

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO
DEGRADADO EN PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL BRUNAS**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

AVED EFER RUIZ ARCE

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°008-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 21 de noviembre de 2025, a horas 07:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO DEGRADADO EN PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL BRUNAS”

Presentado por el Bachiller: **RUIZ ARCE, AVED EFER** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 27 de enero de 2026


Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. RAUL ARAUJO TORRES
MIEMBRO


Ing. MSc. JOSÉ ANTONIO DIONISIO ARMAS
MIEMBRO


Ing. MSc. BRAYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ
ASESOR


Ing. MSc. JHONY FLORES MENDOZA
ASESOR





"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 069 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	-------------------------------------	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO DEGRADADO EN PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL BRUNAS	AVED EFER RUIZ ARCE	07 % Siete	Menor a 20 %

Tingo María, 26 de febrero de 2026.

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

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO
DEGRADADO EN PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL BRUNAS**

Autor	:	Aved Efer Ruiz Arce
Asesor (es)	:	Mg. Sc. Brayan Andre Caldas De La Cruz Mg. Sc. Jhony Flores Mendoza
Programa de investigación	:	Gestión de bosques y plantaciones forestales
Línea de investigación	:	Biomasa y ecología forestal
Eje temático	:	Restauración de Ecosistemas Forestales
Lugar de ejecución	:	Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)
Duración	:	9 meses
Financiamiento	:	S/. 4 198,70
FEDU	:	No
Propio	:	Si
Otros	:	No

Tingo María – Perú, 2025



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

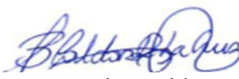
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional	:	Ingeniería Forestal
Título de la Tesis	:	Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado en proceso de restauración en el BRUNAS.
Autor	:	Aved Efer Ruiz Arce
DNI	:	75900531
Correo electrónico	:	aved.ruiz@unas.edu.pe
Asesores	:	Mg. Sc. Brayan Andre Caldas De La Cruz Mg. Sc. Jhony Flores Mendoza
Programa de investigación	:	Gestión de bosques y plantaciones forestales
Línea de investigación	:	Biomasa y ecología forestal
Eje temático	:	Restauración de Ecosistemas Forestales
Lugar de ejecución	:	Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)
Duración	:	Inicio : 16 de marzo del 2024 Termino : 16 de diciembre del 2024
Financiamiento	:	FEDU : S/. 0.00 Propio : S/. 4 198,70 Otros : S/. 0.00

Tingo María, Perú, 2025


Aved Efer Ruiz Arce
Tesista


Mg. Sc. Brayan Andre Caldas De La Cruz
Asesor


Mg. Sc. Jhony Flores Mendoza
Asesor

DEDICATORIA

Expreso mi gratitud a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, brindándome sabiduría y paciencia para superar los desafíos.

A mis amados padres Josefina Arce Gomez y Victor Ruiz Alvarado, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios que han hecho posible mi formación profesional. A mis hermanos Noly, Lida y Elisa, por ser mi refugio en los momentos de dificultad y por su constante ánimo, que me inspiró a perseverar en el camino hacia mis sueños. A ellos, quienes siempre creyeron en mí, dedico este trabajo con el corazón lleno de agradecimiento y amor.

AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, fuente de mi fuerza y motivación, por bendecirme con salud, perseverancia y oportunidades a lo largo de este proceso.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva que me formó, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.
- A mis asesores Mg. Sc. Jhony Flores Mendoza y Mg. Sc. Brayan André Caldas de la Cruz, por compartir su experiencia, guiarme con sabiduría y ayudarme a dar lo mejor de mí en esta investigación.
- A mis amigos Jeferson Villar, Jhon Orizano, Artidoro, Jhamil y Gianpool, quienes con su apoyo y compañía hicieron más llevadero este camino, recordándome la importancia del trabajo en equipo y la amistad.
- A mis docentes, por transmitirme sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, han sido parte de este logro. A todos ustedes, mi gratitud infinita.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. General.....	2
1.2. Específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Suelo y degradación	3
2.1.2. Procesos de restauración del suelo	6
2.1.3. Propiedades físicas del suelo.....	8
2.1.4. Propiedades químicas del suelo	11
2.1.5. Propiedades biológicas del suelo	13
2.1.6. Restauración de suelos	14
2.1.7. Calidad del suelo	15
2.1.8. Suelo degradado	16
2.1.9. Propiedades del suelo.....	16
2.2. Estado de arte	17
2.2.1. A nivel internacional	17
2.2.2. A nivel nacional	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Lugar de ejecución.....	24
3.1.1. Ubicación política	24
3.1.2. Ubicación geográfica	24
3.1.3. Clima	26
3.1.4. Fisiografía	26
3.2. Materiales y métodos	26
3.2.1. Materiales y equipos	26
3.2.2. Metodología	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Propiedades físicas (densidad aparente, textura y color) de un suelo degradado en proceso de restauración	34
4.1.1. Densidad aparente	34
4.1.2. Textura	35

4.1.3. Color.....	36
4.2. Propiedades químicas (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo disponible, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico) de un suelo degradado en proceso de restauración	37
4.2.1. Materia orgánica.....	37
4.2.2. pH.....	38
4.2.3. Conductividad eléctrica.....	39
4.2.4. Nitrógeno total	40
4.2.5. Carbono orgánico	41
4.2.6. Fósforo disponible.....	42
4.2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico equivalente (CICe).....	43
4.3. Diversidad de macrofauna en un suelo degradado en proceso de restauración	44
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. PROPUESTAS A FUTURO	50
VII. REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Densidad aparente por tipo de suelo.....	8
2. Clase textural del suelo.....	9
3. Relación clase textural y porosidad.....	10
4. Conductividad eléctrica.....	11
5. Clasificación de potencial de hidrógeno (pH).....	12
6. Interpretación de la materia orgánica.....	13
7. Coordenadas proyectadas de la parcela de investigación.....	24
8. Especies forestales de los grupos funcionales.....	25
9. Número mínimo de puntos de muestreo de suelo.....	28
10. Profundidad de muestreo de suelo según el uso.....	28
11. Humedad y densidad aparente del suelo en los grupos funcionales.....	34
12. Textura del suelo en los grupos funcionales.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Tabla Munsell.....	11
2. Mapa de ubicación.....	24
3. Distribución espacial de los grupos funcionales y especies forestales.....	25
4. Distribución espacial de los puntos de muestreo.....	28
5. Forma de uso de la tabla Munsell.....	29
6. Delimitación superficial de 1m ² y cuadrante de 25 x 25 cm.....	31
7. Monolito de suelo, para muestreo de macrofauna edáfica.....	31
8. Extracción manual de macrofauna en el suelo.....	32
9. Suelo color marrón rojizo oscuro (5YR 3/2).....	36
10. Cambio en el porcentaje de materia orgánica por grupo funcional.....	37
11. Variación de potencial de hidrógeno (pH) por grupo funcional.....	38
12. Variación de la conductividad eléctrica por grupo funcional.....	39
13. Comparación de nitrógeno total por grupo funcional.....	40
14. Cambio de carbono orgánico por grupo funcional.....	41
15. Modificación del fósforo disponible por grupo funcional.....	42
16. Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico equivalente (CICe) por grupo funcional.....	43
17. Índice de Shannon, índice de Simpson, riqueza y equidad de Pielou.....	44
18. Índice de Valor de Importancia de la fauna edáfica.....	46
19. Instalación de banner de tesis.....	67
20. Extracción de suelo de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, para determinar la densidad aparente.....	67
21. Extracción de suelo en el cuadrante 25 x 25 cm, para evaluar macrofauna edáfica.....	68
22. Búsqueda manual de macrofauna.....	68

23. Aplicación de alcohol 70° a la macrofauna encontrada.	69
24. Muestras de suelo en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la UNAS.	69

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar las características físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado que se encuentra en proceso de restauración dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) - Tingo María. Se ejecutó en una hectárea, conformada por un grupo funcional con diseño cuadrado y circular de 0,5 ha cada una. El diseño metodológico fue no experimental, de tipo comparativo, con muestreo estratificado, empleando puntos de muestreo aleatorios en cada parcela para analizar cada variable. Los resultados evidenciaron que las propiedades físicas del suelo presentaron textura franco, y una densidad aparente adecuada, lo que favorece la aireación y retención de humedad. En el aspecto químico, se observó un pH ligeramente ácido, contenido moderado de materia orgánica y una conductividad eléctrica baja, mientras que los nutrientes esenciales (N, P y K) mostraron valores variables entre parcelas. En el componente biológico, la macrofauna presentó diversidad moderada según el índice de Shannon-Wiener (H'), destacando Lumbricidae como grupo dominante en temporada lluviosa, y Formicidae y Termitidae en temporada seca. El Índice de Valor de Importancia (IVI) confirmó esta reconfiguración temporal de la comunidad edáfica. Estos hallazgos indican que la restauración con grupos funcionales influye positivamente en la mejora de la calidad del suelo y diversidad de macrofauna, resaltando la importancia de considerar la temporalidad en estudios de biodiversidad edáfica.

Palabras clave: grupo funcional, diversidad, fauna edáfica, índice de valor de importancia.

The Physical, Chemical and Biological Properties of Degraded Soil in the Restoration Process of the BRUNAS

Abstract

The objective of this research was to analyze the physical, chemical and biological characteristics of degraded soil that was found in the process of restoration within the Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS – acronym in Spanish) in Tingo María, [Peru]. It was carried out on one acre [of land], made up of a functional groups, with a square and circular design of 0.5 ac each. The methodological design was non-experimental, of a comparative type, with a stratified sample, using random sampling points for each plot in order to analyze each variable. The results evidenced that the physical properties of the soil presented a loamy texture and an adequate apparent density, which favored aeration and moisture retention. For the chemical aspect, it was observed that there was a slightly acidic pH, an average organic matter content and a low electrical conductivity, while the essential nutrients (N, P and K) showed variable values between the plots. For the biological component, the macrofauna presented moderate diversity, according to the Shannon-Wiener (H') index, [with] Lumbricidae standing out as the dominant group during rainy season and Formicidae and Termitidae during dry season. From the importance value indicator (IVI) this seasonal reconfiguration of the edaphic community was confirmed. These findings indicated that the restoration of the functional groups positively influenced the improvement in the quality of the soil and the diversity of the macrofauna, highlighting the importance of considering the seasonality for studies on edaphic biodiversity.

Keywords: functional group, diversity, edaphic fauna, importance value index.

I. INTRODUCCIÓN

Desde su existencia el hombre ha interactuado con la naturaleza, obteniendo de ella materia prima para saciar sus necesidades como: agua, abrigo, alimento, leña, medicina, etc., sin embargo, con el pasar de los años el aprovechamiento de estos fue de manera desmesurada, ocasionando la degradación de los recursos forestales y los suelos. En gran parte de la Amazonía peruana, los bosques a lo largo del tiempo vienen siendo perturbados por acciones antrópicas entre ellos: cambio de uso de suelo, deforestación, agricultura migratoria, instalación de monocultivos de palma aceitera, incendios ocasionales, etc., lo cual ocasiona que la productividad del suelo disminuya, reduciendo así la producción y predominancia de especies nativas. El Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) no es ajeno a esta realidad, de acuerdo con Puerta y Cárdenas (2012) el BRUNAS cuenta con 217,22 ha, de las cuales en la actualidad el área colindante con la población ha sido deforestada y degradada, donde solo predominan gramíneas que son indicadores de un suelo pobre o infértil asimismo, esta imposibilita la regeneración natural, invade a las plantas nativas y disminuye la cubierta forestal; una de las alternativas para poder recuperar la fertilidad de estos suelos es la instalación de especies de leguminosas, ya que estas ayudan en la fijación de nitrógeno a través de sus raíces, aplicación de abonos orgánicos, y otra alternativa es a través de la instalación de grupos funcionales de especies forestales, el cual permite diversificar especies nativas e incrementar la cobertura forestal y mejorar la calidad de los suelos.

A inicios del 2024, se ubicó y delimitó una parcela de 1 ha con cobertura de pasto en el BRUNAS, donde se instalarán grupos funcionales de especies forestales, con el objetivo de restaurar dicha área, son pocas las investigaciones respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas en un suelo degradado en proceso de restauración, por lo tanto, al ser los grupos funcionales una alternativa de restauración de áreas degradadas se formula la siguiente interrogante ¿Cuáles serán las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado en proceso de restauración? Y se plantea la siguiente hipótesis de investigación: las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo degradado en proceso de restauración mejorarán al pasar los años.

Bajo este contexto, la presente investigación buscará estudiar los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado, antes de la instalación de los grupos funcionales y a nueve meses después de la instalación de estos grupos funcionales, para ello se proponen los objetivos:

1.1. General

- Evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado en proceso de restauración en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS).

1.2. Específicos

- Determinar las propiedades físicas (densidad aparente, textura y color) de un suelo degradado en proceso de restauración.
- Determinar las propiedades químicas (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo disponible, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico) de un suelo degradado en proceso de restauración.
- Determinar la diversidad de macrofauna en un suelo degradado en proceso de restauración.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Suelo y degradación

Es una entidad natural conformada por capas que contienen una mezcla de materiales inorgánicos meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Se forma como resultado del trabajo conjunto entre el tiempo, topografía, clima, los organismos (incluyendo flora y fauna silvestre, además, la humanidad), y los minerales originarios. Es por ello, presenta características distintas a su material de origen, tales como variaciones en la textura, estructura, consistencia, color, asimismo, en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, constituye una unidad fundamental para la tierra y los ecosistemas, ya que interactúa con la cubierta forestal, agua, clima y las dinámicas sociales y económicas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2025). El suelo también es considerado un recurso no renovable con lento proceso de formación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2012).

2.1.1.1. Formación del suelo

Según la FAO (1996) el suelo tiene un proceso de formación fuertemente lento, el cual puede tardar cientos de años hasta alcanzar un espesor adecuado para sustentar a la mayor parte de los cultivos agrícolas y/o forestales. La formación comienza con la descomposición física de las rocas debido a factores como las variaciones de temperatura y la acción del agua. El calor provoca expansión y agrietamiento de las rocas, mientras que el agua infiltrada se congela durante la noche, expandiéndose y generando mayor presión, lo que acelera la fragmentación. Estos fragmentos son llevados por el viento y la lluvia, y se almacenan en las zonas más bajas. Los primeros organismos vegetales como musgos y plantas pequeñas colonizan el sustrato rocoso, y al morir, sus restos generan materia orgánica que libera ácidos naturales, contribuyendo a la alteración de la roca madre. Con el tiempo, se desarrollan comunidades edáficas de lombrices, insectos, bacterias y hongos, quienes descomponen el material orgánico y liberan minerales, mejorando la porosidad, estructura, y fertilidad en el suelo, permitiendo el crecimiento de vegetación más compleja.

La formación del suelo se inicia a partir de la descomposición de la roca madre ostentada en la superficie terrestre, como resultado de la acción física y química de diversos agentes, entre ellos la precipitación, el viento, la radiación solar y la actividad radicular de las plantas. Los líquenes y cianobacterias son los primeros colonizadores, liberando ácidos orgánicos que

disuelven lentamente la roca madre. La actividad de las raíces acelera este proceso, mientras que la existencia de plantas y la acumulación de la materia orgánica contribuyen a su formación. Este proceso es muy lento, y se estima que se necesitan de 100 a 400 años para la formación solo 1 cm de suelo; por ello, el suelo se clasifica como un recurso no renovable cuando se analiza en la escala temporal del ser humano. (SEMARNAT, 2012).

2.1.1.2. Funciones del suelo

Desde una perspectiva ambiental, se reconocen múltiples definiciones que resaltan la importancia fundamental del suelo en los procesos ecosistémicos, en virtud de las funciones y servicios que cumple, entre ellos la regulación y distribución del flujo hídrico, así como su capacidad para amortiguar los efectos de distintos contaminantes (SEMARNAT, 2012). El suelo cumple un rol fundamental en el equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas, al intervenir en procesos esenciales como los ciclos biogeoquímicos y la retención de agua.

