la variabilidad natural en la disponibilidad de fósforo en un ecosistema boscoso como lo es el BRUNAS. Según García et al. (2016), el fósforo disponible en el suelo puede variar dependiendo del pH, y los suelos ácidos tienen una mayor capacidad para mantener el fósforo en formas que las plantas pueden asimilar.

4.1.2.5. Potasio

Los resultados obtenidos para las propiedades químicas en la variable potasio del suelo (tabla 18 y figura 11), muestran que el mayor valor de potasio se encuentra en la PPM 1 con 91 ppm, en sucesión se observa a la PPM 3 con un valor de 81,25 ppm y en última posición a la PPM 4 con un valor de 69,83 ppm, teniendo para el coeficiente de variación una media con valores entre 6,91% y 29,67%, el cual es muy variable entre ellas. El potasio es un nutriente esencial para las plantas, y su disponibilidad en el suelo depende de factores como el pH, la textura y el contenido de materia orgánica. Los suelos ácidos generalmente favorecen una mayor concentración de potasio en su forma intercambiable, facilitando su absorción por las plantas. Sin embargo, en suelos alcalinos, el potasio puede quedar fijado en minerales como feldespatos y micas, lo que limita su disponibilidad para las

plantas. La gestión eficiente de este nutriente es crucial para garantizar la nutrición adecuada y mejorar la productividad agrícola (International Plant Nutrition Institute, 2020).

Tabla 18. Valores numéricos para el potasio del suelo (ppm) a diferentes altitudes del BRUNAS.

	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)	Interpretación
PPM 1	91,00	118	58,98	16,57	18,16	Bajo
PPM 3	81,25	88,65	76,25	5,62	6,91	Bajo
PPM 4	69,83	115	49,68	19,33	27,69	Bajo

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

La PPM 1 con 91 ppm tiene el nivel más alto de potasio estadísticamente, lo que puede estar relacionado con factores como una mayor acumulación de materia orgánica, menor lixiviación o una composición mineral del suelo más rica en potasio, a nivel de interpretación de fertilidad todas las PPM presentan un nivel de fertilidad bajo, por otro lado, la PPM 4 con 69,83 ppm presenta el valor más bajo, lo que puede reflejar condiciones de suelo más susceptibles a la lixiviación del potasio o menor capacidad de retención de este. El alto contenido de potasio en la muestra de suelo PPM 1 (91 ppm) sugiere condiciones favorables para el crecimiento vegetal, relacionadas posiblemente con una mayor acumulación de materia orgánica o una composición mineral del suelo rica en potasio. La materia orgánica juega un papel fundamental en la retención de potasio, ya que ayuda a mantener este nutriente disponible para las plantas. Además, estas prácticas deben considerar las diferentes formas de potasio presentes en el suelo para asegurar una nutrición balanceada (Tiloom, 2021).

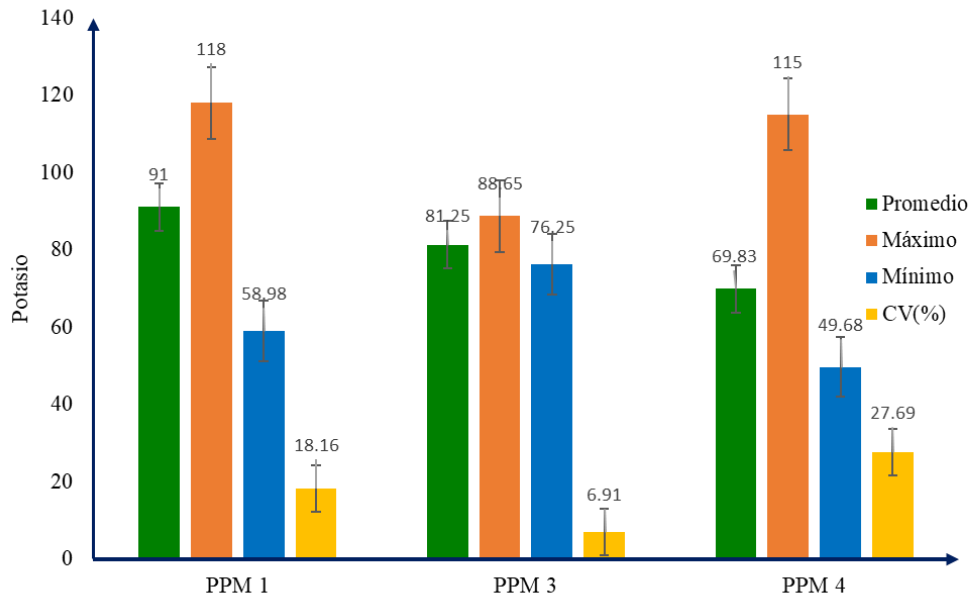


Figura 113. Valores para el potasio del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

La relación entre el contenido de potasio en el suelo y las necesidades de las plantas es fundamental para la producción agrícola y la salud de los ecosistemas naturales. Entender cómo los resultados del análisis de suelo se relacionan con los requerimientos nutricionales de los cultivos es esencial para una gestión eficaz del suelo y una agricultura sostenible. Al integrar conocimientos sobre la importancia del potasio para el crecimiento de las plantas con los resultados específicos del análisis de suelo, los agricultores y los gestores de recursos pueden tomar decisiones informadas para mejorar la fertilidad del suelo y maximizar la productividad agrícola.

4.1.3. Propiedades biológicas

4.1.3.1. Densidad

Los resultados muestran para la densidad de la macrofauna del suelo (tabla 19 y figura 12) se observa una notable variabilidad en la abundancia de individuos entre las diferentes parcelas (PPM 1, 3 y 4). La PPM 1 presenta la densidad más alta con 530 ind./m², lo que indica una mayor diversidad o abundancia de macrofauna en comparación con las otras parcelas. Este alto número sugiere que la PPM 1 podría tener condiciones más favorables para la vida de la macrofauna, como una mayor cantidad de materia orgánica, mejor estructura del suelo, o menos perturbaciones ambientales, también la PPM 4 y la PPM 3 tienen densidades más bajas, con 336 ind./m² y 302 ind./m², respectivamente. Aunque estas parcelas tienen una menor cantidad de individuos en

comparación con la PPM 1, siguen mostrando una significativa presencia de macrofauna. Los Isópteros (termitas) son los más abundantes en ambas parcelas, con 167 ind./m² en la PPM 3 y 153 ind./m² en la PPM 4, seguidos por las Oligochaeta (lombrices de tierra) con 85 ind./m² y 78 ind./m² respectivamente. Esto sugiere que los Isópteros y las Oligochaeta son los grupos taxonómicos dominantes en estas parcelas, lo que podría estar relacionado con sus roles ecológicos como descomponedores y mejoradores de la estructura del suelo.

Tabla 19. Valores numéricos para la densidad de la macrofauna del suelo (ind./m²) a diferentes altitudes del BRUNAS.