Los servicios ambientales se entienden como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, los cuales se clasifican, según el *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, como componente esencial de estos ecosistemas, cumple un papel determinante en los tres primeros tipos de servicios, siendo indispensable para la sostenibilidad de la vida en el planeta. En relación con los servicios de soporte, el suelo proporciona una gran diversidad de microambientes que albergan organismos como bacterias, protozoos y nematodos, los cuales participan activamente en la descomposición de la materia orgánica y en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos.

De igual manera, contribuye al proceso de fijación del nitrógeno presente en la atmósfera, llevado a cabo por ciertas bacterias del suelo, y funciona como uno de los mayores reservorios de carbono terrestre, almacenando más carbono que la vegetación y casi el doble del que contiene la atmósfera, el cual ayuda con la mitigación del cambio climático (FAO, 2004). En lo que respecta a los servicios de regulación, el suelo posee la capacidad de retener y degradar compuestos tóxicos, evitando así su infiltración hacia los cuerpos de agua subterráneos. Asimismo, participa en la regulación del clima a través de su influencia en el ciclo hidrológico y el equilibrio térmico. Finalmente, los servicios de provisión se vinculan con la función del suelo como soporte para la producción de biomasa vegetal, fuente de alimentos, combustibles y fibras, además de albergar organismos útiles para la biotecnología y proveer

recursos como minerales, arenas y piedras preciosas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

2.1.1.3. Causas y tipos de degradación

Las actividades humanas han provocado múltiples impactos adversos sobre el suelo, entre los que destacan la erosión, la disminución de la materia orgánica, la compactación, la desertificación y la contaminación (Rodríguez & Ruíz, 2016). La degradación es producto de la transformación o alteración negativa que sufre este recurso debido a la interacción de factores naturales y, especialmente, por las actividades humanas. Encina & Ibarra (2000) señalan que este proceso afecta severamente la calidad de vida en la población, al reducir la productividad del suelo y alterar los ecosistemas.

a) Erosión del suelo: La erosión constituye una de las manifestaciones más comunes del proceso de degradación del suelo. Puede ser hídrica, cuando el agua arrastra partículas del suelo, o eólica, cuando el viento es el agente principal. Se estima que, a nivel mundial, se pierden aproximadamente 25 mil millones de toneladas de suelo cada año a causa de la erosión hídrica, mientras que la eólica afecta vastas regiones del mundo, como África y el Cercano Oriente, donde el viento no solo remueve la capa arable, sino que puede sepultar campos enteros (Encina & Ibarra, 2000).

b) Compactación del suelo: la compactación es un daño físico que se produce por el uso constante de maquinaria pesada o el pisoteo excesivo del ganado. Dicha situación provoca una reducción en la porosidad del suelo, limita tanto la aireación como la penetración del agua, y repercute negativamente en el desarrollo de las raíces, provocando una disminución del rendimiento agrícola (Encina & Ibarra, 2000).

c) Pérdida de materia orgánica: constituye un tipo de degradación biológica del suelo, porque reduce la aptitud del suelo para conservar la humedad y los nutrientes esenciales, afectando tanto la estructura como la actividad microbiana esencial para los ciclos biogeoquímicos (Encina & Ibarra, 2000).

d) Salinización: el exceso de sales en el perfil del suelo, especialmente en áreas agrícolas bajo riego, ocasiona estrés osmótico y daños en las raíces, lo que repercute negativamente en el rendimiento de los cultivos. La FAO estima que más de 952 millones de hectáreas están afectadas por este problema, lo que compromete su uso agrícola (Encina & Ibarra, 2000).

e) Desertificación: la desertificación es la etapa más avanzada de la degradación, especialmente en zonas secas. Es causada por la erosión prolongada, la pérdida de vegetación y el sobrepastoreo. Este proceso transforma suelos productivos en terrenos áridos e infértiles. Se estima que afecta a 3 200 millones de hectáreas y amenaza la subsistencia de más de 700 millones de personas (Encina & Ibarra, 2000).

f) Expansión urbana: muchas tierras agrícolas se pierden por su conversión en zonas urbanas, infraestructuras, minería o industrias. Esta expansión no planificada disminuye la superficie cultivable y con ello, la disponibilidad de alimentos y recursos naturales (Encina & Ibarra, 2000).

2.1.1.4. Impacto de la degradación en la fertilidad edáfica

La fertilidad edáfica es un elemento determinante en la capacidad productiva del suelo; sin embargo, su alto nivel no siempre se traduce en rendimientos superiores. Los nutrientes esenciales como: fósforo (P), potasio (K) y la materia orgánica suelen concentrarse en el horizonte A, correspondiente a la fracción superficial del perfil del suelo. La erosión de esta capa superior reduce significativamente la fertilidad edáfica, afectando directamente la capacidad productiva de los cultivos. Aunque el uso de fertilizantes y estiércol puede reponer parcialmente los nutrientes perdidos, esta estrategia solo resulta eficaz si el subsuelo presenta características físicas y químicas favorables para el desarrollo radicular. Por ello, es fundamental evitar la erosión para conservar la fertilidad edáfica y reducir el sometimiento de insumos externos (Al-Kaisi, 2002).

2.1.2. Procesos de restauración del suelo

2.1.2.1. Restauración ecológica

Según López (2002), la restauración del suelo representa el proceso inverso a su degradación. Señala además que los suelos degradados pueden regenerarse de manera natural cuando se eliminan los factores que originan la degradación; sin embargo, es indispensable implementar un sistema de manejo del suelo y del cultivo apropiado para revertir dicha tendencia.

2.1.2.2. Técnicas y estrategias para la restauración

Lal (2015) señala que una de las estrategias más efectivas para la restauración de suelos degradados es la agricultura de conservación, la cual fomenta prácticas como la labranza

mínima, la cobertura permanente del suelo y la rotación de cultivos. Estas acciones permiten disminuir la erosión, incrementar el contenido de materia orgánica y mejorar la estructura edáfica, favoreciendo así el restablecimiento del equilibrio físico, químico y biológico del suelo. Por su parte, la FAO (2021) resalta que la revegetación mediante la siembra de especies nativas o adaptadas constituye una técnica eficaz para estabilizar el suelo, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Las raíces de las plantas contribuyen a la agregación del suelo, mejoran su capacidad de retención hídrica y reducen el riesgo de erosión por escorrentía. Asimismo, en regiones tropicales se emplea con frecuencia la incorporación de abonos verdes y enmiendas orgánicas, prácticas que enriquecen la materia orgánica y estimulan la actividad biológica del suelo. Por otro lado, Brady y Weil (2017) sostienen que el uso de compost, estiércol y residuos vegetales no solo incrementa la fertilidad edáfica, sino que también ayuda a regular el pH y a mejorar la capacidad de intercambio catiónico.

Asimismo, Gardi *et al.* (2013), subrayan la importancia de la bioingeniería del paisaje, que emplea estructuras vivas o muertas, como barreras vegetales, zanjas de infiltración y terrazas, para reducir la escorrentía y controlar la erosión. Estas prácticas son particularmente útiles en zonas montañosas o con alta vulnerabilidad a procesos erosivos. Finalmente, Zuazo & Pleguezuelo (2008), proponen estrategias combinadas que integran enfoques agroforestales, prácticas de conservación de agua y suelos, y políticas de gestión comunitaria. Estas estrategias tienen un enfoque holístico y adaptativo, esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo en la restauración del suelo.

2.1.2.3. Importancia de la evaluación en procesos de restauración

La evaluación del suelo constituye una etapa esencial en la restauración ecológica, porque nos permite diagnosticar el estado actual del recurso, identificar los factores limitantes y establecer estrategias adecuadas de recuperación. Según Doran y Parkin (1994), la calidad del suelo se define por su capacidad de desempeñar funciones dentro de los límites de un ecosistema, permitiendo mantener la productividad biológica, conservar la calidad del agua y del aire, y promover la salud de las plantas y los animales.

Según FAO e Intergovernmental Technical Panel on Soils ([ITPS], 2015), el diagnóstico adecuado en el suelo permite conocer propiedades clave como: textura, estructura, pH, materia orgánica, y disponibilidad de nutrientes, factores determinantes para seleccionar las técnicas de restauración más eficaces. Asimismo, la evaluación permite establecer una línea base sobre la cual se podrán medir los cambios positivos o negativos generados por las intervenciones

restaurativas. Lal (2016) resalta que, en suelos degradados, la información obtenida mediante el análisis físico-químico y biológico del suelo puede indicar si la pérdida de funciones ecosistémicas es reversible o si se requiere una rehabilitación más intensiva. Además, contribuye a evitar el uso de prácticas inadecuadas que podrían agravar la degradación, como la incorporación de enmiendas en suelos con baja capacidad de retención o la revegetación en terrenos con baja disponibilidad de nutrientes.

Por otro lado, Karlen *et al.* (2003), proponen usar indicadores de calidad en el suelo (ICS) como instrumento de monitoreo. Estos indicadores permiten evaluar de forma cuantitativa y continua el progreso de la restauración, lo cual es esencial para una gestión adaptativa. La integración de datos edáficos con información ecológica y socioeconómica permite tomar decisiones más informadas y sostenibles.

2.1.3. Propiedades físicas del suelo

Según Ruiz (2016), las propiedades físicas del suelo corresponden a las características inherentes que influyen en el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, entre las cuales destacan la textura, estructura, color, densidad aparente, porosidad y contenido de humedad. Por su parte, Brady y Weil (2017) sostienen que dichas propiedades se relacionan con la organización y el comportamiento del suelo en función de su capacidad para sostener la vegetación, así como para almacenar y transferir agua, aire y calor. Estas incluyen atributos como la textura, densidad aparente, estructura, porosidad, consistencia, temperatura y color que inciden directamente en los procesos de crecimiento vegetal y dinámica en los ecosistemas terrestres.

2.1.3.1. Densidad aparente

Constituye un parámetro fundamental para evaluar la calidad y estructura del suelo, así como su función dentro del ecosistema. Valores elevados de este indicador reflejan condiciones desfavorables para el crecimiento radicular, una limitada aireación y una reducida infiltración del agua (Vargas, 2009). Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación ([SAGARPA], 2012), las variaciones de la densidad aparente se asocian con cambios en la estructura del suelo, producto de la relación existente entre esta propiedad y la porosidad total.

Tabla 1. Densidad aparente por tipo de suelo.

Tipo de suelo	Densidad aparente (g/cm ³)	Interpretación
Suelos arcillosos	1,00 – 1,30	Óptima para aireación y retención de agua.
Suelos francos	1,20 – 1,40	Buen equilibrio físico para raíces y microorganismos.
Suelos arenosos	1,40 – 1,60	Aceptable; valores mayores pueden limitar retención de humedad.
Suelos orgánicos (turba, humíferos)	0,10 – 0,80	Muy bajos por su alto contenido de materia orgánica.

Fuente: Brady & Weil (2008).

2.1.3.2. Textura

Jaramillo (2002) señala que la textura del suelo corresponde a la proporción relativa de las partículas menores de 2 mm de diámetro, conocidas como fracción fina del suelo, las cuales se clasifican según su tamaño en arena (A), limo (L) y arcilla (Ar). De manera complementaria, Brady y Weil (2017) definen la textura como la distribución porcentual de las partículas minerales de distintos tamaños arena, limo y arcilla que conforman el suelo. Esta propiedad determina su capacidad para retener agua, aire y nutrientes, además de influir en su manejo y productividad agrícola.

Tabla 2. Clase textural del suelo.

Clase textural	% Arena	% Limo	% Arcilla	Características generales
Arena	> 85	< 15	< 10	Suelo suelto, alta permeabilidad, baja retención de agua y nutrientes.
Franco arenoso	70–85	0–30	0–15	Moderada capacidad de retención, buen drenaje.
Franco	23–52	28–50	7–27	Textura equilibrada, buena retención de agua y nutrientes, buena aireación.
Franco limoso	< 50	> 50	< 27	Alta retención de agua, pobre drenaje.
Franco arcilloso	20–45	15–52	27–40	Buena fertilidad, retención moderada de agua, algo plástico.
Arcilloso	< 45	< 40	> 40	Pesado, plástico, baja aireación, alta retención de agua y nutrientes.

Fuente: United States Department of Agriculture ([USDA], 2017).

2.1.3.3. Porosidad

Según Zavaleta (1992), cuando el suelo recibe agua de riego o de precipitación, el aire presente en sus poros es desplazado y reemplazado temporalmente por el agua. A medida que esta se infiltra, evapora o es absorbida por las plantas, el aire vuelve a ocupar los espacios vacíos, lo que genera una fluctuación constante en la proporción relativa de agua y aire dentro del espacio poroso. Por su parte, Brady y Weil (2017) describen la porosidad del suelo como la fracción del volumen total ocupada por poros o cavidades, los cuales pueden contener agua o aire. Esta propiedad se encuentra estrechamente vinculada con la textura y estructura del suelo, y desempeña un papel determinante en el drenaje, la aireación, la retención de humedad y, en consecuencia, en el crecimiento vegetal y la actividad biológica.

Tabla 3. Relación clase textural y porosidad.

Clase textural	Densidad aparente	Porosidad (%)
Arenoso	1,6 – 1,8	30 – 35
Franco arenoso	1,4 – 1,6	35 – 40
Franco	1,3 – 1,4	40 – 45
Franco limoso	1,2 – 1,3	45 – 50
Arcilloso	1,0 – 1,2	50 – 55

Fuente: (USDA, 1999).

2.1.3.4. Color del suelo

Domínguez *et al.* (2012), refieren que la coloración está directamente relacionada con: materia orgánica, textura, composición mineralógica, morfología. Por su lado, Brady & Weil (2017), refieren que es una propiedad física que se utiliza como indicador de sus características y procesos de formación, ya que refleja la composición mineralógica, contenido de materia orgánica, óxido de hierro y las condiciones de drenaje y generalmente se determina mediante la comparación con la Carta de Colores Munsell para suelos. Asimismo, Sánchez (1976), Schaetzl y Anderson (2005), refieren que es uno de los rasgos más visibles, pues permite inferir óxidos de hierro y condiciones de humedad o drenaje. Mientras que el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2008) sostiene que el color es un criterio indispensable en la descripción morfológica de perfiles, proporcionando información clave sobre el grado de evolución y los procesos pedogenéticos que inciden en la formación del suelo.



Figura 1. Tabla Munsell.

2.1.4. Propiedades químicas del suelo

2.1.4.1. Conductividad eléctrica

Constituye una medida indirecta de la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Expresa la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica y está determinada principalmente por la cantidad de iones, así como por las condiciones de humedad y temperatura (Rhoades et al., 1999). Esta propiedad se emplea como un indicador de la fertilidad del suelo y de posibles problemas de salinidad que pueden limitar la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de las plantas. Según Espinoza et al. (2012), la conductividad eléctrica se utiliza principalmente para estimar el riesgo potencial de daño a los cultivos debido a la acumulación de sales, cuyos valores pueden variar espacial y temporalmente en función de la precipitación y otros factores ambientales.

Tabla 4. Conductividad eléctrica.

Conductividad eléctrica (dS/m)	Clase de salinidad
$0 < 2$	No salino
$2 < 4$	Muy ligeramente salino
$4 < 8$	Ligeramente salino
$8 < 16$	Moderadamente salino
≥ 16	Fuertemente salino

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes ([LASPAF – UNALM], 2018).

2.1.4.2. El pH

El pH refleja su grado de acidez o alcalinidad, determinado por la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo. Esta propiedad química influye directamente en la solubilidad y disponibilidad de los nutrientes, así como en la actividad microbiana y en los procesos de descomposición de la materia orgánica, por lo que constituye un indicador esencial de la fertilidad y del equilibrio químico del suelo (Brady & Weil, 2017). En zonas con alta pluviosidad, el lavado de las bases favorece la acidificación del suelo (pH entre 4,0 y 6,5), lo que incrementa las concentraciones de aluminio y manganeso solubles; estos elementos, al ser absorbidos por las raíces, pueden generar toxicidad y reducir la disponibilidad de fosfatos ([SAGARPA], 2012). De acuerdo con el INIA (2008), el pH es un factor determinante para la absorción de nutrientes y el desarrollo adecuado de la biota edáfica.

Tabla 5. Clasificación de potencial de hidrógeno (pH).

pH	Clasificación de suelo
<5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,0	Neutro
7,1 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
>8,5	Fuertemente alcalino

Fuente: LASPAF – UNALM.

2.1.4.3. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo proviene de la descomposición de restos vegetales y animales, así como de la actividad biológica de los organismos que lo habitan, como microorganismos, lombrices e insectos. Su transformación es el resultado de diversos procesos físicos y químicos, entre ellos la desintegración mecánica, la oxidación y la hidrólisis, los cuales actúan bajo la influencia de factores ambientales como la lluvia, el pH, el viento y las variaciones de temperatura (SAGARPA, 2012). Según el INIA (2008), la materia orgánica está compuesta por residuos de origen vegetal y animal en diferentes grados de descomposición, y cumple un papel fundamental en la fertilidad del suelo, al mejorar su estructura, aumentar la capacidad de retención de agua y contribuir al suministro de nutrientes esenciales.

Tabla 6. Interpretación de la materia orgánica.

Clasificación	Materia orgánica (%)
Bajo	< 2,0
Medio	2,0 – 4,0
Alto	> 4,0

Fuente: LASPAF – UNALM.

2.1.5. Propiedades biológicas del suelo

2.1.5.1. Macrofauna edáfica e importancia

La macrofauna edáfica se refiere al conjunto de organismos invertebrados del suelo cuyo tamaño corporal es superior a los 2 mm, como lombrices de tierra, escarabajos, hormigas, termitas, miriápodos y otros artrópodos (Lavelle *et al.*, 2006). Estos organismos desempeñan funciones esenciales para la conservación en la estructura y fertilidad en el suelo. Gliessman (2002), indica que en el suelo existen organismos o fauna edáfica, quienes cumplen el rol más importante en el ciclaje de nutrientes; asimismo, Cruz *et al.* (2004), indican que los organismos cumplen función de desintegración de los residuos vegetales, además, son los responsables de la respiración del suelo.

Según Jaramillo (2002), la biota del suelo está conformada por el conjunto de organismos de fauna y flora que habitan en él. La mayoría de estos organismos se localiza en las capas superficiales del *litter* (restos vegetales frescos), donde las condiciones de humedad, temperatura, ventilación y disponibilidad de espacio son más favorables para su desarrollo. Por su parte, Decaëns *et al.* (2006) señalan que la macrofauna cumple el papel de “ingeniera del ecosistema”, al intervenir activamente en la fragmentación de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la formación de poros que favorecen la infiltración del agua y la aireación del suelo. La presencia y diversidad de esta biota están directamente relacionadas con la salud del ecosistema edáfico y su capacidad de resiliencia frente a procesos de degradación.

2.1.5.2. Rol ecológico de la fauna del suelo

Diversos grupos de macrofauna como lombrices, insectos, miriápodos y arácnidos cumplen roles ecológicos clave en la dinámica del suelo. Las lombrices de tierra, por ejemplo, son consideradas bioindicadores por excelencia debido a su capacidad para mezclar horizontes, estabilizar agregados y mejorar la disponibilidad de nutrientes (Edwards & Bohlen, 1996). Los miriápodos y coleópteros contribuyen en la degradación de restos de plantas, favoreciendo la

formación de humus (Brussaard, 1997), mientras que las hormigas y termitas influyen en la redistribución de materia orgánica y en la mejora de la porosidad del suelo. Según Lavelle *et al.* (2006), estas especies forman parte de redes tróficas complejas y su desaparición puede generar efectos negativos en cascada sobre otros componentes del suelo

De acuerdo con Porta *et al.* (2003), se pueden clasificar en:

- a) **Microorganismos:** son aquellos organismos del suelo con un tamaño menor a 0,2 mm, entre los que se incluyen bacterias, hongos, algas y protozoos.
- b) **Mesoorganismos:** corresponden a los organismos con tamaños comprendidos entre 0,2 mm y 6 mm, como los ácaros y colémbolos.
- c) **Macroorganismos:** son los organismos de mayor tamaño, superiores a 6 mm, dentro de los cuales se encuentran las lombrices, termitas, hormigas y otros invertebrados del suelo.

2.1.5.3. Indicadores biológicos de calidad del suelo y procesos de restauración

Los indicadores biológicos son herramientas que admiten evaluar la salud del suelo a través del estudio de sus comunidades vivas. Entre ellos, la diversidad y abundancia de macrofauna edáfica se han utilizado ampliamente como indicadores sensibles a procesos de degradación y restauración (Parisi *et al.*, 2005). Según Ritz *et al.* (2009), la recuperación de la actividad biológica del suelo es un buen predictor del éxito de programas de restauración ecológica. Estos indicadores permiten detectar variaciones en la calidad del suelo antes de evidenciar en sus propiedades físicas o químicas. Así, su uso contribuye a una evaluación integral del proceso de restauración y a una gestión sostenible del recurso edáfico.

2.1.6. Restauración de suelos

Esta es definida como el conjunto de prácticas y procesos que buscan recuperar las funciones ecológicas, físicas, químicas y biológicas de suelos que han sido degradados por el uso inapropiado del suelo, y la contaminación o la erosión severa (Lal, 2015). Según la FAO & ITPS (2015), este proceso forma parte integral de la restauración de ecosistemas y tiene como fin restablecer la salud del suelo para que pueda sostener la producción, biodiversidad y servicios ambientales.

2.1.6.1. Importancia

La restauración del suelo, es esencial para contribuir a la atenuación del cambio climático, mediante el aumento de captura de carbono, y para la conservación de la biodiversidad (Lal, 2015). Bastida *et al.* (2008), sostiene que un suelo restaurado puede recuperar su capacidad para ciclar nutrientes, filtrar contaminantes, regular el agua y sostener comunidades biológicas, aspectos fundamentales para la resiliencia ecológica. Además, suelos restaurados son más capaces de resistir eventos extremos como sequías o lluvias intensas (Rodríguez & Ruiz., 2016).

2.1.6.2. Proceso de restauración del suelo

El proceso de restauración inicia con un diagnóstico integral que evalúa su grado de degradación, identificando limitaciones físicas (como la compactación), químicas (como la inestabilidad de nutrientes) y biológicas (como la reducción de la biodiversidad edáfica) (Bünemann *et al.*, 2018). Con base en este diagnóstico, se seleccionan estrategias específicas, entre ellas:

- a) Incorporación de materia orgánica (compost, estiércol, biochar).
- b) Siembra de coberturas vegetales para controlar la erosión.
- c) Enmiendas químicas para corregir pH y deficiencias nutricionales.
- d) Reintroducción de microorganismos beneficiosos del suelo.

Según Borrelli *et al.* (2020), estas acciones deben realizarse de forma progresiva, evaluando constantemente los indicadores de calidad del suelo, para ajustar las intervenciones.

2.1.6.3. Factores que intervienen en la restauración

Diversos factores condicionan la efectividad de la restauración de suelos. Entre los más importantes están las condiciones climáticas, la topografía, la textura y disponibilidad de recursos técnicos y financieros (Lal, 2016). A nivel edáfico, la composición y estructura del horizonte influyen directamente en la capacidad de recuperación. Por ejemplo, suelos con subsuelos compactos o poco fértiles dificultan el restablecimiento de la productividad, incluso con altos insumos (Al-Kaisi, 2002). Además, aspectos socioeconómicos, como el acceso de los agricultores a tecnologías adecuadas, el conocimiento tradicional y las políticas públicas, también juegan un rol decisivo. Como señala Ruiz (2016), el enfoque de restauración debe ser integral, adaptado al contexto local y con participación de las comunidades involucradas.

2.1.7. Calidad del suelo

El concepto de calidad del suelo está relacionado con la productividad biológica sostenible, entendida como la capacidad de producir sin perder dichas propiedades (físicas, químicas y biológicas), reduciendo la contaminación ambiental y conservando la salud de las plantas, animales y personas (Doran y Parkin, 1994). Por su parte, Parr *et al.* (1992) señalan que las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo interactúan de manera compleja, determinando su capacidad productiva; en este sentido, la integración de dichas propiedades y el nivel de productividad se conoce como calidad del suelo. Asimismo, Abi-Saab (2012) menciona que los hitos de la calidad se agrupan en cuatro categorías: (físicos, químicos, biológicos y visuales). Finalmente, el Ministerio de Agricultura ([MINAG], 2011) y Martínez *et al.* (2014) destacan que la fertilidad del suelo resulta de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales determinan el adecuado desarrollo de las plantas.

2.1.8. Suelo degradado

Ramírez *et al.* (2011) señalan que la degradación del suelo ocurre principalmente por acciones de origen antropogénico, lo que reduce significativamente su capacidad productiva. En esta misma línea, la FAO (2020) define la degradación del suelo como un cambio negativo en su estado de salud, que disminuye la aptitud del ecosistema para generar bienes y servicios, en contraste con un suelo sano. Por su parte, López (2002) sostiene que dicha degradación se debe al uso y aprovechamiento excesivo de las funciones naturales del suelo. De manera complementaria, Gacitúa (2017) considera la degradación del suelo como un proceso continuo de deterioro, que constituye un problema de preocupación tanto a nivel nacional como internacional. Finalmente, Vargas y Valdivia (2005) advierten que los suelos pueden requerir al menos una década para recuperar de manera natural sus características físico-químicas y biológicas.

2.1.9. Propiedades del suelo

Sepúlveda (2005) sostiene que las propiedades del suelo comprenden su estructura física, así como su composición química y biológica, las cuales están determinadas por factores como el tipo de material geológico, la cobertura vegetal, la topografía y las actividades humanas. En esa misma línea, Curry (1987) afirma que las propiedades físico-químicas del suelo pueden afectar directamente a la fauna edáfica, debido a variaciones en el contenido de materia orgánica, la humedad, el pH y la aireación.

2.2. Estado de arte

2.2.1. A nivel internacional

Liu *et al.* (2025) realizaron un estudio en la meseta de Zoige, ubicada en China, que alberga la turbera alpina más extensa del mundo, con la finalidad de evaluar el efecto de la restauración ecológica en la diversidad vegetal, la composición de especies y la asignación de biomasa en turberas naturales, drenadas y rehumedecidas. El análisis incluyó variaciones microtopográficas (huecos y montículos) para entender su influencia en dichos parámetros. Los resultados mostraron que las turberas rehumedecidas presentaron un contenido de agua del suelo significativamente mayor que las turberas naturales, aunque la profundidad del nivel freático no mostró diferencias relevantes. Si bien la diversidad vegetal no fue directamente afectada por el tipo de manejo, la microtopografía influyó considerablemente en la riqueza, dominancia, índice Shannon-Wiener y uniformidad de especies. Asimismo, la biomasa aérea fue mayor en turberas drenadas y rehumedecidas, mientras que la biomasa subterránea disminuyó, especialmente en los montículos. El estudio concluyó que la rehumidificación mejora algunas condiciones del ecosistema, pero no restituye completamente su estructura original, subrayando la importancia de estrategias de restauración adaptadas para fortalecer la resiliencia de estos ecosistemas en China.

Ramos *et al.* (2025), en un estudio desarrollado Mata Atlántica, al sureste de Brasil, compararon la macrofauna y las propiedades físico-químicas del suelo entre un sistema agroforestal con 8 años de implementación y un bosque secundario con 28 años de regeneración. Para ello, se realizaron muestreos durante las temporadas seca y lluviosa, analizando valores de fertilidad del suelo, fracción materia orgánica y diversidad biológica edáfica. Como resultado, se evidenciaron una mayor abundancia e índices de diversidad de macrofauna, mayor contenido de arcilla, humedad, cationes básicos y carbono orgánico lábil en las parcelas de sistemas agroforestales. Además, observaron una fuerte correlación entre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo en dichas áreas, el cual refleja que el manejo agroforestal puede ser tan eficiente o incluso superior al de áreas de bosque secundario en términos de mejoramiento en la calidad del suelo y servicios ambientales.

Souza *et al.* (2024), en una investigación desarrollada en el sureste de Brasil, evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo en cultivos de café *Coffea canephora* (Conilon) bajo sombra de macadamias y cocoteros enanos verdes. El estudio consideró tres tratamientos (café entre hileras, café en la misma hilera de árboles y café sin sombra) utilizaron

un diseño completo al azar con cuatro réplicas. Sus resultados reflejaron que el café intercalado con macadamias, tanto entre como en las hileras, generó una menor compactación en el suelo a diferencia del sistema sin sombra. Además, se observaron mejoras en las propiedades químicas, como el incremento en la fertilidad, así como una mayor presencia de organismos del suelo en los sistemas intercalados. Estos hallazgos sugieren que el cultivo intercalado, especialmente con macadamias, representa una alternativa efectiva para sostenibilidad del suelo así como la restauración de su calidad.

Sandoval-García *et al.* (2022), evaluaron estrategias de restauración ecológica en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, ubicado en México. El estudio abordó la problemática común de baja supervivencia y abandono de las reforestaciones en el país, destacando que un proceso de restauración efectivo debe considerar las prioridades que afronta el ecosistema, así como diseño estratégico, ejecución adecuada y monitoreo constante. Probaron diversas estrategias: nucleación, asociación de los grupos funcionales. Los resultados evidenciaron el incremento notorio en la supervivencia de las plantas (92%), mejoras en la infiltración y reducción del estrés acuático. Se observaron beneficios del uso de mallas atrapaniebla, que condensaron en promedio 0,8 L/m²/día, y redujeron en 70% la iluminancia. El hidrogel demostró ser menos eficaz en zonas de baja precipitación por su necesidad de hidratación constante. Además, la translocación de suelos y la asociación funcional según Anderson mejoraron la fijación de nitrógeno y otros macronutrientes esenciales. El estudio destaca la importancia de integrar múltiples estrategias adaptadas a las condiciones locales para lograr restauraciones exitosas en ecosistemas forestales mexicanos.

Leoni *et al.* (2020), realizó su estudio por seis años en la Estación Experimental INIA Las Brujas (Uruguay), evaluaron el resultado de tres estrategias de manejo hortícola en la salud de un suelo altamente degradado, con el objetivo de determinar su impacto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, asimismo, en la productividad de cultivos como remolacha (*Beta vulgaris*). Para ello, compararon tres tratamientos: manejo convencional (MC), convencional mejorado (MCM) y optimizado, junto a un área imperturbado; cada tratamiento incluyó el cultivo con laboreo y fertilización diferenciada, aplicándose ANOVA y prueba de Tukey para identificar diferencias significativas. Como resultado, el MO mostró mejoras destacadas en las propiedades físico-químicas: agregados >2 mm (4,5%), pH (6,7), carbono lábil (488,7 mg C/kg), carbono orgánico (1,44%), fósforo disponible (141,8 µg/g) y potasio (0,30 meq/100 g), superando ampliamente al MC, que presentó valores menores como pH (5,5),

carbono lábil (224,5 mg C/kg) y fósforo disponible (14,6 µg/g). En cuanto a las propiedades biológicas, el MO mostró una tasa de respiración microbiana de 0,029 mg CO₂/g suelo/día y una mayor riqueza genética (1049,1 en 16S rARN), mientras que el MC solo alcanzó 0,015 mg CO₂/g suelo/día y una riqueza de 754,5. Además, el rendimiento en la remolacha fue significativo en los tratamientos de restauración (MCM y MO) en comparación con el MC. Concluyeron que las prácticas que utilicen abonos verdes, estiércol y compost contribuyen a la restauración progresiva en la salud del suelo y la mejoría del microbioma, aunque todavía se requieren más años de restauración para igualar plenamente los valores del suelo imperturbado.