Grupo taxonómico (Clase u Orden)	Nombre común	Parcelas permanentes de muestreo		
		PPM 1	PPM 3	PPM 4
Araneae	Arañas	23	11	9
Coleóptera	Escarabajos	41	52	45
Dermaptera	Tijeretas	14	0	0
Dictyóptera	Cucarachas	27	0	0
Diplopoda	Milpiés	11	0	0
Díptera	Moscas y mosquitos	31	17	16
Hemíptera	Chinches y salta hojas	30	11	3
Himenóptera	Hormigas	49	15	13
Isóptera	Termitas	167	103	153
Lepidóptera	Oruga	15	3	0
Oligochaeta	Lombriz de tierra	85	67	78
Orthóptera	Grillos	37	21	19
Paurápodos	NN	0	2	0
Total		530	302	336

Estos resultados destacan la importancia de las condiciones locales en la determinación de la densidad de la macrofauna del suelo. La alta densidad de macrofauna en la PPM 1 puede indicar un entorno más saludable o menos perturbado, que proporciona un hábitat favorable para una mayor diversidad y abundancia de organismos. Las condiciones de la PPM 1 podrían incluir factores como la calidad del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad del microclima, que promueven la vida de estos organismos que están relacionados. La macrofauna del suelo interviene en los procesos de descomposición de la materia orgánica, de aceleración y reciclaje de los nutrientes y, en particular, en el de mineralización del fósforo y el nitrógeno.

Por otro lado, la dominancia de los Isópteros y Oligochaeta en las parcelas indica su papel crucial en la dinámica del suelo. Las termitas (Isópteros) son esenciales para la descomposición de la materia orgánica, especialmente en climas tropicales y subtropicales, y pueden influir en la fertilidad del suelo. Estos resultados subrayan la necesidad de considerar la conservación y manejo de la macrofauna del suelo como una parte integral de la gestión sostenible de los ecosistemas terrestres. Una densidad elevada se asocia con suelos más compactos, menos capaces de absorber agua y aire, mientras que una densidad baja mejora la capacidad de retención de agua y favorece el crecimiento de cultivos. Este estudio resalta que la densidad aparente es un factor determinante de la productividad agrícola y la salud del suelo en sistemas intensivos de manejo (Hossne, 2014).

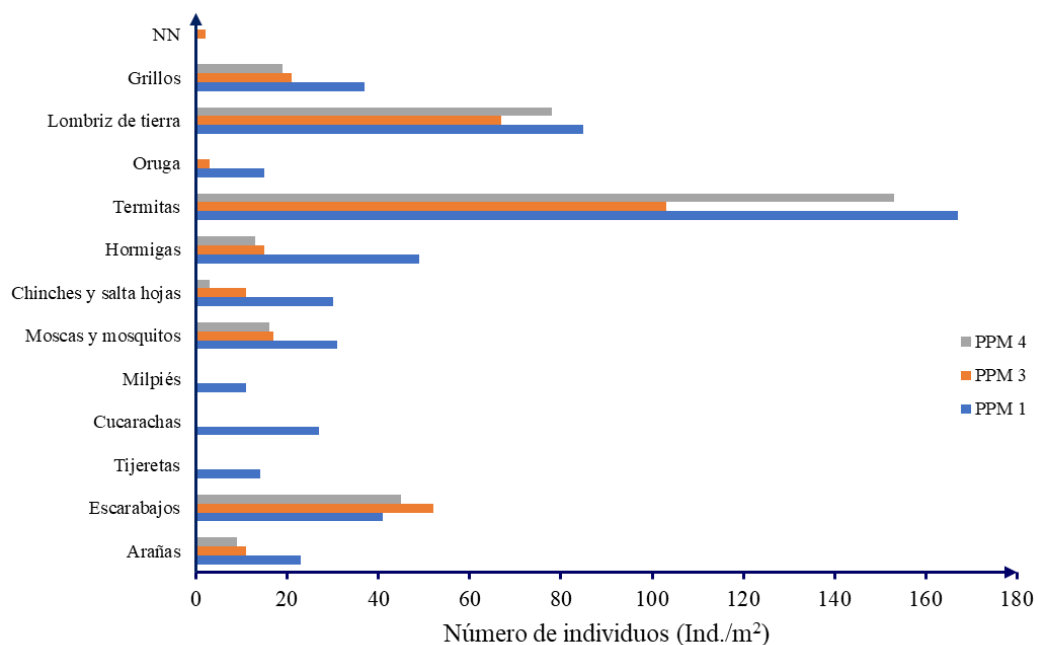


Figura 124. Número de individuos para la densidad de macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.1.3.2. Biomasa

Los resultados de la biomasa de la macrofauna del suelo (tabla 20) en las PPM del BRUNAS revelan diferencias significativas entre las tres PPM estudiadas. La PPM 1 exhibe la biomasa más alta, con 58,64 g/m², lo que indica una concentración de materia orgánica y actividad biológica en esta área específica del suelo. Esta alta biomasa puede atribuirse principalmente al grupo de los Oligochaeta (lombriz de tierra), que contribuyen con 32,30 g/m², seguidos por los Orthópteros (grillos) con 9,62 g/m². Estos resultados sugieren que la PPM 1 podría ofrecer condiciones óptimas para la vida y el

crecimiento de estos organismos, posiblemente debido a una mayor disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, al respecto Castillo-Trejo et al. (2023) destacan que la diversidad y la cantidad de macrofauna edáfica también pueden indicar el estado de conservación de los suelos en agroecosistemas. Los suelos con una rica biodiversidad de macrofauna son más resilientes y productivos, lo que hace que el monitoreo de estos organismos sea una herramienta clave en la gestión sostenible de los suelos agrícolas.

Tabla 20. Valores numéricos para la biomasa macrofauna del suelo (g/m^2) a diferentes altitudes del BRUNAS.