Ortiz (2016), en su estudio realizado en México, evaluó el impacto de *Eucalyptus camaldulensis* y *Opuntia ficus-indica*, en las propiedades y químicas del suelo (N, P, K, P, materia orgánica [MO] y pH); para ello estableció tres rodales (dos con *O. ficus-indica* y una con *E. camaldulensis*) y comparó medias para determinar diferencias a través de un ANOVA. Como resultado obtuvo que las especies sí tienen influencia sobre las propiedades del suelo, *E. camaldulensis* aportó materia orgánica a partir de la hojarasca y ritidoma, por otro lado, *O. ficus-indica* disminuyó el nitrógeno; finalmente, concluyó que el impacto de la combinación de *E. camaldulensis* y *O. ficus-indica* en las propiedades físicas y químicas del suelo fue poca.

Lahuatte y Recalde (2015), en un estudio realizado en Ecuador, evaluaron la efectividad de diversas técnicas de restauración en la recuperación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en parcelas piloto ubicadas en dos predios: Antisana-Contadero y Mudadero. Para determinar el nivel inicial de degradación, recopilaron información secundaria proporcionada por el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). Posteriormente, caracterizaron las condiciones actuales del suelo mediante muestreos realizados en las parcelas previamente instaladas por el CONDESAN, cuyas muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis. Los resultados indicaron que no se registraron variaciones significativas que permitieran determinar la viabilidad de aplicar las técnicas de restauración a macroescala. Finalmente, los autores concluyeron que las propiedades fisicoquímicas del suelo en ambos predios podrían deteriorarse o mantenerse en el tiempo, y recomendaron que los parámetros sean evaluados a largo plazo para determinar con mayor precisión la efectividad de las estrategias de restauración.

2.2.2. A nivel nacional

Tocto (2025) realizó una investigación en plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth de 1,5, 2 y 5 años en Tulumayo, distrito de Pueblo Nuevo, Huánuco, con el objetivo de analizar la relación entre la macrofauna y las propiedades físicas y químicas del suelo. El estudio se efectuó mediante el método de monolitos en tres profundidades (0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm) y dos evaluaciones. Se identificaron 23 y 25 especies o familias de macrofauna, con 819 y 851 individuos, respectivamente. Los índices de Margalef y Shannon-Weaver mostraron baja diversidad alfa, mientras que Simpson indicó heterogeneidad y Pielou reflejó desigual distribución de especies. La mayor similitud se registró en el estrato 0–10 cm entre las parcelas P1–P3 y P1–P2, donde también se obtuvo la mayor densidad y biomasa de macrofauna. En cuanto a las propiedades químicas, el pH fue ligeramente ácido, la materia orgánica aumentó en la segunda evaluación y el nitrógeno mejoró con el tiempo, mientras que el fósforo varió entre parcelas y el sodio se mantuvo bajo. Las correlaciones entre macrofauna y propiedades del suelo fueron débiles, sugiriendo influencia de otros factores ambientales.

Fernández (2024), llevó a cabo un estudio orientado a analizar las características fisicoquímicas del suelo y la diversidad de macrofauna en tres sistemas de uso del suelo: agroforestal, excocal y bosque primario, ubicados en el caserío Cajatambo, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín. En todos los sistemas se determinó una textura franco-arcillosa, observándose las mejores condiciones físicas en el bosque primario, con una densidad aparente de 1,45 g/cm³ y una resistencia a la penetración de 1,64 kg/cm². Este sistema también registró los valores más elevados de pH (5,97), nitrógeno (0,07 %), materia orgánica (1,25 %) y capacidad de intercambio catiónico (7,17 cmol(+)/kg). Por el contrario, el sistema agroforestal presentó mayores concentraciones de fósforo (24,68 ppm) y potasio (76,32 kg K₂O/ha). Se identificaron 15 órdenes de macrofauna, siendo Isóptera y Haplotaxida los grupos más representativos en el sistema agroforestal, mientras que el bosque primario exhibió la mayor diversidad biológica ($H^{\prime}=0,91$). Asimismo, se encontraron correlaciones positivas moderadas entre la macrofauna y algunas propiedades edáficas: la densidad aparente en el sistema excocal ($r=0,51$), la resistencia a la penetración en el agroforestal ($r=0,49$) y el potasio disponible en el bosque primario ($r=0,51$), evidenciando diferencias significativas entre los sistemas en función de sus atributos físicos, químicos y biológicos.

Rodríguez (2024), en un estudio realizado en escombreras degradadas por minería en Chongos Alto – Huancayo, evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo bajo

plantaciones de *Polylepis incana* y *Buddleja coriácea*, en comparación con escombreras sin plantaciones. Muestrearon a 0–30 cm y 30–60 cm de profundidad. Los suelos con plantaciones mostraron ligeros aumentos en arcilla (35,6% en *P. incana*, 35,3% en *B. coriácea*) y limo (23,3% y 23,6%) respecto al testigo, cambiando la textura de franco-arcillo arenoso a franco arcilloso. La densidad aparente fue mayor en *P. incana* (1,11 g/cm³) y aumentó con la profundidad. La porosidad fue similar entre tratamientos (50,8–52,8%) pero mayor en la capa superficial. En propiedades químicas, registraron mayores concentraciones de materia orgánica (1,53% en *P. incana*, 0,96% en *B. coriácea*) y nitrógeno total (36,01 y 32,16 mg/kg) frente al testigo (0,67% MO, 15,91 mg/kg N). El fósforo fue más alto en *B. coriácea* (8,06 mg/kg) y el potasio en *P. incana* (192,73 mg/kg). Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas, se observó ligera mejora del pH (6,32–6,48) y reducción de la acidez. Sin embargo, la CIC fue menor en suelos con plantaciones (22,6–23,4 meq/100g) frente al testigo (33,4 meq/100g). Se concluyó que estas especies nativas ayudan parcialmente a mejorar suelos degradados tras tres años de plantación.

Chávez (2023), en su estudio realizado en el caserío Nuevo Rondos, distrito de Monzón, evaluó la influencia de cuatro sistemas de uso de suelo (cultivo de coca, sistema agroforestal, plantación de *Inga edulis* y bosque secundario) en las propiedades físicas, químicas y biológicas, para determinar su efecto en la recuperación de un suelo degradado. Los resultados mostraron en cuanto a las propiedades físicas, la textura del suelo varió desde franco arcillo arenoso (bosque secundario) hasta franco arcilloso (cultivo de *E. coca*); la densidad aparente más alta se registró en el bosque secundario (1,79 g/cm³) y la mayor resistencia a la penetración en la parcela de *E. coca* (2,20 kg/cm²). En las químicas el bosque secundario presentó mayor promedio de pH (5,38), 2,24% de materia orgánica, 0,11% de nitrógeno disponible y 144,40 kg ha⁻¹ de potasio disponible, mientras que el fósforo disponible alcanzó su mayor valor en la parcela agroforestal (5,96 ppm). Respecto a las propiedades biológicas, la mayor abundancia (684 ind/m²), biomasa (34,20 g/m²), riqueza (11 órdenes), índice de Shannon-Wiener (3,04) e índice de equidad (1,27) registraron en el bosque secundario, donde se identificaron órdenes como Orthoptera, Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Diplopoda, Araneae, Acari, entre otros. Concluyó que los sistemas agroforestales y el bosque secundario contribuyen positivamente a recuperar los suelos degradados, mejorando sus propiedades.

Martínez (2019) analizó la relación entre la macrofauna del suelo y sus propiedades fisicoquímicas en tres sistemas de uso (bosques secundarios, cultivos de café y cacao) en seis

localidades del distrito de Monzón, provincia de Huamalíes. Los suelos mostraron texturas entre franco y arcilloso, con porosidad de 43,40 % a 75,85 %, densidad aparente de 0,64 a 1,50 g/cm³, temperaturas de 21,8 °C a 36 °C y pendientes entre 5 % y 51 %. En el aspecto químico, el pH varió de 3,77 a 6,94, la materia orgánica de 1,96 % a 8,37 %, el nitrógeno de 0,09 % a 0,38 %, el fósforo de 0,47 a 9,82 ppm y el potasio de 65,97 a 207 ppm. Además, se registraron valores de CICE entre 7,74 y 22,1 cmol(+)/kg, CIC total entre 13,96 y 16,67 cmol(+)/kg, y calcio entre 4,92 y 13,38 cmol(+)/kg. En cuanto a la macrofauna, la diversidad según el índice de Shannon-Wiener fue de $H' = 1,72$ en bosques secundarios, $H' = 1,71$ en café y $H' = 1,69$ en cacao. Se planteó un modelo matemático que relaciona la abundancia de macrofauna con la CIC, potasio, calcio y factores ambientales, evidenciando la influencia de las propiedades del suelo en su diversidad y distribución.

Lipa (2017) llevó a cabo un estudio en la concesión minera “Sol Naciente V”, que abarca 1 000 hectáreas de bosque tropical en el departamento de Madre de Dios, con el propósito de caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo, así como la vegetación de referencia, para proponer un modelo de restauración ecológica. En su análisis, se recolectaron seis muestras de suelo de 1 kg cada una, evaluando parámetros como humedad, materia seca, contenido de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅), potasio (K₂O), materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, se determinaron las características texturales mediante los porcentajes de arena, limo y arcilla, clasificando la textura del suelo según su proporción granulométrica), Intercambio (Ca, Mg, K, Na, Al). De acuerdo con el nivel nutricional de los suelos; finalmente, concluyó que es un suelo bueno, con pH casi neutro, bajo contenido de Al, baja materia orgánica, alto nivel de Ca, textura: limosa y franco limoso, asimismo, no encontró diferencias estadísticas ni significativas.

Quinto (2016) llevó a cabo un estudio en el distrito de José Crespo y Castillo con el propósito de analizar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en tres sistemas de uso de la tierra: ex cocal, bosque primario y sistema agroforestal. La investigación permitió comparar las condiciones edáficas entre los distintos usos, evidenciando diferencias en la estructura, fertilidad y actividad biológica del suelo, lo que refleja la influencia del manejo y del tipo de cobertura vegetal en su calidad. Cada sistema se evaluó mediante parcelas experimentales, donde se recolectaron muestras a distintas profundidades. El sistema agroforestal mostró una textura franco limosa, pH cercano a la neutralidad y alta concentración de fósforo, al igual que el bosque primario. El índice Shannon-Wiener reveló que el sistema

agroforestal presentó una diversidad significativamente mayor respecto al ex cocal y bosque primario. Además, la diversidad fue mayor en los primeros 10 cm del ex cocal y entre los 10 y 20 cm en el agroforestal. Se observaron correlaciones negativas entre la diversidad biológica del suelo y variables como arena, arcilla y potasio, mientras que el contenido de limo, el pH, el nitrógeno, el fósforo y la capacidad de intercambio catiónico presentaron correlaciones positivas, evidenciando la influencia del tipo de uso del suelo en su calidad

Castillejos (2015) llevó a cabo una investigación en el distrito de Chinchao, Huánuco, con el propósito de evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo antes y después del establecimiento de plantaciones forestales de *Ochroma pyramidale* y *Cecropia engleriana*, así como el incremento en altura de las especies. Se delimitaron nueve subparcelas de 10 m × 10 m bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA): tres testigos, tres con *O. pyramidale* y tres con *C. engleriana*. Se tomaron nueve muestras de suelo antes y después de la instalación y se aplicó un ANOVA para verificar diferencias significativas. Los resultados mostraron que la textura del suelo permaneció franco arcillosa y con consistencia dura. En el caso de *C. engleriana*, el pH aumentó de fuertemente ácido (4,85) a medianamente ácido (5,02), y la materia orgánica pasó de nivel bajo (1,81%) a medio (2,01%). Los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y CICE no variaron significativamente. La densidad de macrofauna aumentó de 139 a 195 ind/m² en *C. engleriana* y de 133 a 147 ind/m² en *O. pyramidale*. Asimismo, el índice de Shannon-Wiener pasó de 1,53 a 2,01 y de 1,52 a 1,82 nats/ind, respectivamente, evidenciando mejoras en la calidad biológica del suelo y en el crecimiento de las especies.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se desarrolló en una superficie de una hectárea dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), cuya cobertura predominante correspondió a *Brachiaria mestizo* (pasto tropical). El sitio de estudio se encuentra a 1,21 km de distancia, margen izquierda en la carretera central Tingo María – Huánuco.

3.1.1. Ubicación política

- Ciudad : Tingo María
- Distrito : Rupa Rupa
- Provincia : Leoncio Prado
- Región : Huánuco

3.1.2. Ubicación geográfica

Tabla 7. Coordenadas proyectadas de la parcela de investigación.

Vértice	Coordenada UTM		Zona	Datum
	Este	Norte		
V1	390524	8971081	18 S	WGS 84
V2	390599	8971004	18 S	WGS 84
V3	390531	8970938	18 S	WGS 84
V4	390456	8971014	18 S	WGS 84

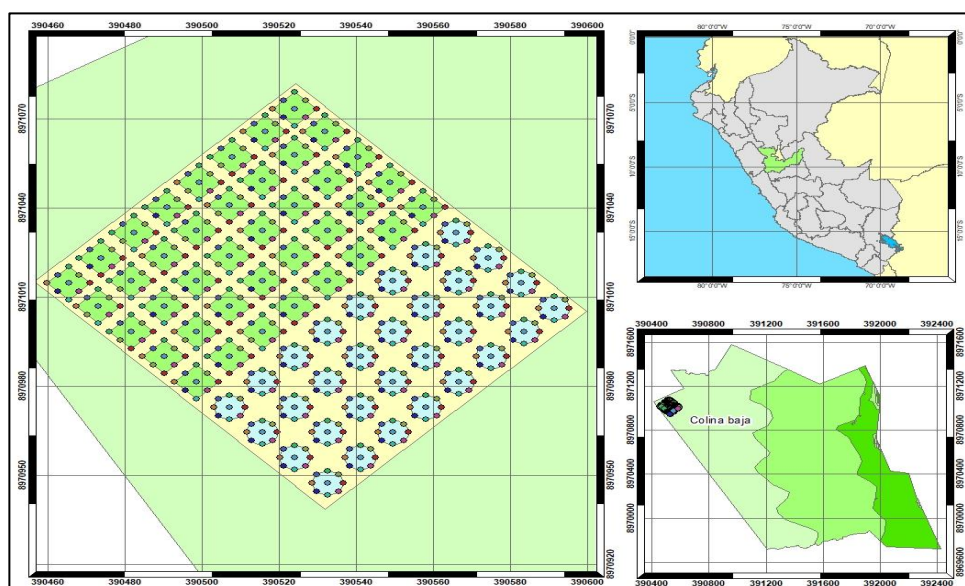


Figura 2. Mapa de ubicación.

La parcela presentó cobertura vegetal mixta, predominando *Brachiaria mestizo* (pasto tropical), que representó el 70%, especie tolerante a suelos ácidos y de baja fertilidad; el 30% por vegetación secundaria, destacando *Bellucia pentamera* Naudin (manzanita tropical) y *Aniba guianensis* Aubl. (moena amarilla), especies comúnmente asociadas a suelos de baja fertilidad. Además, se instalaron grupos funcionales de especies forestales para incrementar la cobertura boscosa y acelerar la recuperación de la calidad del suelo, en total fueron instalados 40 grupos funcionales con diseño cuadrado (4×4 m) y 32 con diseño circular con un radio de 4 m; para ello se utilizaron nueve especies forestales, las cuales se detallan en la **Tabla 8**, asimismo, la dispersión espacial de estos grupos funcionales y las especies instaladas se presenta en la **Figura 3**. Por otro lado, cabe precisar que la instalación de estos grupos se ejecutó en abril de 2024, además, no se evidenciaron estudios anteriores en restauración de esta área.

Tabla 8. Especies forestales de los grupos funcionales.

Especie	Nombre vulgar	Familia
<i>Macrolobium acaciifolium</i> (Benth.) Benth.	Pashaco	Fabaceae
<i>Ocotea aciphylla</i> (Ness & Mart.) Mez	Alcanfor moena	Lauraceae
<i>Virola multinervia</i> Ducke	Cumala	Myristicaceae
<i>Genipa americana</i> L.	Huito	Rubiaceae
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Tornillo	Fabaceae
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) SFBlake	Pino chuncho	Fabaceae
<i>Averrhoa bilimbi</i> L.	Limón chino	Oxalidaceae
<i>Aniba guianensis</i> Hemsl	Moena amarilla	Lauraceae
<i>Inga edulis</i> Mart.	Guaba	Fabaceae



Figura 3. Distribución espacial de los grupos funcionales y especies forestales.

3.1.3. Clima

Tingo María se distingue por su clima lluvioso, con una precipitación promedio anual de 2 775,2 mm, por lo general, las lluvias más intensas ocurren entre septiembre y abril, alcanzando una precipitación promedio mensual de 483,6 mm; además, la ciudad presenta una humedad relativa promedio del 81,72% con temperatura media anual de 25,5 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2025).

3.1.4. Fisiografía

La parcela en estudio pertenece a la zona de vida: bosque muy húmedo Premontano Subtropical (bmh - PST) con base en Holdridge (1987), además, Puerta (2007) refiere que el BRUNAS muestra altitud de 650 a 1 120 m.s.n.m., además, por su ubicación fisiográfica es colina baja, y presenta pendientes mayores a 25%.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

3.2.1.1. Material genético

Grupos funcionales de especies forestales: *M. acaciifolium*, *O. aciphylla*, *V. multinervia*, *G. americana*, *C. cateniformis*, *S. parahyba*, *A. bilimbi*, *A. guianensis*, *I. edulis*.

3.2.1.2. Materiales y equipos de campo

Para recolectar las muestras de suelo se utilizaron: pala recta para extraer la muestra, balde de 50 L para trasladar la muestra en campo, costal de 50 kg para mezclar la muestra de suelo, bolsas ziploc hermética para almacenar las muestras de suelo, marcador indeleble para codificar las muestras. Para el muestreo de diversidad biológica, se utilizaron: un marco metálico de (25 cm x 25 cm) para delimitar el área a trabajar, pala recta para extraer las capas de suelo, costal para dispersar la muestra de suelo, frascos de vidrio con tapa hermética para colocar la fauna edáfica encontrado por cada 30 cm de profundidad, alcohol de 70° para verter en los envases de vidrio, periódico para cubrir los frascos de vidrio, hilo pabilo para sujetar el periódico en los frascos de vidrio, etiquetas para codificar las muestras, libreta de campo para anotar los datos, machete para liberar el área a muestrear, cámara fotográfica para capturar las fotografías de las actividades desarrolladas en campo; además, se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para delimitar la parcela.

3.2.1.3. Equipo de gabinete

Se utilizó una laptop Lenovo ideapad i7 para procesar y analizar los datos de campo, asimismo, para redactar el informe de tesis.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Criterio de investigación

Con base en Hernández-Sampieri & Mendoza (2020):

- a) **Tipo:** aplicado, puesto que se utilizaron ciencias existentes.
- b) **Enfoque:** cuantitativo, porque colectaron variables numéricas.
- c) **Nivel:** descriptivo, porque se describieron los hechos tal como se observaron.
- d) **Diseño:** longitudinal, porque los parámetros se evaluaron en dos momentos del tiempo (inicial y final).

Asimismo, esta investigación no fue experimental, ya que no hubo alteración de las variables, además, fue de campo, comparativo, con muestreo estratificado. Se consideraron dos estratos definidos por la geometría de los grupos funcionales: una parcela de 0,5 ha con diseño cuadrado y circular (Cohen y Gómez, 2019).

3.2.2.2. Determinación de las propiedades físicas (densidad aparente, textura y color) de un suelo degradado en proceso de restauración

En el área de 1 ha, se seleccionaron cinco unidades de muestreo de suelo para cada grupo funcional (cuadrado y circular) y se detalla en la **Tabla 9** adaptado de la Guía para el Muestreo de Suelos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014) y estas fueron distribuidas heterogéneamente en forma zigzag y se muestra en la **Figura 4**, utilizando la pala recta se recolectó en cada punto una muestra individual a profundidad de 0 a 30 cm con sustento en la **Tabla 10**, el suelo fue colocado sobre un plástico y fue mezclado (muestra compuesta) consecutivamente se depositó 1 kg de suelo en una bolsa ziploc rotulada para ser transportada al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la UNAS. Asimismo, cabe precisar que se consideraron dos evaluaciones (inicial: marzo de 2024, final: noviembre de 2024).

Tabla 9. Número mínimo de puntos de muestreo de suelo.

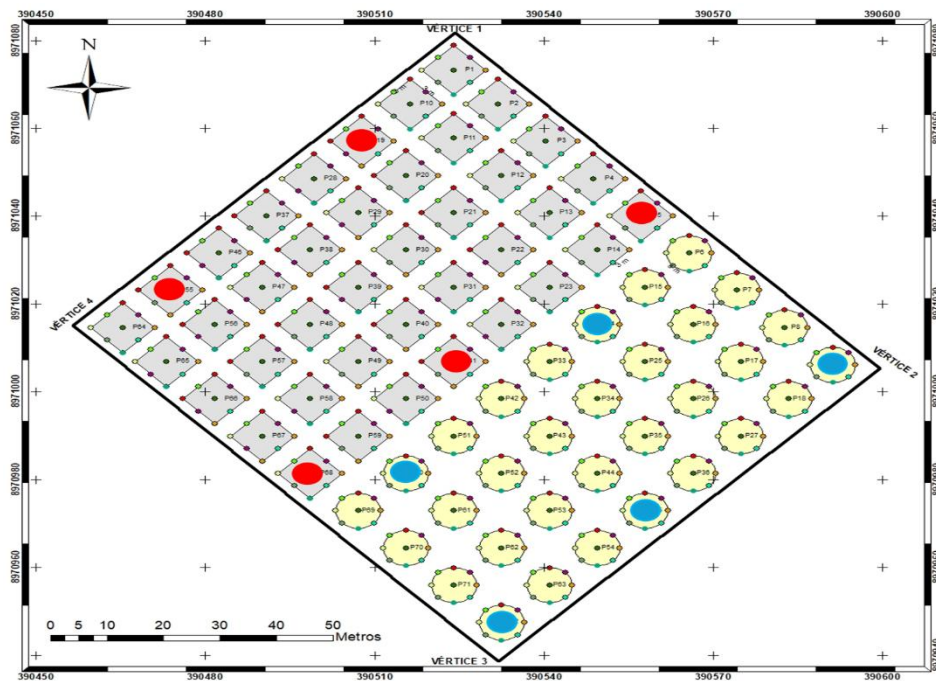
Área de interés (ha)	Número de puntos de muestreo
0,5	6
1	9
2	15

Fuente: Adaptado de MINAM (2014).

Tabla 10. Profundidad de muestreo de suelo según el uso.

Usos del suelo	Profundidad de muestreo
Suelo agrícola	0 - 30 cm / 30 - 60 cm
Suelo residencial/parques	0 - 10 cm / 10 - 30 cm
Suelo comercial, industrial, extractivo	0 - 10 cm

Fuente: MINAM (2014).

**Figura 4.** Distribución espacial de los puntos de muestreo.

Fuente: adaptado de MINAM (2014).

La densidad aparente, se realizó con un cilindro de 5 cm de altura y 4 cm de diámetro, fueron introducidos al suelo, posteriormente fueron colocados en bolsas ziploc para ser pesados en el laboratorio, asimismo, fueron colocados en estufa a 105 °C por un periodo de 72 horas, y se utilizó la ecuación 1.

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{PSSE}{VC} \dots\dots\dots \text{ecuación 1}$$

Dónde:

- DA (g/cm³) = Densidad aparente, en g/cm³
- PSSF = Peso de suelo seco a estufa dentro del cilindro
- VC = Volumen del cilindro (constante)

Para la textura el al Laboratorio utilizó el método del hidrómetro, el cual permitió identificar los porcentajes de (arena, limo y arcilla). Para el color se utilizó la tabla Munsell y se determinó en campo el color en fresco y en el laboratorio el color en seco, donde se ubicó el matiz, el valor (de 2,5 a 8) y la croma (de 1 a 8) según corresponda al color del suelo.

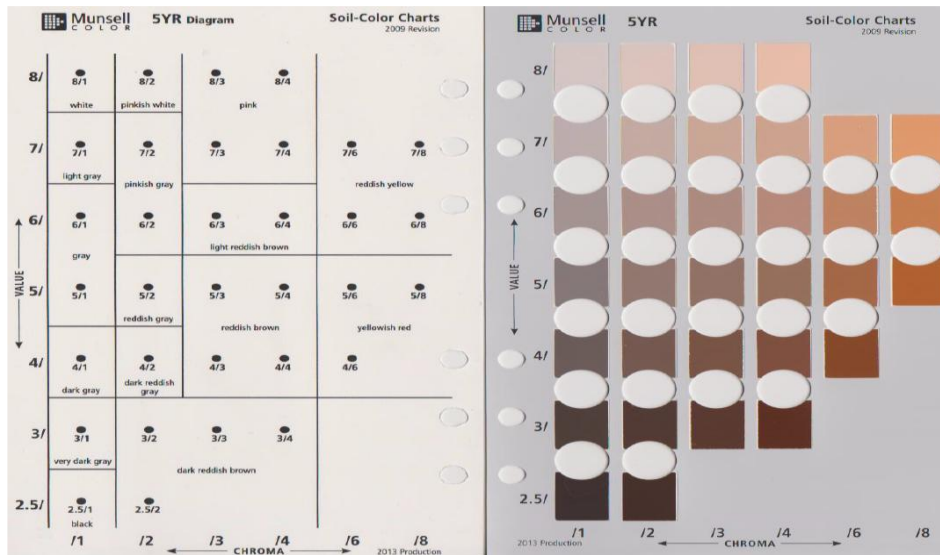


Figura 5. Forma de uso de la tabla Munsell.

3.2.2.3. Determinación de las propiedades químicas (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo disponible, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico) de un suelo degradado en proceso de restauración

Se recolectaron submuestras a una profundidad de 0 - 30 cm, utilizando una pala recta, los puntos de muestreo fueron los mismos que se mostraron en la **Figura 4**, las submuestras fueron mezcladas homogéneamente para obtener la muestra compuesta representativa para el grupo funcional cuadrado y circular por separado.

Las muestras fueron aireadas, secadas a temperatura ambiente y tamizadas con rejilla de 2 mm para su análisis en laboratorio, en la investigación se consideraron dos evaluaciones (inicial: marzo de 2024, final: noviembre de 2024). Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

- **Materia orgánica (MO):** se determinó mediante el método de oxidación húmeda de Walkley y Black.
- **pH:** medido en una solución suelo: agua en proporción 1:1; utilizando un potenciómetro.
- **Conductividad eléctrica (CE):** se determinó en el mismo extracto de suelo: agua 1:1, con un conductímetro.
- **Nitrógeno total (N):** analizado mediante el método Kjeldahl modificado.
- **Fósforo disponible (P):** determinado por el método Bray I, adecuado para suelos ácidos.
- **Potasio disponible (K):** extraído con acetato de amonio y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** determinada por el método de acetato de amonio a pH 7,0.

Cabe precisar que los análisis fueron realizados en el al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología - UNAS, cuyos resultados se detallan el **Anexo 1**.

3.2.2.4. Determinación de la diversidad de macrofauna en un suelo degradado en proceso de restauración

Para determinar la fauna edáfica se establecieron cinco puntos de muestreo por grupo funcional (cuadrados y circulares) haciendo un total de 10 unidades de muestreo distribuidos sistemáticamente con base en la Guía para muestreo de suelos (MINAM, 2014) y estas se muestran en la **Figura 4**. En cada punto se delimitó un área de 1 m² para la búsqueda manual superficial removiendo cuidadosamente la hojarasca, ramas, piedras y otros elementos en el suelo y se situó en el centro un cuadrante de 25 x 25 cm (0,0625 m²) como se aprecia en la **Figura 6**, consecutivamente a la búsqueda superficial se excavó en el cuadrante de 25 × 25 cm hasta 30 cm de profundidad distribuidos en tres estratos (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm), como se detalla en la **Figura 7**, el suelo extraído se colocó en baldes de 20 L luego se colocó sobre un plástico para la extracción manual de macrofauna, con base en la Guía para la descripción de perfiles de suelo (FAO, 2006).

Los organismos encontrados fueron colocados en frascos de vidrio codificados por estrato (1m², 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) y por cada tratamiento (grupos funcionales cuadrados y circulares), posteriormente, fueron conservados en alcohol etílico al 70%; finalmente, fueron llevados al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Agronomía de la UNAS para ser identificados y clasificados taxonómicamente, la identificación se muestra en el Anexo 2.

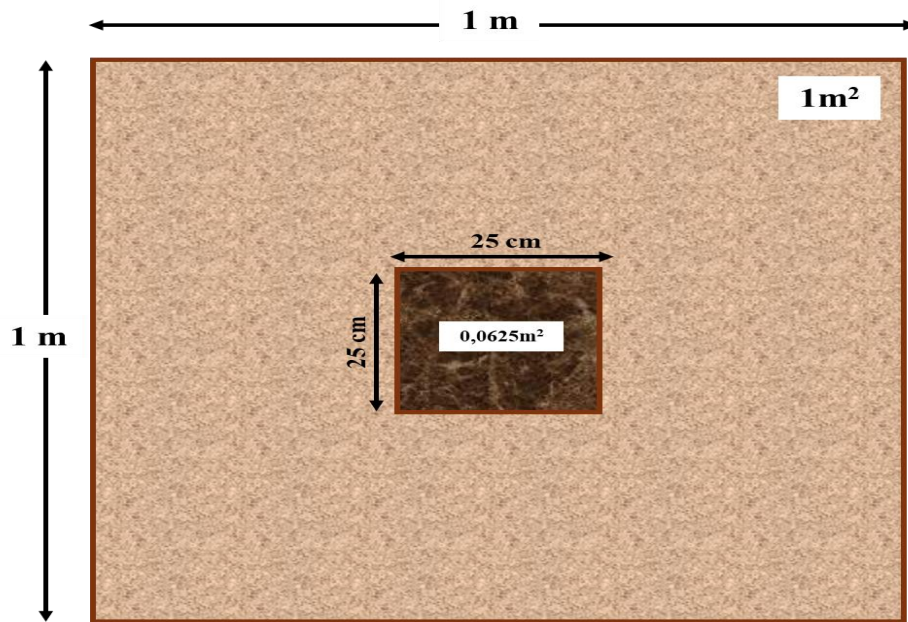


Figura 6. Delimitación superficial de 1m² y cuadrante de 25 x 25 cm.

Fuente: Adaptado de FAO (2006).

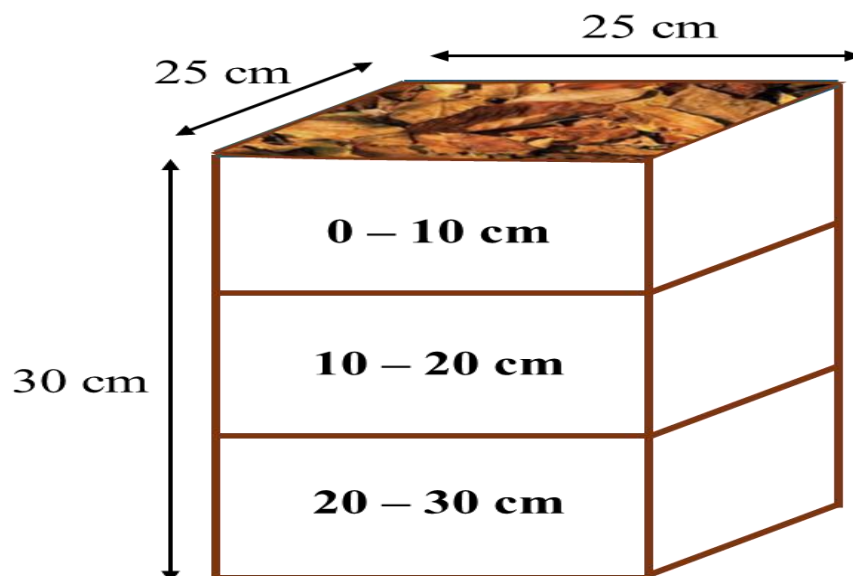


Figura 7. Monolito de suelo, para muestreo de macrofauna edáfica.