Grupo taxonómico (Clase u Orden)	Nombre común	Parcelas permanentes de muestreo		
		PPM 1	PPM 3	PPM 4
Araneae	Arañas	1,61	0,77	0,63
Coleóptera	Escarabajos	2,87	3,64	3,15
Dermaptera	Tijeretas	0,84	0	0
Dictyóptera	Cucarachas	4,86	0	0
Diplopoda	Milpiés	0,88	0	0
Díptera	Moscas y mosquitos	0,47	0,26	0,24
Hemíptera	Chinches y salta hojas	2,70	0,99	0,27
Himenóptera	Hormigas	0,98	0,30	0,26
Isóptera	Termitas	0,62	0,38	0,57
Lepidóptera	Oruga	0,90	0,90	0,90
Oligochaeta	Lombriz de tierra	32,30	25,46	29,64
Orthóptera	Grillos	9,62	5,46	4,94
Paurápodos	NN	0	0,18	0
Total		58,64	38,34	40,60

En contraste (figura 13), la PPM 4 y la PPM 3 muestran una biomasa ligeramente menor, con $40,60 \text{ g/m}^2$ y $38,34 \text{ g/m}^2$, respectivamente. En la PPM 4, al igual que en la PPM 1, los Oligochaeta (lombriz de tierra) dominan la biomasa con $29,64 \text{ g/m}^2$, seguidos por los Orthópteros (grillos) con $4,94 \text{ g/m}^2$. Estos resultados indican que, aunque la biomasa total es menor que en la PPM 1, la presencia y el peso de los mismos grupos taxonómicos sugieren una funcionalidad ecológica similar en términos de reciclaje de nutrientes y mantenimiento de la estructura del suelo, al respecto Estrella Juanacio et al. (2024) dicen que, incluye organismos como lombrices de tierra y otros invertebrados, juega un papel esencial en la mejora de la estructura del suelo y la retención de nutrientes. La

actividad de estos organismos facilita la descomposición de la materia orgánica y la formación de agregados estables, lo que favorece la aireación y la retención de agua, la presencia y abundancia de la macrofauna son indicadores biológicos importantes de la calidad del suelo, ya que reflejan su capacidad para sustentar la vida vegetal y su salud general.

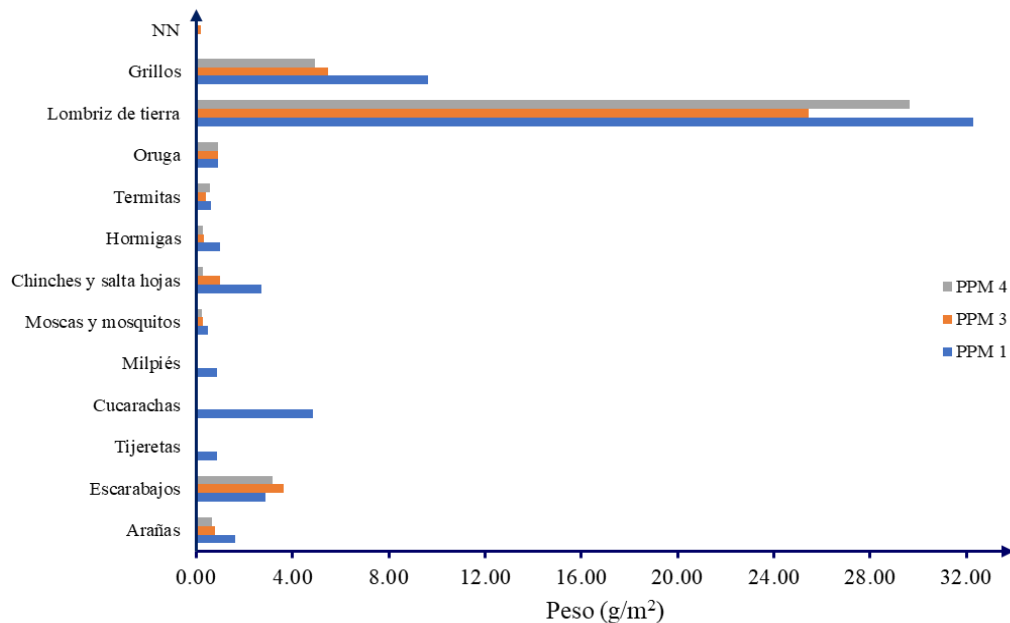


Figura 135. Valores de la biomasa de la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

4.2. Determinación de la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en Parcelas Permanentes de Medición en diferentes altitudes mediante en el BRUNAS de Tingo María

Los valores obtenidos muestran en este caso la PPM 1 muestra los valores más altos en todos los índices de diversidad: un índice de Margalef de 1,91, un índice de Shannon-Wiener de 2,16 y una equidad de Pielou de 0,84. Estos valores indican una alta riqueza de especies, una distribución más equitativa y una estructura comunitaria más diversa y balanceada en comparación con las otras PPMs, también se observa que la PPM 3 tiene una riqueza específica de 10 especies, un índice de Margalef de 1.58, un índice de Shannon-Wiener de 1,79 y una equidad de Pielou de 0,78. Aunque muestra una buena diversidad de especies, los valores son ligeramente menores que los de la PPM 1, sugiriendo una estructura de comunidad algo menos diversa pero aún saludable y por último la PPM 4 presenta una riqueza específica de 8 especies, un índice de Margalef de 1,20, un índice de Shannon-Wiener de 1,54 y una equidad de Pielou de 0,74, estos valores indican una diversidad de especies más

baja en comparación con las otras dos PPMs, lo que podría relacionarse con condiciones ambientales menos favorables o factores de perturbación.

Tabla 21. Índices de diversidad: Riqueza específica (S), Índice de Margalef (D), Índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) para la macrofauna del suelo de las PPMs a diferentes altitudes del BRUNAS.

Parcelas	Índices de diversidad			
	S	D	H'	J
PPM 1	13	1,91	2,16	0,84
PPM 3	10	1,58	1,79	0,78
PPM 4	8	1,20	1,54	0,74
Interpretación	Baja	Baja	Baja equidad

Los índices de diversidad proporcionan una medida cuantitativa de la variedad, abundancia y distribución equitativa de especies en un ecosistema como es el caso del BRUNAS, los resultados muestran variaciones significativas entre las diferentes PPMs estudiadas, al respecto podemos añadir que, la diversidad de especies en la macrofauna del suelo es crucial para mantener la funcionalidad y la estabilidad del ecosistema, Según los estudios realizados por López et al. (2020), la diversidad de especies en los bosques montanos también contribuye a la estabilidad de los ecosistemas al promover interacciones ecológicas que facilitan la regeneración del bosque. Las especies que habitan estos bosques no solo desempeñan roles clave en la dinámica del ecosistema, sino que también tienen un alto valor para las comunidades locales que dependen de estos ecosistemas para su sustento y bienestar.

4.3. Correlación de las características físicas y químicas de los suelos con la macrofauna en las Parcelas Permanente de Medición (PPM) en diferentes altitudes en el BRUNAS de Tingo María

4.3.1. Correlación de las propiedades físicas con las propiedades biológicas

Los resultados del análisis de la correlación entre las propiedades físicas del suelo (como densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura) y la presencia de macrofauna (en términos de densidad de individuos y biomasa) indican que no se encontraron correlaciones significativas entre estas variables. Los resultados de esta variable subrayan la importancia de considerar múltiples variables físicas del suelo al evaluar su influencia sobre la macrofauna. Como señala FAO (2015) la biodiversidad del suelo es

fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que influye en la formación de la estructura del suelo, la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. La diversidad de organismos en el suelo, que incluye bacterias, hongos, mesofauna y macrofauna, está asociada con una mayor capacidad de retención de nutrientes y agua, lo que contribuye a la fertilidad del suelo y la salud de las plantas. La conservación de esta biodiversidad es esencial para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas

Tabla 22. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas del suelo con los indicadores biológicos a diferentes altitudes del BRUNAS.