Fuente: Adaptado de FAO (2006).



Figura 8. Extracción manual de macrofauna en el suelo.

Asimismo, para el índice de diversidad de macrofauna se consideró:

a) Riqueza de especies (S): que fue la cantidad de especies encontradas en los diferentes estratos según lo estipulado por (Begon, *et al.*, 1999) y Magurran (2004).

b) Índice de diversidad de Shannon – Wiener (H'): sirve para medir la diversidad ecológica; si: $H' \approx 0$: indica baja diversidad y que la comunidad tiene una sola especie dominante; por otro lado, si $H' > 2,5$: significa alta diversidad y que existen especies bien distribuidas (Shannon, 1948), para calcular el índice se utilizó la ecuación 2:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \dots\dots\text{ecuación 2}$$

Dónde:

- H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener
- S = Número total de especies (riqueza)
- P_i = Proporción de individuos de la especie i respecto al total (n_i/N_t)
- \ln = logaritmo natural

c) **Índice de Equidad de Pielou (J')**: es una medida complementaria al índice de Shannon-Wiener que nos indica que tan equitativamente son representadas las especies en una comunidad y se calcula con la ecuación 3.

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \dots\dots \text{ecuación 3}$$

Dónde:

- J' = índice de equidad de Pielou
- H'= Índice de diversidad de Shannon – Wiener
- S = Número total de especies
- Ln = Logaritmo natural de la riqueza de especies

Asimismo, Pielou (1966) refiere que el valor de J' varía de 0 a 1 y esta se interpreta de la siguiente manera:

- **J' cerca de 1**: significa que todas las especies tienen abundancias similares, por lo tanto, existe alta equidad
- **J' cerca de 0**: significa que pocas especies dominan, otras son muy escasas, por lo tanto, existe baja equidad.

Para este objetivo también se consideraron dos evaluaciones (inicial: marzo de 2024, final: noviembre de 2024).

3.2.2.5. Procesamiento de datos

Los datos del inventario fueron digitados y procesados en el Microsoft Excel 2019, asimismo, los resultados fueron presentados en tablas y representados en figuras estadísticas de tipo barras. Para el estudio de diversidad de macrofauna, se calculó la abundancia, riqueza taxonómica y los índices Shannon-Wiener (H') y Simpson (D) por grupo funcional (cuadrado y circular). La comparación se realizó mediante pruebas estadísticas no paramétricas (Mann-Whitney U), considerando 5% de nivel de significancia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas (densidad aparente, textura y color) de un suelo degradado en proceso de restauración

4.1.1. Densidad aparente

Tabla 11. Humedad y densidad aparente del suelo en los grupos funcionales.

Grupo Funcional	Profundidad (cm)	Humedad (%)		Densidad aparente g/cm ³	
		(Inicial)	(Final)	(Inicial)	(Final)
Cuadrado	0 - 10	31,47	38,54	1,26	1,07
	10 - 20	47,35	36,13	1,22	1,24
Circular	0 - 10	79,59	39,88	1,03	1,36
	10 - 20	54,63	34,42	1,24	1,55

Nota: evaluación inicial fue en mayo de 2024 y final fue en noviembre de 2024.

Los resultados de la **Tabla 11** muestran una respuesta contrastante entre los grupos funcionales evaluados, de tal manera que en el diseño cuadrado, la capa superficial (0 - 10 cm) presentó un aumento en la humedad (de 31,47% a 38,54%) y una disminución en la densidad aparente (de 1,26 a 1,07 g/cm³), lo cual refleja una mejora en la estructura del suelo, asociada posiblemente a un incremento en la porosidad, el aporte de materia orgánica y el desarrollo radicular. Esta variación se asemeja al reporte de Souza *et al.* (2024), donde encontraron que los sistemas de café intercalados con especies arbóreas reducen la compactación del suelo y favorecen su estructura. Asimismo, estudios en contextos amazónicos como el de Fernández (2024), señala que los sistemas con mayor cobertura boscosa (bosque primario) tienden a registrar densidades aparentes más bajas (1,45 g/cm³) y mejores condiciones físicas que sistemas agrícolas o degradados, lo cual respalda los resultados obtenidos en el grupo funcional cuadrado.

Por otro lado, en el grupo funcional circular se evidenció una disminución drástica en la humedad y un incremento notorio de la densidad aparente en ambas profundidades, alcanzando hasta 1,55 g/cm³ a los 20 cm. Este valor refleja un proceso de compactación progresiva, posiblemente asociado a la limitada cobertura vegetal y a la escasa protección del suelo frente a la evaporación e infiltración. Situaciones similares fueron reportadas por Chávez (2023), quien encontró que en parcelas dedicadas al cultivo de *Erythroxylum coca* presentaron mayor resistencia a la penetración (2,20 kg/cm²) y densidades más altas en comparación con sistemas agroforestales o bosques secundarios. De igual modo, Rodríguez (2024), observó que la densidad aparente aumentaba en suelos de menor aporte en materia orgánica y mayor exposición, el cual compromete el aforo de retención del agua, y la aireación.

Por lo tanto, estos hallazgos reflejan que la dinámica física del suelo en el BRUNAS depende directamente de la cobertura vegetal, ya que al estar cubierta con pastizal el sistema cuadrado favorece la recuperación de la humedad y la reducción de la densidad aparente, mientras que el sistema circular podría estar limitando la infiltración y promoviendo la compactación, debido a que esta cuenta con 30% de cobertura boscosa.

4.1.2. Textura

Tabla 12. Textura del suelo en los grupos funcionales.

Grupo Funcional	Textura					
	Inicial			Final		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Cuadrado	43,14	27,01	29,85	44,0	23,5	32,5
Circular	41,14	29,01	29,85	26,0	35,5	38,5

Los cambios en la textura del suelo evidencian tendencias diferenciadas según el grupo funcional, con base en la **Tabla 12** el grupo funcional cuadrado presentó un ligero aumento en la fracción de arena de 43,14% a 44,0%, arcilla de 29,85% a 32,5% y una disminución de limo, manteniéndose la clasificación como franco-arcillosa. Este patrón sugiere un proceso de estabilización de la capa superficial, posiblemente asociado a la retención de partículas finas y a la afiliación de materia orgánica, que favorece la agregación del suelo. Resultados similares fueron reportados por Rodríguez (2024), en suelos en proceso de recuperación en escombreras, donde la revegetación con especies nativas promovió la retención de partículas finas y mejoró las condiciones edáficas.

Por otro lado, el grupo circular mostró un cambio más drástico: la fracción arenosa se redujo de 41,14% a 26,0%, mientras que limo y arcilla aumentaron hasta 35,5% y 38,5%, respectivamente, indicando una transición hacia una textura más arcillosa. Este comportamiento podría deberse a procesos de compactación y redistribución de partículas finas en superficie, lo que coincide con el incremento en la densidad aparente y la reducción de humedad observados en este mismo tratamiento. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Chávez (2023) en Monzón, quien evidenció que sistemas agrícolas degradados tendían a presentar mayor proporción de fracciones finas debido a procesos de erosión y compactación.

Además, es importante destacar que las variaciones hacia texturas más arcillosas pueden implicar tanto ventajas como limitaciones; por un lado, una mayor proporción de arcilla puede

favorecer la conservación del agua y los nutrientes; sin embargo, en exceso puede incrementar la susceptibilidad a la compactación, reduciendo la aireación y la infiltración, tal como advierte Fernández (2024) en los bosques primarios de San Martín. Finalmente, para ambos casos la clase textural fue Franco Arcilloso, como se aprecia en el **Anexo 1**.

4.1.3. Color



Figura 9. Suelo color marrón rojizo oscuro (5YR 3/2).

Utilizando la tabla Munsell, el color húmedo del suelo que se muestra en la **Figura 9** correspondió al matiz 5YR 3/2 (marrón rojizo oscuro), mientras que en seco el color correspondió al matiz 5YR 3/2 (marrón rojizo oscuro). El color del suelo identificado como 5YR 3/2 (marrón rojizo oscuro) refleja la influencia de procesos pedogenéticos característicos de regiones tropicales. Este matiz se asocia principalmente a la presencia de óxidos de hierro, cuya acumulación y estado de oxidación determinan tonalidades rojizas y marrones en los suelos (Schaeztl & Anderson, 2005). El valor bajo (3) y el croma reducido (2) indican un color oscuro y poco saturado, lo cual sugiere la influencia de la materia orgánica en el horizonte superficial, además de condiciones de buen drenaje (Brady & Weil, 2017). En la Amazonía peruana, Sánchez (1976) reporta que los suelos fuertemente intemperizados, como Oxisoles y Ultisoles, presentan colores predominantes entre 2.5YR y 5YR, en concordancia con el presente estudio. De manera similar, el INIA (2008) señala que los suelos de la selva presentan tonalidades rojizas y marrones, asociadas a la presencia de óxidos de hierro y a un avanzado grado de meteorización. En este sentido, el color marrón rojizo oscuro (5YR 3/2) constituye un indicador de alta meteorización y de condiciones ambientales propias de los suelos amazónicos.

4.2. Propiedades químicas (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo disponible, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico) de un suelo degradado en proceso de restauración

4.2.1. Materia orgánica

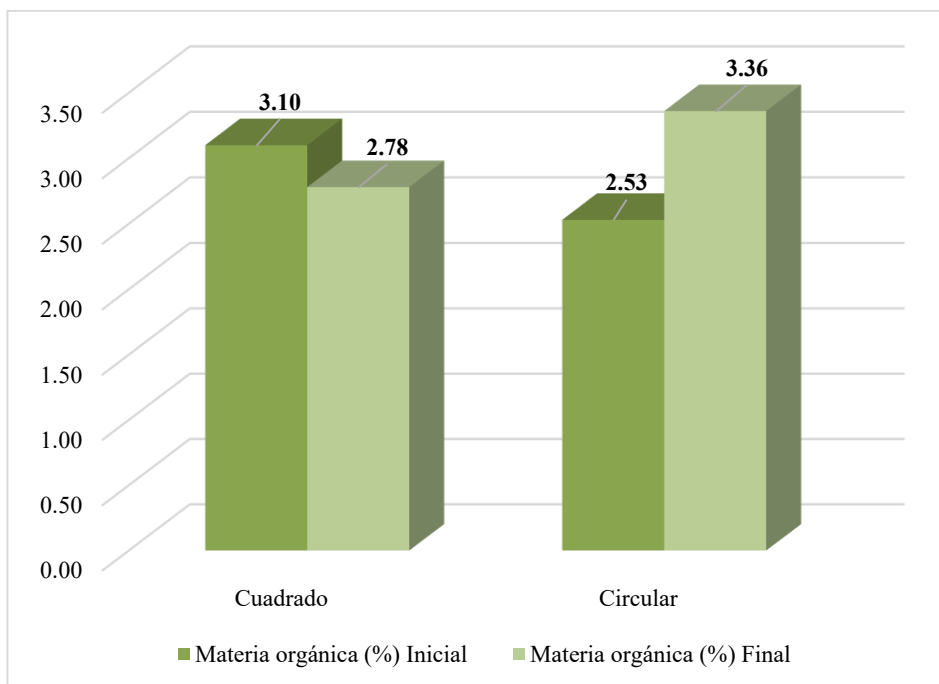


Figura 10. Cambio en el porcentaje de materia orgánica por grupo funcional.

La **Figura 10** muestra que la materia orgánica del suelo mostró comportamientos diferenciados en cada grupo funcional, en el cuadrado, se registró una ligera disminución, pasando de 3,10% a 2,78%, esta reducción podría estar relacionada con la descomposición de residuos orgánicos sin una reposición suficiente mediante aporte de hojarasca o raíces, lo que a largo plazo puede limitar la fertilidad del suelo. Situaciones similares han sido reportadas por Rodríguez (2024) en áreas de restauración inicial, donde la cobertura vegetal incipiente no alcanzó a mantener los niveles de materia orgánica en el tiempo.

Por otro lado, en el grupo circular se observó un incremento revelador de 2,53% a 3,36%, indicando un proceso positivo de acumulación de residuos vegetales y actividad microbiana. Asimismo, este resultado sugiere que el diseño circular favoreció la cobertura y la incorporación de biomasa al suelo, generando condiciones más estables para la retención de carbono. Por otro lado, estos resultados coinciden con lo señalado por Souza *et al.* (2024), quienes destacaron que sistemas agroforestales con mayor diversidad y cobertura arbórea incrementan la materia orgánica y mejoran la calidad edáfica en comparación con

monocultivos. En términos generales, los valores obtenidos en ambos grupos funcionales se ubican dentro del rango de 2% a 4%, considerado como “medio” según la clasificación propuesta por el INIA (2008) para suelos de la Amazonía.

4.2.2. pH

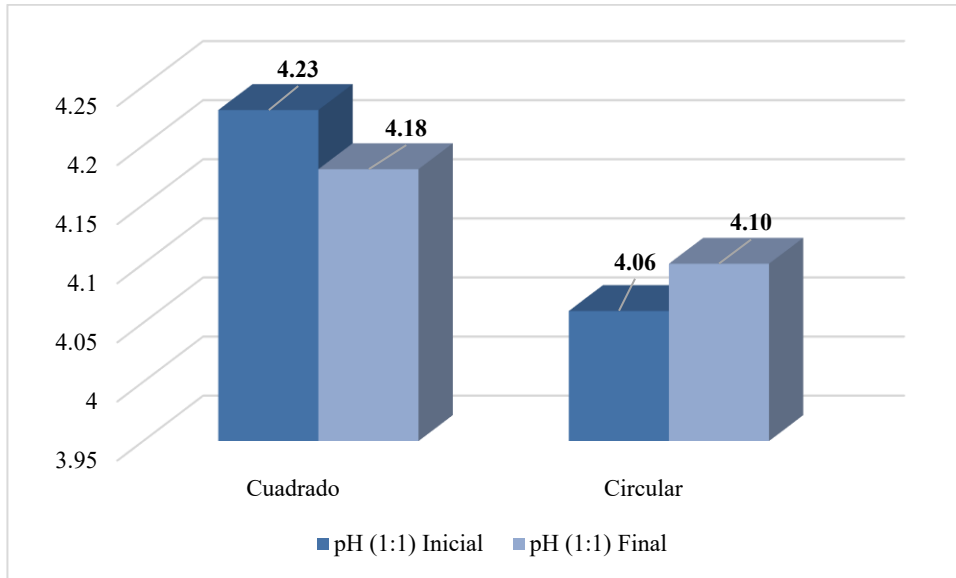


Figura 11. Variación de potencial de hidrógeno (pH) por grupo funcional.

Con base en la **Figura 11**, el pH del suelo presentó variaciones leves en ambos grupos funcionales, manteniéndose en un rango ácido característico de los suelos amazónicos. En el grupo cuadrado, se registró una ligera disminución de 4,23 a 4,18, lo que indica una tendencia hacia una mayor acidez. Este comportamiento puede estar relacionado con la mineralización de la materia orgánica y la liberación de iones H^+ al suelo, especialmente en condiciones de alta humedad. Asimismo, de acuerdo con Chávez (2023), la acidez es un rasgo común en sistemas degradados de la Amazonía, y su persistencia limita la disponibilidad de nutrientes como fósforo y calcio.