Variables	PPM 1			PPM 3			PPM 4		
	Da	RPS	T	Da	RPS	T	Da	RPS	T
Densidad	0,04	-0,21	0,51	0,05	-0,37	0,08	0,29	-0,14	-0,14
Biomasa	0,17	-0,23	-0,15	0,15	-0,13	-0,10	0,06	0,06	-0,36

Variables: Da; densidad aparente, RPS; resistencia a la penetración del suelo, T: temperatura

4.3.2. Correlación de las propiedades químicas con las propiedades biológicas

Los análisis de correlación entre las propiedades químicas del suelo (pH, contenido de materia orgánica, niveles de nitrógeno, fósforo y potasio) y la presencia de macrofauna (en términos de densidad de individuos y biomasa) no mostraron relaciones significativas entre estas variables. Los resultados destacan la falta de correlación entre las propiedades químicas del suelo y la comunidad de macrofauna. Según Sarmiento & Ortega (2017) los bosques montanos son esenciales para la conservación de la biodiversidad, al albergar una rica variedad de especies vegetales y animales que no se encuentran en otros ecosistemas, porque actúan como refugios para especies endémicas que dependen de las condiciones específicas de altitud y clima.

Tabla 23. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades químicas del suelo con los indicadores biológicos a diferentes altitudes del BRUNAS

Variables	PPM 1		PPM 3		PPM 4	
	Densidad	Biomasa	Densidad	Biomasa	Densidad	Biomasa
pH	0,05	-0,14	0,27	0,14	0,02	-0,03
Mo	0,20	0,04	0,07	0,06	0,27	-0,32
N	0,20	0,11	-0,19	0,30	0,27	-0,32
P	-0,03	-0,23	-0,01	0,10	0,26	0,24
K	-0,07	0,01	-0,03	0,27	0,19	-0,21

Variables: pH, Mo; materia orgánica; N, nitrógeno; P, fosforo, K, Potasio.

V. CONCLUSIONES

- La calidad del suelo en las PPM del BRUNAS es alta en cuanto a propiedades físicas y biológicas, pero media en fertilidad química, lo que lleva a clasificarlo en general como de calidad media-alta.
- La PPM 1 mostró los valores más altos de densidad y biomasa de la macrofauna, con 530 individuos por m² y una biomasa de 58,64 g/m², siendo los isópteros (termitas) los más abundantes en la PPM 3 con 167 individuos/m², y los oligoquetos (lombrices) en la PPM 1 con 32,30 g/m². Esta diversidad alfa refleja una alta riqueza de macrofauna, lo cual es un buen indicador de la calidad biológica del suelo.
- Las propiedades físicas y biológicas del suelo indican alta calidad, aunque los análisis revelan que no existe una relación directa entre las características físicas y químicas del suelo y la macrofauna presente en las PPM. La calidad física y biológica es alta, pero la calidad química es limitada, sin influir directamente en la abundancia de macrofauna.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Establecer un programa de monitoreo continuo, el cual permitiría capturar las variaciones estacionales y a largo plazo en las propiedades del suelo y la comunidad biológica.
- Realizar estudios longitudinales que abarquen múltiples años y experimentos de manipulación en las PPMs del BRUNAS, esto sería crucial para comprender mejor las dinámicas de las propiedades del suelo y su respuesta a diferentes intervenciones ambientales o de manejo.
- Incluir un análisis integrado del paisaje en el BRUNAS, considerando tanto las PPMs como otras áreas representativas del bosque, eso nos proporcionaría una visión más holística de los factores que influyen en la calidad del suelo a diferentes altitudes.
- Implementar prácticas de manejo sostenible que promuevan la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el BRUNAS.

VII. REFERENCIAS

- Agostini, M. D. L. Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo*, 32(2), 171-176.
- Allaire, S.E., Lange, S.F., Lafond, J.A., Pelletier, B., Cambouris, A.N., & Dutilleul, P. (2012). *Multiscale spatial variability of CO2 emissions and correlations with physico-chemical soil properties*. *Geoderma (Netherlands)*. 170:251-260.
- AgriculturaWiki. (2020). *Cómo la temperatura del suelo influye en el desarrollo de las plantas*. AgriculturaWiki. Recuperado de <https://agriculturawiki.com/como-la-temperatura-del-suelo-influye-en-el-desarrollo-de-las-plantas-como-la-temperatura-del-suelo-afecta-el-crecimiento-de-tus-plantas/>
- Baselga, A. (2017). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134-143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Benitez, J., García, A., & López, M. (2019). *La biodiversidad del suelo y su impacto en la sostenibilidad agrícola*. *Journal of Soil and Environmental Quality*, 43(2), 123-136. <https://doi.org/10.1016/j.soilqual.2019.03.001>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2019). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Burbano-Orjuela, Hernán. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58CONABIO>. 2016. Biodiversidad Mexicana. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose.htm>.
- Camayo Salazar, E. J. (2010). *Cuantificación de la macrofauna en relación con las propiedades de los suelos residuales de la Laguna Los Milagros - Aucayacu* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/423>
- Castillo-Trejo, E. Y., Flota-Bañuelos, C., Alcudia-Pérez, J., Fraire-Cordero, S., Rosales-Martínez, V., & Quej-Chí, V. H. (2023). Macrofauna edáfica y calidad del suelo en

agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(3).https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342023000300413&script=sci_arttext

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2017). Evaluación de la resistencia a la penetración del suelo: Prácticas de manejo de la compactación del suelo. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4031/98830.pdf?sequence=1>

Chao, A., Yang, M. C., & Hwang, W. H. (2018). *The role of alpha diversity in biodiversity conservation*. *Ecology Letters*, 21(7), 798-807. <https://doi.org/10.1111/ele.12958>

Chen, Z. (2000). *Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops*. <http://www.fftc.agnet.org/>.