Mientras que el grupo circular mostró un ligero incremento de 4,06 a 4,10, lo cual sugiere una estabilización de la acidez edáfica. Este cambio podría estar asociado a una mayor acumulación de materia orgánica como se muestra en la **Figura 10**, que actúa como una almohadilla frente a la acidez extrema. Por su parte, Rodríguez (2024), también reportó que la revegetación en áreas mineras en restauración contribuyó a estabilizar el pH, generando condiciones más favorables para la colonización de especies vegetales y la actividad biológica del suelo. Sin embargo, aunque las variaciones son mínimas, la permanencia de valores por debajo de 5 confirma que los suelos evaluados presentaron acidez fuerte, de acuerdo con la

clasificación del INIA (2008). Esta condición es típica en la Amazonía y constituye un desafío para la restauración, ya que puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales.

4.2.3. Conductividad eléctrica

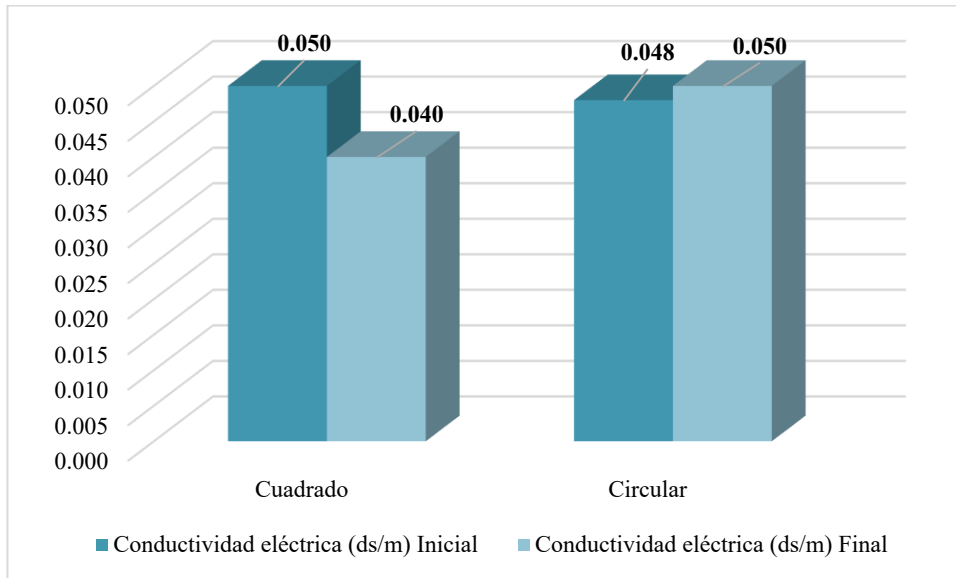


Figura 12. Variación de la conductividad eléctrica por grupo funcional.

La conductividad eléctrica del suelo mostró valores bajos en ambos grupos funcionales, confirmando la ausencia de problemas de salinidad. En el grupo cuadrado, se observó una disminución de 0,050 a 0,040 dS/m, el cual puede estar asociado a la lixiviación de sales solubles debido a una mayor infiltración de agua, favorecida por la menor densidad aparente registrada en la **Tabla 11**. De acuerdo con Souza *et al.* (2024), los suelos bajo condiciones de mayor porosidad tienden a presentar reducciones en la conductividad eléctrica como consecuencia del lavado natural de sales. Por otro lado, en el grupo circular se produjo un leve incremento (0,048 a 0,050 dS/m), este aumento, aunque mínimo, podría estar relacionado con procesos de mineralización de la materia orgánica acumulada el cual libera iones solubles al suelo. Estudios como el de Leoni *et al.* (2020) en Uruguay también reportaron que sistemas con mayor incorporación de materia orgánica presentan incrementos moderados en la conductividad eléctrica, sin llegar a niveles perjudiciales para la actividad biológica.

En ambos casos, los valores se encuentran muy por debajo del umbral de 4 dS/m, considerado el límite para clasificar un suelo como salino (USDA, 2017). Esto indica que los procesos de restauración en el BRUNAS no enfrentan riesgos asociados a salinidad, y que las variaciones observadas responden más a dinámicas naturales de lavado o acumulación de nutrientes solubles que a procesos de degradación.

4.2.4. Nitrógeno total

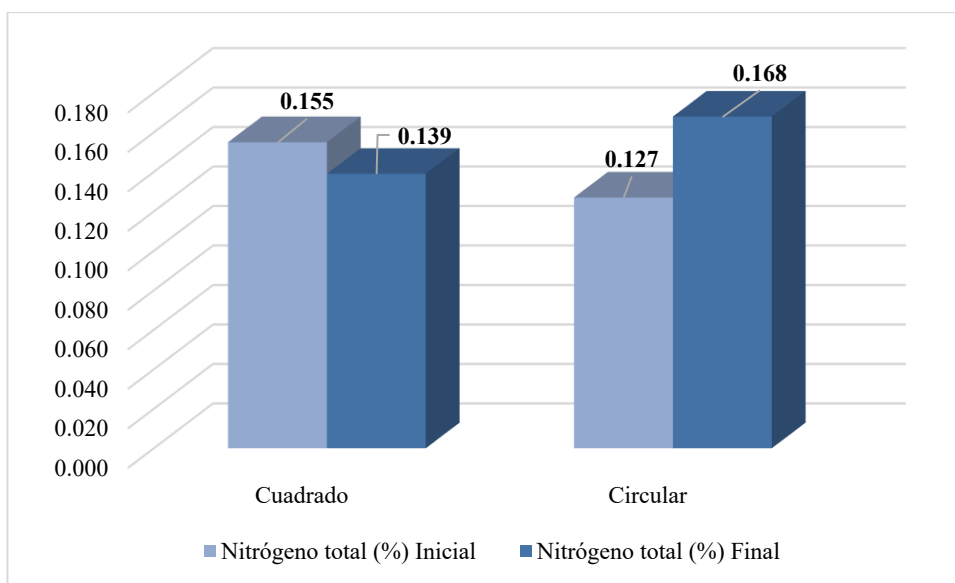


Figura 13. Comparación de nitrógeno total por grupo funcional.

Con base en la **Figura 13** en el grupo cuadrado, el nitrógeno total disminuyó de 0,155% a 0,139%, lo que puede estar asociado al consumo del nitrógeno por parte de la vegetación en crecimiento y a procesos de lixiviación, dado que este grupo presentó mejores condiciones físicas (mayor humedad y menor densidad aparente). De acuerdo con Stevenson (1994), el nitrógeno del suelo es altamente dinámico y susceptible a pérdidas por lixiviación y desnitrificación, especialmente en ambientes con buena infiltración. Por otro lado, en el grupo circular, en cambio, se registró un incremento de 0,127% a 0,168%, posiblemente vinculado a una mayor acumulación de residuos orgánicos en la superficie y a la descomposición de la materia orgánica, que liberó nitrógeno al suelo. Este comportamiento coincide con lo reportado por Chávez (2023) en bosques secundarios, donde el aumento de la cobertura vegetal favoreció la incorporación de nitrógeno disponible a través de la caída de hojarasca y la actividad microbiana.

En consecuencia, ambos grupos mantienen niveles bajos de nitrógeno total, característicos de suelos tropicales degradados. Sin embargo, las diferencias observadas sugieren que los patrones de diseño y cobertura influyen en las dinámicas de este nutriente: mientras el cuadrado favorece mayor movilidad y potencial pérdida, el circular podría estar reteniendo más nitrógeno gracias a la acumulación superficial de materia orgánica.

4.2.5. Carbono orgánico

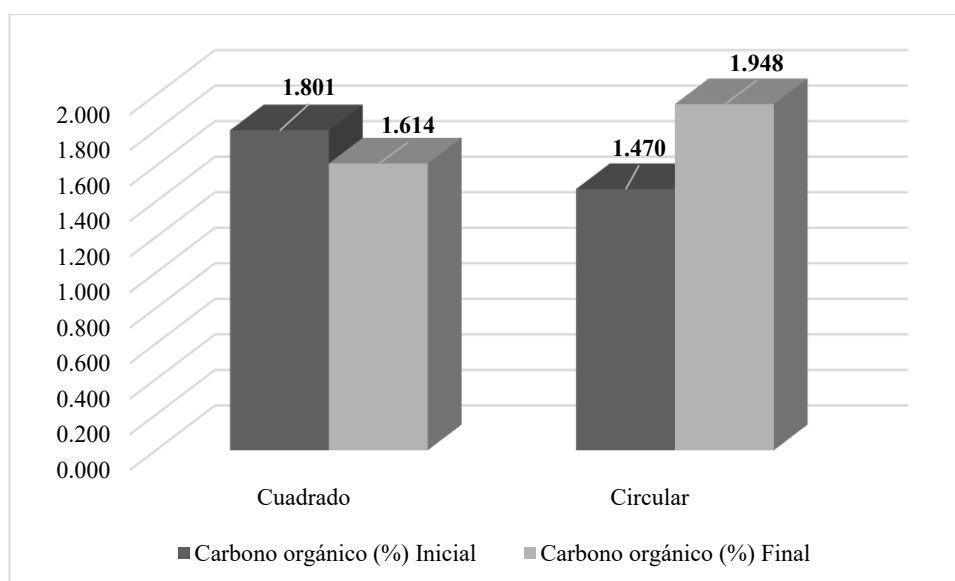


Figura 14. Cambio de carbono orgánico por grupo funcional.

Como se muestra en la **Figura 14** en el grupo funcional cuadrado, el carbono orgánico disminuyó ligeramente de 1,801% a 1,614%, lo que indica una pérdida relativa de materia orgánica en el suelo. Esta reducción podría deberse a procesos de mineralización más intensos que no fueron compensados con suficiente aporte de hojarasca o residuos orgánicos en superficie. Por el contrario, en el grupo funcional circular se observó un aumento de 1,470% a 1,948%, reflejando una mejora en la acumulación de materia orgánica. Este incremento puede estar asociado a una mayor retención de residuos vegetales, menor escorrentía superficial y, posiblemente, mayor actividad de la macrofauna que favorece la incorporación de materia orgánica en el perfil del suelo.

Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados en investigaciones previas. Chávez (2023) encontró incrementos en carbono orgánico en suelos intervenidos con prácticas de restauración forestal, atribuyéndolos a la incorporación continua de residuos vegetales y a la cobertura del suelo. De forma similar, Castillejos (2015) señala que el aumento de carbono orgánico está estrechamente ligado al aporte de biomasa y a la reducción de procesos erosivos. Por otro lado, Fernández (2024) resalta que los descensos en carbono orgánico suelen relacionarse con suelos degradados donde el equilibrio entre aportes y pérdidas de materia orgánica aún no se ha estabilizado, lo que es consistente con lo observado en el grupo cuadrado. Finalmente, Rodríguez (2024) subraya que los procesos de restauración requieren periodos más largos para evidenciar incrementos sostenidos en la materia orgánica, por lo que las variaciones observadas en ambos grupos podrían representar etapas iniciales de dicho proceso.

4.2.6. Fósforo disponible

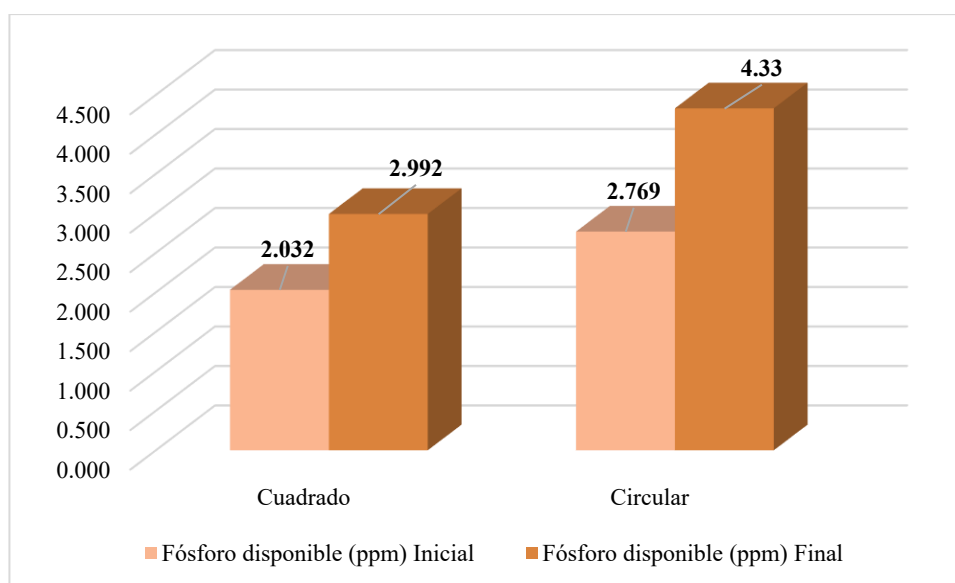


Figura 15. Modificación del fósforo disponible por grupo funcional.

Los resultados de la **Figura 15** muestran un incremento del fósforo disponible en ambos grupos funcionales, aunque con distinta magnitud. En el grupo cuadrado, los valores pasaron de 2,032 a 2,992 ppm, mientras que en el grupo circular se observó un aumento más marcado, de 2,769 a 4,33 ppm. Este comportamiento sugiere que el proceso de restauración está favoreciendo la liberación y disponibilidad de fósforo en el suelo, posiblemente a través de la mineralización de la materia orgánica y la descomposición de residuos vegetales. Según Brady y Weil (2017), el fósforo disponible en suelos tropicales se encuentra limitado por la fijación en óxidos de hierro y aluminio, pero puede incrementarse con la acumulación de hojarasca y el reciclaje de nutrientes vía biota edáfica.

Asimismo, los resultados coinciden con lo reportado por Fernández (2024) en sistemas agroforestales, donde el fósforo mostró mayores concentraciones respecto a bosques primarios, sugiriendo que ciertos usos y arreglos vegetales pueden mejorar su disponibilidad. De igual forma, Chávez (2023) encontró que el fósforo alcanzó sus mayores valores en sistemas agroforestales, reforzando la idea de que la dinámica de este nutriente está estrechamente ligada al tipo de cobertura y a la actividad biológica. En este caso, el grupo circular evidenció un mayor incremento, lo cual podría relacionarse con la acumulación de residuos en superficie y una mineralización más activa. No obstante, los niveles absolutos siguen siendo bajos, lo que confirma que el fósforo continúa siendo un nutriente limitante en suelos degradados tropicales en recuperación, como lo sostienen Rodríguez (2024) en escombreras reforestadas y Martínez (2019) en sistemas de café y cacao.

4.2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico equivalente (CICe)

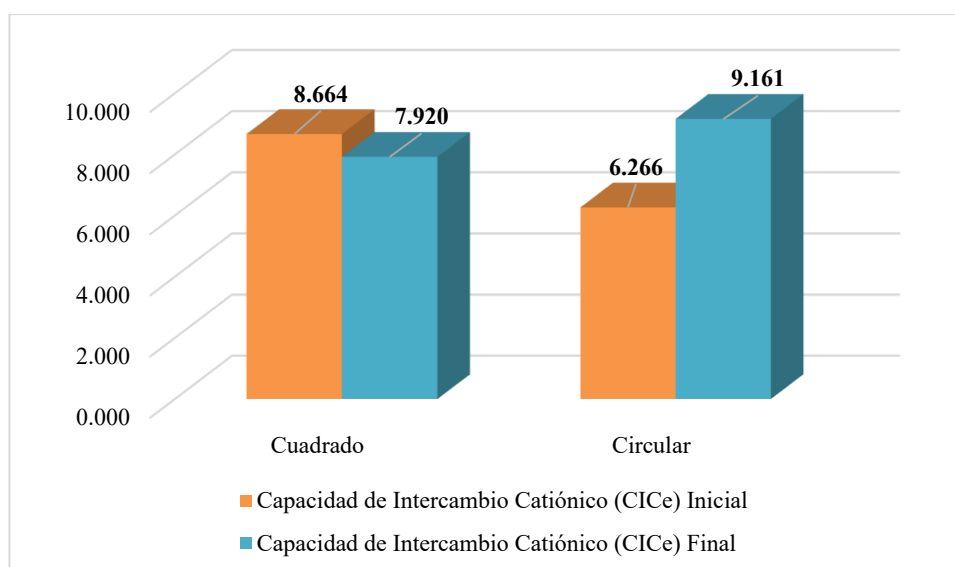


Figura 16. Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico equivalente (CICe) por grupo funcional.