Correa, P. (2011). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo – UNAS - Tingo María*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

Cruz-Flores, Gerardo, Guerra-Hernández, Eloisa A., Valderrábano-Gómez, Juan M., & Campo-Alves, Julio. (2020). Indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la Reserva de la Biosfera los Volcanes, México. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 781-793. Epub 12 de febrero de 2021.<https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>

Contaminación Ambiental. (2024). *La calidad del suelo: Evaluación y detección de contaminantes*. Recuperado de <https://contaminacionambiental.net/la-calidad-del-suelo-evaluacion-medicion-y-deteccion-de-contaminantes/>

Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes Tropicales*. ECOBONA, Intercooperation. Recuperado de <https://www.bosquesandinos.org/los-bosques-montanos-de-los-andes-tropicales/>

Cueva, Eduardo, Lozano, Deicy, & Yaguana, Celso. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque (Valdivia)*, 40(3), 365-378. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000300365>

Dexter, A. R., & Czyz, E. A. (2016). Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Soil and Tillage Research*, 160, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.005>

EOS Data Analytics. (2021). *Temperatura del suelo: Impacto en el rendimiento agrícola y monitoreo remoto*. EOS. Recuperado de <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>

- Estrella Juanacio, L. M., Cazorla Vinuesa, X. R., Arcos Logroño, J. P., & Zambrano Cárdenas, G. O. (2024). Macrofauna edáfica como indicador de calidad del suelo en tres agroecosistemas café, té y pitahaya del cantón Palora. *Polo del Conocimiento*, 9(7). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7898>
- FAO. (2015). *Suelos y biodiversidad*. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a5f11714-3d0b-47d9-a3e4-4aeb19fdad6a/content>
- FAO. (2021). *La conservación de la biodiversidad en los bosques montanos: Estrategias y desafíos*. Recuperado de <https://www.fao.org/forestry/mountainbiodiversity/en/>
- Ferriol, M., & Merle, H. (2012). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. (https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft%20Word%20-%20articulo%20docente%20def.pdf?sequen ce=1.
- Gao, X., Wang, S., & Zhang, J. (2020). *Alpha diversity and ecosystem resilience in tropical forests*. *Journal of Tropical Ecology*, 36(3), 321-334. <https://doi.org/10.1017/S0266467420000174>
- García, M., Sánchez, P., & Rodríguez, L. (2016). *Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de fósforo para las plantas*. *Revista de Ciencias del Suelo*, 45(3), 202-215. <https://doi.org/10.1016/j.rcs.2016.02.008>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). *Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso*. Matanzas, Cuba: Central España Republicana. <https://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>
- González, F., Martínez, R., & López, L. (2018). *Manejo de nutrientes del suelo en la agricultura sostenible: Impacto en la fertilidad y productividad del suelo*. *Agroecosistemas*, 19(2), 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.agro.2018.05.003>
- Gómez, J. D., & Lozano, Z. (2016). Evaluación de indicadores físicos de calidad del suelo en sistemas de producción de café en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 45-58. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num1_art:540
- Gómez, J., Pérez, L., & Martínez, E. (2018). *El impacto de la materia orgánica en la estructura y fertilidad del suelo*. *Revista Internacional de Ciencias del Suelo*, 21(3), 143-155. <https://doi.org/10.1016/j.rics.2018.06.004>

- Gómez, L., & Rodríguez, J. (2020). *Manejo del fósforo en suelos agrícolas: Implicaciones para la fertilidad y la sostenibilidad*. Soil and Plant Nutrition, 18(3), 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.spn.2020.04.001>
- Guisado Lale, M. G. (2024). *Calidad del suelo de tres gradientes altitudinales con sistemas agroforestales de Coffea arabica (café) - Inga macrophylla (paca) en Chontabamba, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/4f071e97-74bb-4ce4-a6a7-28d75b0c71ae/full>
- Hahn, E. s/d. *Requisitos de buenas prácticas para el uso eficiente de correctivos de suelos y fertilizantes*. Sustentap. Manual. <https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/Manual%20suelos%20MejorAgro.pdf>.
- Hernández, A., Pérez, J., & González, M. (2015). Variación de la densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en suelos cubanos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 5-10.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). *Metodología de investigación*. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hernández, F., López, R., & Martínez, S. (2018). *El fósforo disponible en el suelo: Factores que afectan su disponibilidad y manejo agrícola*. *Journal of Soil Chemistry*, 22(1), 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.jsc.2018.02.003>
- Hernández, L., López, A., & García, F. (2020). *La influencia del pH del suelo en los cultivos agrícolas y su corrección mediante enmiendas*. *Agricultura y Desarrollo Sostenible*, 15(2), 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.agsd.2020.02.003>
- Hossne, E. (2014). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso de expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 197-206.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2016). Estudio sobre la resistencia a la penetración del suelo: Impacto en la productividad agrícola. Recuperado de [https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68284/NR42673.pdf?sequence=](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68284/NR42673.pdf?sequence=1)

- International Plant Nutrition Institute. (2020). *Formas y estados de potasio en el suelo*. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A77BF5F95561AB058525801300603DC6/\\$FILE/Art%202.pdf](https://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A77BF5F95561AB058525801300603DC6/$FILE/Art%202.pdf)
- Lal, R. (2020a). Soil science and the carbon civilization. *Soil Science Society of America Journal*, 84(4), 1-20. <https://doi.org/10.1002/saj2.20078>.
- Lal, R. (2020b). Managing soils for resolving the conflict between agriculture and nature: The hard talk. *European Journal of Soil Science*, 71(2), 1-14. <https://doi.org/10.1111/ejss.12945>.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. López, B. Pashanasi and L. Brussaard. (1994). *The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility*. pp. 137–169. In: Wooster, P. and M. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- López, J., Pérez, M., & Rodríguez, A. (2018). *El pH del suelo y su influencia en la disponibilidad de nutrientes para las plantas*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 45(2), 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.agri.2018.04.007>
- López-Pujol, J., Zhang, F., & Liu, X. (2016). *The importance of alpha diversity in ecosystem service provision: A case study in Mediterranean ecosystems*. *Biological Conservation*, 201, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.015>
- López, R., González, F., & Rivera, M. (2020). *La biodiversidad y la regeneración natural en los bosques montanos tropicales*. *Revista de Ecología y Conservación*, 32(1), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.reces.2020.02.005>
- Maino, A., Alberi, M., Anceschi, E., Chiarelli, E., Cicala, L., Colonna, T., De Cesare, M., Guastaldi, E., Lopane, N., Mantovani, F., Marcialis, M., Martini, N., Montuschi, M., Piccioli, S., Raptis, K. G. C., Russo, A., & Semenza, F. (2022). Airborne Radiometric Surveys and Machine Learning Algorithms for Revealing Soil Texture. arXiv preprint arXiv:2208.06625. <https://arxiv.org/abs/2208.06625>.
- Martínez, E., Pérez, J., & Gómez, A. (2009). *Composición y función de la materia orgánica en suelos agrícolas*. *Agrociencia*, 43(1), 22-35. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672009000100011&script=sci_arttext

- Martínez, E. A., García, L., & López, D. (2015). The role of beta diversity in the conservation of forest ecosystems. *Ecological Applications*, 25(4), 1232-1245. <https://doi.org/10.1890/14-1220.1>
- Martínez, L., Rodríguez, J., & Gómez, A. (2019). *El nitrógeno en el suelo: Disponibilidad y manejo para la producción agrícola sostenible*. *Journal of Soil Fertility*, 23(4), 45-60. <https://doi.org/10.1016/j.jsf.2019.03.002>
- Montanarella, L. (2015). *Agricultural policy govern our soils*. *Nature*. 528:32 - 33.
- Mouillot, D., Pavoine, S., & Dray, S. (2014). *Measuring biodiversity: The contribution of alpha diversity indices*. *Ecology*, 95(6), 1651-1664. <https://doi.org/10.1890/13-1786.1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015). *Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2016). *Suelos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/285729/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Portal de Suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Osman, K. T. (2018). *Soils: Principles, properties and management* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67302-7>.
- Peralta, N., Costa, J; Balzarini, M., & Angelini, H. (2013). *Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the Southeastern Pampas*. *Canadian Journal of Soil. Science*.
- Puerta, R. (2007). *Modelo digital de elevación del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva, Tingo María – Perú*. [Tesis Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1908/TS_RHPT_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pulido Moncada, M., Lozano, Z., & Gómez, J. (2014). Indicadores físicos de calidad del suelo en sistemas de producción de caña panelera en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2), 7281-7291. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44698>.
- Quinto-Mosquera, H., Ayala-Vivas, G., & Gutiérrez, H. (2022). Contenido de nutrientes, acidez y textura del suelo en áreas degradadas por la minería en el Chocó biogeográfico.

Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 46(179), 514-528. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1615>.

- Raigón, M. D. (2014). La biodiversidad del suelo: Importancia, amenazas y su influencia en la salud humana. *Revista Ae*, 50, 7-14. Recuperado de <https://revista-ae.es/maria-dolores-raigon-biodiversidad-del-suelo-importancia-amenazas-influencia-en-salud-humana/>
- Reátegui, H. (2009). *Efecto de los sistemas de uso en los macroinvertebrados bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa*. [Tesis de grado]. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Rodríguez, M., Pérez, A., & Díaz, J. (2017). *Nutrientes del suelo y su influencia en el rendimiento agrícola*. *Journal of Soil Science*, 28(3), 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.01.004>
- Rubiano, Y., Camacho-Tamayo, J., Forero-Cabrera, N., & Ramírez-López, L. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5-18. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>.
- Salamanca Jiménez, A., & Sadeghian Khalajabadi, S. (2014). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas*. FERTITEC S.A. 19 p.
- Sánchez, A. (2023). *Indicadores químicos de la calidad del suelo y su impacto en la fertilidad agrícola*. *Revista Mexicana de Ciencias del Suelo*, 60(6), 201-212. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342023000600201&script=sci_arttext
- Sánchez, F., & Pérez, M. (2020). *Impacto del nitrógeno en la fertilidad del suelo y la eficiencia de los fertilizantes*. *Agricultura y Medio Ambiente*, 30(2), 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.agri.2020.01.006>
- Sarmiento, F., & Ortega, J. (2017). *La importancia de los bosques montanos en la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos*. *Journal of Mountain Ecology*, 14(2), 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.jme.2017.05.004>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) (2019). Pronóstico del tiempo para Tingo María. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=10&localidad=0025>

- Smith, T., & Jones, R. (2019). *Efectos del pH del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las plantas*. *Journal of Soil Science*, 32(4), 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.03.004>
- Socarrás, Ana. (2014). *Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo*. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 5-13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000100001&lng=es&tlng=es.
- Socolar, J. B., Gilroy, J. J., & Ceballos, G. (2016). Measuring β diversity for conservation in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, 30(5), 1157-1165. <https://doi.org/10.1111/cobi.12771>
- Soil Survey Staff. (2014). *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Stropp, J., Ter Steege, H., & Malhi, Y. (2009). *Estudio regional y local la diversidad de árboles en la Amazonia*. *ATD, RAINFOR Ecología* 32: 46-54
- Tiloom. (2021). *Las formas del potasio en el suelo*. Recuperado de <https://www.tiloom.com/formas-del-potasio-en-el-suelo/>
- Tormo, J., Pérez, P., & Martínez, E. (2020). *La resistencia a la penetración como indicador de la compactación del suelo en cultivos intensivos*. *Revista de Agricultura y Suelos*, 42(3), 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.agri.2020.04.005>
- Torres, F., Rodríguez, P., & López, A. (2019). La materia orgánica en suelos agrícolas: Importancia y manejo para mejorar la fertilidad del suelo. *Agricultura y Medio Ambiente*, 17(1), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.agri.2019.02.001>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2020). *Calidad del suelo*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Recuperado de https://s3-us-west-2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/Calidad-del-Suelo_2-17-20.pdf.
- Vargas-Machuca, R.N. (2010). *Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos*. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC). Granada, España. 14 p.
- Wild, A. (2017). *Relación entre el fósforo, la textura del suelo y la materia orgánica en suelos agrícolas*. *Journal of Soil and Plant Nutrition*, 28(4), 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.jspn.2017.05.003>

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 6. Midiendo el área donde se muestreará en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 7. Limpiando el área donde se muestreará en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 8. Muestreando y colectando la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 9. Recolectando la macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 10. Grupo Aranae como macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 11. Macrofauna del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 12. Muestreo del suelo en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.



Figura 13. Muestreo del suelo con un marco para determinar longitudes exactas en las PPM a diferentes altitudes del BRUNAS.

Anexo 2. Tabulación de datos

Tabla 24. Datos recolectados de las propiedades físicas a diferentes altitudes del BRUNAS.

Densidad aparente			RPS			Temperatura		
PPM1	PPM4	PPM3*	PPM1	PPM4	PPM3*	PPM1	PPM4	PPM3*
0.93	0.89	0.92	1.5	1.32	1.32	24	22	26
0.60	0.65	0.61	1.3	1.00	1.26	24	21	25
0.85	0.85	0.81	1.5	1.24	1.17	21	23	23
0.74	0.65	0.74	1.5	1.32	1.35	22	21	24
0.94	0.94	0.67*	1.5	1.32	1.31*	21	21	23*
0.75	0.54	0.90*	1.5	1.32	1.35*	21	23	23*
0.95	0.95	0.68*	1.5	1.32	1.33*	22	24	26*
0.92	0.60	0.62*	1.4	1.22	1.28*	25	24	24*
0.84	0.84	0.72*	1.5	1.32	1.20*	24	24	24*
0.86	0.86	0.88*	2	1.82	1.30*	24	24	23*
0.78	0.78	0.72*	1.5	1.32	1.24*	24	23	24*
0.84	0.78	0.89*	1.2	1.02	1.30*	21	24	24*
0.87	0.87	0.88*	1.4	1.57	1.25*	21	25	25*
1.07	1.07	0.65*	1.5	1.32	1.34*	24	22	24*
0.98	0.98	0.84*	1.4	1.22	1.18**	21	21	25*
1.08	1.08	0.79*	1.5	1.32	1.21*	22	21	25*
0.70	0.60	0.73*	1.5	1.32	1.26*	23	22	24*
0.67	0.67	0.84*	1.5	1.32	1.33*	22	21	24*
0.84	0.54	0.91*	1.5	1.32	1.32*	23	24	24*
0.98	0.80	0.79*	1.5	1.32	1.21**	23	24	26*
0.70	0.65	0.69*	1.5	1.32	1.28*	21	24	25*
0.79	0.59	0.86*	1.5	1.32	1.29*	22	22	26*
0.72	0.54	0.79*	1.3	1.12	1.33*	24	24	25
0.67	0.67	0.70*	1.5	1.32	1.32*	24	21	24*
0.93	0.90	0.77*	1.4	1.22	1.19*	22	21	26*

*datos interpolados

Tabla 25. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 1.

Grupos	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	
Arañas	0	0	1	2	1	1	0	1	0	2	1	2	2	0	1	3	0	2	0	2	1	0	1	0	0	23
Escarabajos	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	3	2	1	1	2	41
Tijeretas	1	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	14
Cucarachas	2	1	0	2	0	2	0	2	0	2	2	0	1	0	0	2	0	1	2	2	1	2	1	0	2	27
Milpiés	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	11	
Moscas y mosquitos	2	1	1	2	1	0	2	1	2	2	1	1	0	0	1	2	2	1	2	1	2	1	2	0	1	31
Chinchas y salta hojas	1	2	1	1	1	1	0	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	0	1	1	2	1	1	2	30
Hormigas	3	3	2	1	2	2	1	3	1	2	2	2	3	2	1	2	3	2	1	2	1	2	1	3	2	49
Termitas	11	9	0	6	0	6	16	0	3	18	9	0	15	0	6	7	11	2	0	6	8	12	8	0	14	167
Oruga	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	15
Lombriz de tierra	2	4	2	5	3	2	2	5	2	4	4	3	4	5	2	4	2	5	4	4	3	4	2	3	5	85
Grillos	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	3	1	2	1	1	2	1	37
NN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 26. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 3.

Grupos	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	
Arañas	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	11
Escarabajos	2	2	3	2	2	2	1	3	2	3	2	2	3	1	2	2	3	1	1	2	1	2	3	2	3	52

Tijeretas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cucarachas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Milpiés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Moscas y mosquitos	1	1	1	2	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	17
Chinchas y salta hojas	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	11
Hormigas	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	15
Termitas	5	13	3	7	4	11	0	7	0	2	0	16	0	0	0	0	5	0	0	13	0	0	5	0	12	103
Oruga	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
Lombriz de tierra	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	67
Grillos	1	2	1	0	0	2	1	1	0	1	0	0	1	2	1	0	0	2	1	2	0	0	2	0	1	21
NN	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Tabla 27. Valores de la densidad de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 4.

Grupos	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	
Arañas	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	9
Escarabajos	2	1	2	1	2	3	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	2	45
Tijeretas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cucarachas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Milpiés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moscas y mosquitos	1	2	0	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	0	1	0	16
Chinchas y salta hojas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3

Hormigas	1	0	2	0	1	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	13
Termitas	24	0	9	0	21	0	0	5	11	0	0	0	5	0	25	6	0	18	0	7	3	0	13	6	0	153
Oruga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lombriz de tierra	4	3	4	4	2	4	2	3	2	3	2	3	4	3	2	2	3	4	3	3	4	3	4	3	4	78
Grillos	0	1	2	1	0	0	2	2	0	0	1	0	2	0	2	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	19
NN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 28. Valores de la biomasa de individuos de la macrofauna recolectados en la PPM N° 1.

Grupos	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	
Arañas	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	1.61
Escarabajos	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	2.87
Tijeretas	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.84
Cucarachas	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	4.86
Milpiés	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.88
Moscas y mosquitos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.47
Chinches y salta hojas	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	2.7
Hormigas	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.98
Termitas	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.62
Oruga	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.9
Lombriz de tierra	1.2	1.1	1.6	1.1	1.2	1.3	1.3	2.0	1.2	1.0	1.0	1.0	2.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	2.0	1.0	1.2	1.1	1.3	2.1	32.3
Grillos	0.3	0.5	0.4	0.6	0.3	0.2	0.5	0.4	0.2	0.6	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.2	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	9.62

Anexo 3. Análisis de suelos



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: JENY ANGELICA GOMEZ ROJAS
 PROCEDENCIA: BRUNAS - TINGO MARIA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024
 RECIBO N° 36065

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO						ANÁLISIS QUÍMICO											
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo		0-14 dS/m	M.O.	total	Orgánico	disponible	Calcio	Magnesio		Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno	%	%		%		
			CODIGO DEL LAB.	CODIGO DEL SOLICITANTE	%	%	%	1:1	1:1	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	M1-2024	PPM3-1	47.82	33.44	18.74	Franco Arcillo Arenoso	4.96	0.05	2.61	0.131	1.514	2.945	61.974	----	2.108	0.276	0.094	0.042	4.960	0.940	8.419	29.922	70.078	58.913
2	M2-2024	PPM3-2	55.82	25.44	18.74	Franco Arcillo Arenoso	4.44	0.23	1.90	0.095	1.101	4.159	74.832	----	2.310	0.265	0.084	0.061	7.900	0.800	11.420	23.815	76.185	69.180
3	M3-2024	PPM3-3	41.82	29.44	28.74	Franco Arcilloso	4.42	0.24	1.90	0.095	1.101	2.852	99.845	----	2.240	0.265	0.158	0.096	6.500	0.900	10.159	27.157	72.843	63.983
4	M4-2024	PPM3-4	53.82	23.44	22.74	Franco Arcillo Arenoso	4.39	0.25	2.99	0.150	1.735	5.374	91.319	----	2.235	0.253	0.121	0.078	6.190	1.310	10.187	26.376	73.624	60.765
5	M5-2024	PPM3-5	51.82	21.44	26.74	Franco Arcillo Arenoso	4.47	0.17	2.52	0.126	1.459	4.159	78.339	----	2.540	0.309	0.104	0.061	5.020	1.090	9.114	33.069	66.931	55.081
6	M6-2024	PPM3-6	41.82	19.44	38.74	Franco	4.57	0.08	1.71	0.085	0.991	3.786	74.405	----	2.364	0.280	0.109	0.045	4.800	1.100	8.698	32.166	67.834	55.187
7	M7-2024	PPM3-7	55.82	21.44	22.74	Franco Arcillo Arenoso	4.30	0.25	1.71	0.085	0.991	3.599	83.009	----	2.174	0.275	0.081	0.048	6.150	1.250	9.992	25.939	74.061	61.551
8	M8-2024	PPM3-8	53.82	21.44	24.74	Franco Arcillo Arenoso	4.49	0.17	1.52	0.0760	0.8811	3.9725	58.9790	----	2.174	0.268	0.068	0.051	5.050	1.750	9.361	27.357	72.643	53.948
9	M9-2024	PPM3-9	55.82	23.44	20.74	Franco Arcillo Arenoso	4.51	0.18	1.66	0.0831	0.9637	7.2421	88.6854	----	2.390	0.289	0.113	0.054	5.540	1.560	9.946	28.611	71.389	55.703
10	M10-2024	PPM3-10	65.82	17.44	16.74	Franco Arenoso	4.42	0.25	2.42	0.1210	1.4042	5.6540	75.7062	----	2.358	0.278	0.087	0.055	4.450	1.550	8.778	31.646	68.354	50.696
11	M11-2024	PPM3-11	53.82	21.44	24.74	Franco Arcillo Arenoso	4.66	0.12	3.09	0.1543	1.7897	7.3355	104.0267	----	2.258	0.281	0.129	0.061	5.950	1.750	10.429	26.169	73.831	57.051
12	M12-2024	PPM3-12	57.82	17.44	24.74	Franco Arenoso	4.47	0.24	3.94	0.1970	2.2853	5.0001	118.0423	----	2.441	0.308	0.141	0.086	5.420	1.880	10.276	28.962	71.038	52.743
13	M13-2024	PPM3-13	45.82	33.44	20.74	Franco Arcillo Arenoso	4.44	0.22	2.61	0.1305	1.5144	3.6923	111.9323	----	2.314	0.287	0.169	0.056	4.970	2.030	9.825	28.754	71.246	50.585
14	M14-2024	PPM3-14	65.82	15.44	18.74	Franco Arenoso	4.35	0.45	2.52	0.1258	1.4593	6.4948	88.1672	----	2.394	0.276	0.087	0.066	3.760	1.840	8.423	33.513	66.487	44.641
15	M15-2024	PPM3-15	45.82	23.44	30.74	Franco	4.46	0.24	1.76	0.0878	1.0188	5.2803	106.7322	----	2.335	0.297	0.112	0.039	3.030	1.770	7.582	36.694	63.306	39.962
16	M16-2024	PPM3-16	43.82	25.44	30.74	Franco	4.56	0.18	2.28	0.1139	1.3216	6.7750	104.6895	----	2.250	0.264	0.113	0.045	3.530	2.170	8.372	31.920	68.080	42.162
17	M17-2024	PPM3-17	43.82	27.44	28.74	Franco Arcilloso	4.52	0.15	1.71	0.0854	0.9912	3.1318	64.4262	----	2.022	0.258	0.073	0.048	4.410	1.990	8.801	27.282	72.718	50.108
18	M18-2024	PPM3-18	41.82	33.44	24.74	Franco Arcilloso	4.54	0.19	1.90	0.0949	1.1014	3.2252	109.8655	----	2.417	0.304	0.142	0.062	4.990	1.810	9.725	30.079	69.921	51.310
19	M19-2024	PPM3-19	39.82	33.44	26.74	Franco Arcilloso	4.59	0.13	1.66	0.0831	0.9637	3.8791	92.2224	----	2.478	0.309	0.104	0.063	5.380	2.120	10.454	28.255	71.745	51.465
20	M20-2024	PPM3-20	43.82	21.44	34.74	Franco	4.66	0.27	2.04	0.1021	1.1840	7.1487	116.2647	----	1.998	0.248	0.062	0.044	4.710	2.090	9.152	25.702	74.298	51.462
21	M21-2024	PPM3-21	39.82	19.44	40.74	Franco	4.43	0.13	1.57	0.0783	0.9086	3.8791	98.0251	----	2.093	0.262	0.057	0.048	3.830	1.670	7.960	30.909	69.091	45.600
22	M22-2024	PPM3-22	45.82	25.44	28.74	Franco	4.44	0.19	2.23	0.1116	1.2941	5.0001	86.3956	----	2.158	0.268	0.068	0.044	4.580	2.220	9.338	27.179	72.821	49.047
23	M23-2024	PPM3-23	37.82	35.44	26.74	Franco Arcilloso	4.63	0.14	1.90	0.0949	1.1014	0.3293	95.5606	----	2.145	0.267	0.084	0.043	4.660	1.240	8.440	30.092	69.908	55.216
24	M24-2024	PPM3-24	43.82	23.44	32.74	Franco	4.39	0.24	2.04	0.1021	1.1840	5.4672	95.5185	----	2.142	0.267	0.092	0.048	3.860	2.040	8.449	30.170	69.830	45.685
25	M25-2024	PPM3-25	37.82	29.44	32.74	Franco Arcilloso	4.57	0.25	2.28	0.1139	1.3216	3.6923	98.9712	----	2.068	0.257	0.086	0.043	3.430	2.270	8.153	30.091	69.909	42.068

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
 Tingo Maria

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



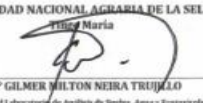
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo Maria

 Ing. GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO
 Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Figura 20. Análisis de suelos PPM - 1



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: HUAMAN RENGIFO LIZ MARGOTH
 PROCEDENCIA: RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024
 RECIBO N° 36065

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO								ANÁLISIS QUÍMICO									
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo		0-14	dS/m	M.O.	total	Orgánico	disponible	Calcio		Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno	%		%	%	
			%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES			Cmol(+)/kg						
1	H1-2024	MS-1	51.82	19.44	28.74	Franco	4.56	0.17	2.99	0.1495	1.7347	9.5775	88.6492	----	2.115	0.263	0.066	0.049	5.250	1.950	9.694	25.725	74.275	54.159
2	H2-2024	MS-2	47.82	19.44	32.74	Franco	4.67	0.11	2.94	0.1472	1.7071	4.0659	82.4850	----	2.247	0.273	0.096	0.047	3.900	1.900	8.463	31.468	68.532	46.082
3	H3-2024	MS-3	35.82	33.44	30.74	Franco Arcilloso	4.72	0.07	2.52	0.1258	1.4593	2.9450	77.5982	----	2.345	0.280	0.094	0.044	4.000	1.800	8.562	32.259	67.741	46.718
4	H4-2024	MS-4	39.82	29.44	30.74	Franco Arcilloso	4.54	0.10	2.14	0.1068	1.2390	4.5330	76.2485	----	2.189	0.272	0.115	0.056	4.360	2.240	9.232	28.509	71.491	47.228

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
 Tingo María

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María

Ingr. GILMER HILTON NEIRA TRUJILLO
 Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Figura 21. Análisis de suelos PPM - 3



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													
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CAMBIABLES Cmol(+)/kg					%	%	%			
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	0.159	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	71.569	---	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 AGRONOMÍA

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

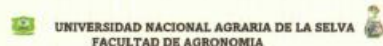
SOLICITANTE:	RENGIFO TRIGOSO JUAN PABLO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	2/10/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	2/10/2023
DISTRITO:	RUPA RUPA	FECHA DE REPORTE:	9/10/2023
LOCALIDAD:	TINGO MARIA	RECIBO O FACTURA:	24192
SECTOR:	BRUNAS	OBSERVACION: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

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO					pH	CE		M.O.	N	C	P		K	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables %	Acidos Cambiables %	Saturación de Aluminio %
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	dS/m		disponible	ppm				ppm													
			%	%	%		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	0.649	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.



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



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Figura 22. Análisis de suelos PPM - 4