Como se muestra en la **Figura 16** en el grupo funcional cuadrado, la CICe presentó una ligera reducción de 8,664 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ a 7,920 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, lo que sugiere una menor capacidad del suelo para retener nutrientes en el tiempo, este comportamiento podría estar asociado a la pérdida de bases intercambiables por lixiviación y a la limitada acumulación de materia orgánica. Situación similar fue encontrada por Chávez (2023) en suelos bajo cultivo de *Erythroxylum coca*, donde las condiciones de uso intensivo redujeron la fertilidad química, mostrando menores valores de CIC y materia orgánica frente a sistemas agroforestales y bosques secundarios. Asimismo, Castillejos (2015) observó que tras la instalación de *Cecropia engleriana* y *Ochroma pyramidale*, la CICe no presentó variaciones significativas, lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio, donde la reducción en el cuadrado tampoco refleja una mejora marcada en la calidad química del suelo.

Por otro lado, en el grupo funcional circular, la CICe aumentó de 6,266 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ a 9,161 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, evidenciando un proceso favorable de recuperación. Este resultado puede estar relacionado con la acumulación de materia orgánica y la incorporación de residuos vegetales que contribuyen a mejorar la fracción coloidal del suelo. Hallazgos similares reporta Fernández (2024) en sistemas agroforestales de Tocache, donde los valores de CIC (7,17 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ en bosque primario y mayores en agroforestales) mostraron una correlación positiva con la fertilidad y la diversidad de macrofauna. De igual modo, Rodríguez (2024) encontró ligeros aumentos en la CIC en escombreras degradadas por minería bajo plantaciones de especies nativas (*Polylepis incana* y *Buddleja coriácea*).

Por lo tanto, comparando ambos grupos, los resultados sugieren que el diseño circular favoreció la recuperación de la CICE, aproximándose a lo documentado en sistemas agroforestales y plantaciones en restauración (Fernández, 2024; Rodríguez, 2024), mientras que el cuadrado mostró un retroceso, semejante a lo reportado por Chávez (2023) en cultivos degradantes y por Castillejos (2015) en plantaciones con mejoras poco significativas en la CIC.

4.3. Diversidad de macrofauna en un suelo degradado en proceso de restauración

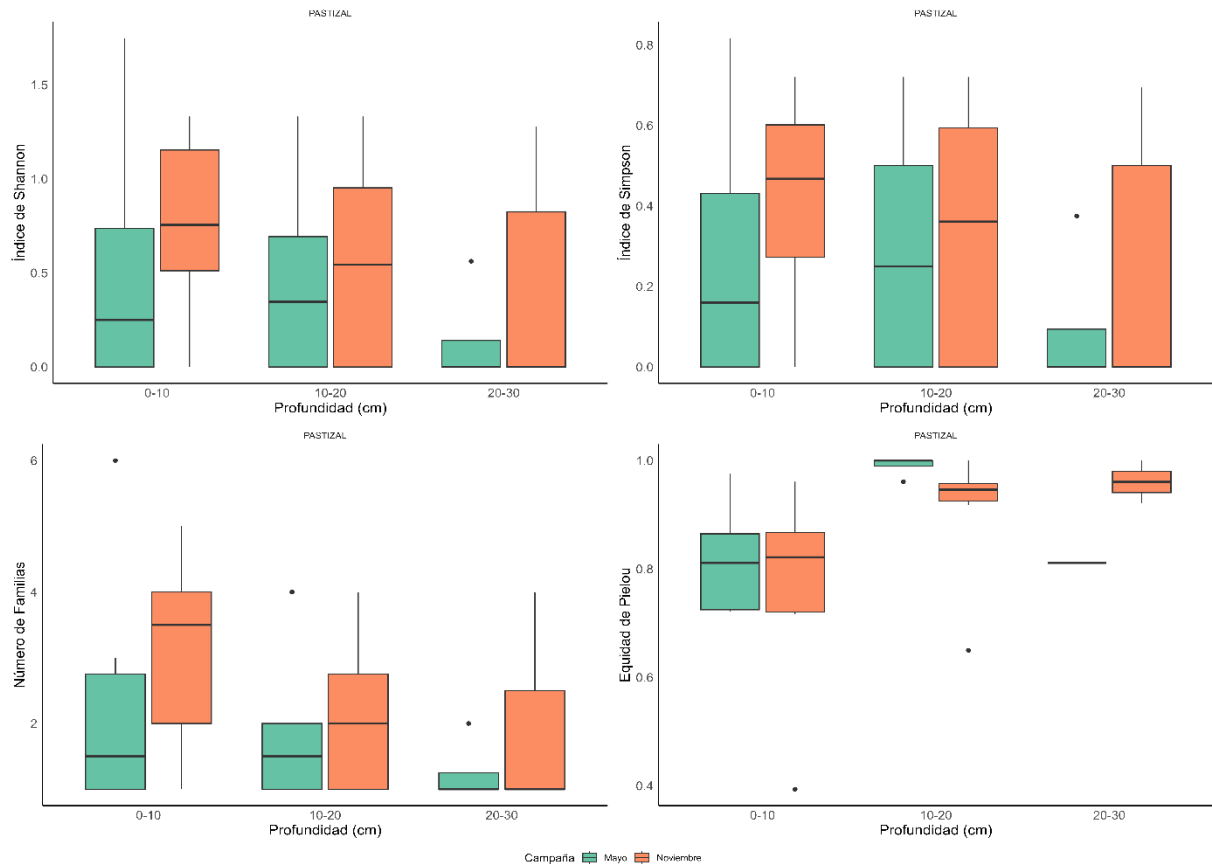


Figura 17. Índice de Shannon, índice de Simpson, riqueza y equidad de Pielou.

Con base en la **Figura 17** en el índice de Shannon, los valores oscilan aproximadamente entre 0,0 y 1,2, con picos en mayo (0–10 cm) y noviembre (10–20 cm), por otro lado, la tendencia general es mayor diversidad en las capas superficiales (0–20 cm) y una fuerte caída en 20–30 cm, el cual se debe a que la macrofauna depende de materia orgánica y raíces presentes en los primeros centímetros. Comparando los valores de H' en torno a 1 son moderados, indicando comunidades pobres en comparación con bosques conservados donde H' suele superar 2,5. Por lo tanto, el suelo degradado en proceso de restauración muestra una recuperación parcial de diversidad en la capa superficial, probablemente relacionada con el aporte de hojarasca y raíces. Asimismo, la baja diversidad en 20–30 cm indica que la recuperación aún no alcanza los horizontes más profundos.

En cuanto al índice de Simpson los valores oscilan entre 0,1 y 0,6; entre 0 - 10 y 10 - 20 cm hay mayor dominancia en mayo, mientras que en noviembre se observa algo más de uniformidad, asimismo, el valor relativamente bajo en 20 - 30 cm sugiere fuerte dominancia de pocos grupos (ejemplo: hormigas). Por lo tanto, la comunidad de macrofauna no es todavía equilibrada; algunos grupos dominan fuertemente, lo que es característico en ecosistemas degradados.

Mientras que en la riqueza se encontró Máximo de 5 a 6 familias en 0–10 cm en noviembre, mientras que en 10 - 20 cm y 20 - 30 cm, la riqueza baja de 1 a 3 familias. Por consiguiente, podemos corroborar que la riqueza disminuye con la profundidad. El hecho de que noviembre presentó mayor número de familias sugiere influencia de la estacionalidad (época lluviosa), que favorece la actividad y dispersión de macroinvertebrados.

Por otro lado, en cuanto a la equidad de Pielou, presentan valores altos en general (0,7 – 0,9), lo que significa que los grupos que aparecen suelen estar relativamente equilibrados en abundancia, asimismo, se observa un outlier bajo (~0,4 en 0 - 10 cm), que puede deberse a un muestreo con dominancia extrema de un grupo. Por lo tanto, aunque la riqueza es baja, la equidad relativamente alta indica que las familias presentes tienden a distribuirse de manera uniforme, lo cual es un favorable para un suelo que está en proceso de restauración.

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio muestran que la diversidad de macrofauna edáfica, medida a través del índice de Shannon-Wiener (H'), revela una comunidad con riqueza moderada y distribución desigual de individuos entre los grupos taxonómicos, lo que es consistente con suelos en proceso de recuperación. La dominancia de ciertos grupos indica que las condiciones edáficas aún no alcanzan la estabilidad necesaria para sostener comunidades más equitativas, aunque la presencia de distintos taxa sugiere un avance hacia la resiliencia del ecosistema. Por su lado, Ramos *et al.* (2025) en sistemas agroforestales de Brasil demostraron que la macrofauna edáfica responde positivamente a mejoras en la estructura y fertilidad del suelo, alcanzando diversidades comparables a bosques secundarios, de manera similar, Souza *et al.* (2024) evidenciaron que el manejo diversificado (cultivo intercalado) incrementa la presencia de organismos edáficos, lo que coincide con el patrón observado en este estudio, donde la diversidad de macrofauna se ve favorecida por la recuperación progresiva de la calidad físico-química del suelo.

Mientras que Liu *et al.* (2025) en China señalaron que la restauración hidrológica mejora parcialmente los índices de Shannon y la uniformidad, pero no restituye completamente la

estructura original de la comunidad, lo que guarda relación con los valores intermedios de diversidad reportados en el presente estudio. Asimismo, en Latinoamérica, Sandoval-García *et al.* (2022) y Leoni *et al.* (2020) destacan la importancia de prácticas de restauración adaptadas y sostenidas en el tiempo para mejorar los parámetros biológicos del suelo, resultados que se reflejan en este trabajo, dado que la restauración del área degradada aún requiere continuidad en el manejo. En tanto, estudios como el de Ortiz (2016) en México y Lahuatte y Recalde (2015) en Ecuador evidencian que la respuesta de la biota edáfica puede ser limitada si no se alcanzan cambios significativos en la calidad edáfica, lo que reafirma la necesidad de intervenciones prolongadas.

Por su lado, Chávez (2023) y Quinto (2016) reportaron mayores índices de Shannon-Wiener en bosques secundarios y sistemas agroforestales, confirmando que la diversidad de macrofauna está estrechamente vinculada al estado de conservación del suelo y a la disponibilidad de recursos. Asimismo, Fernández (2024) y Martínez (2019) encontraron correlaciones significativas entre propiedades químicas (materia orgánica, nitrógeno, potasio) y la macrofauna, lo que se asemeja a los resultados del presente estudio, donde los cambios en la diversidad se relacionan con la mejora gradual de la fertilidad.

Asimismo, investigaciones como la de Tocto (2025) en bambusales jóvenes evidenciaron baja diversidad alfa y predominio de pocos grupos, lo que coincide con los valores intermedios encontrados en este trabajo; De igual forma, estudios de restauración forestal como los de Castillejos (2015) y Rodríguez (2024) demostraron que la riqueza y abundancia de macrofauna aumentan progresivamente en sistemas bajo revegetación, lo cual respalda la interpretación de que la recuperación biológica del suelo en el área evaluada está en una fase inicial pero con tendencia positiva.

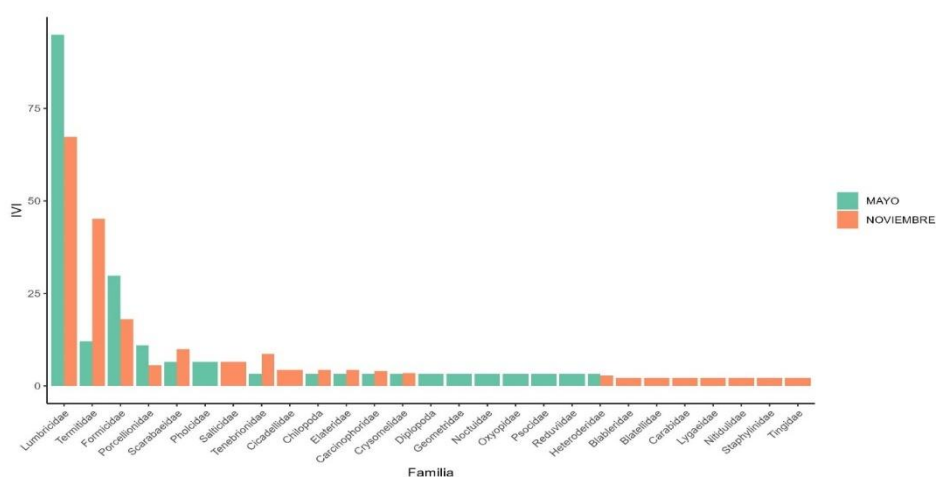


Figura 18. Índice de Valor de Importancia de la fauna edáfica.

El análisis del Índice de Valor de Importancia (IVI) para distintas familias de fauna edáfica mostró una marcada variación estacional en la estructura de la comunidad, observando que en mayo, destacó la familia Lumbricidae con el IVI más alto, indicando una mayor actividad de lombrices asociada a condiciones más húmedas; mientras que en noviembre aumentó la familia Formicidae y Termitidae, reflejando la adaptación de estas a condiciones más secas. Por otro lado, varias familias, como Scarabaeidae y Pholcidae, presentaron aumentos notables en noviembre, posiblemente debido a ciclos de vida estacionales o estrategias de supervivencia. Asimismo, algunas familias aparecieron exclusivamente en uno de los meses de evaluación, lo cual sugiere dinámicas específicas de emergencia o tolerancia ambiental. Finalmente, los resultados evidencian una reconfiguración temporal de la fauna del suelo, con implicaciones funcionales en los procesos edáficos como la descomposición, aireación y ciclaje de nutrientes.

Por lo tanto, el IVI evidenció que la estructura de la macrofauna del suelo presentó variaciones estacionales significativas en el área en proceso de restauración, en la época húmeda (mayo), Lumbricidae alcanzó el mayor IVI, confirmando el rol preponderante de las lombrices en ambientes con mayor humedad y disponibilidad de materia orgánica, este patrón coincide con lo reportado por Lavelle *et al.* (2006) en sistemas tropicales y por Rossi *et al.* (2006) en estudios de suelos amazónicos, quienes resaltan la sensibilidad de Lumbricidae a la humedad edáfica y su contribución a la bioturbación. Por otro lado, García (2014) y Ríos (2018) también encontraron a las lombrices como taxones dominantes en áreas de pastizales en regeneración, sugiriendo que su abundancia es un indicador de mejoramiento en la calidad del suelo.

Mientras que en la época seca (noviembre), los valores más altos de IVI correspondieron a Formicidae y Termitidae, lo que evidencia la plasticidad ecológica de estos grupos en suelos con menor disponibilidad hídrica, por su lado Jiménez *et al.* (2001) en Colombia y Decaëns *et al.* (2008) en la Amazonía demostraron que las hormigas y termitas aumentan su dominancia en condiciones secas, manteniendo procesos de redistribución de partículas y ciclaje de nutrientes. Casos similares reportaron Gamboa (2017) y Torres (2019) quienes observaron resultados similares en pastizales y sistemas agroforestales de la selva alta, donde Formicidae se consolidaron como los principales colonizadores en estaciones con estrés hídrico.

La presencia diferenciada de Scarabaeidae y Pholcidae en época seca, así como la aparición exclusiva de ciertas familias en uno de los muestreos, refleja la importancia de los ciclos de vida y estrategias de supervivencia estacional en la macrofauna del suelo. Esto

concuerta con lo señalado por Baretta *et al.* (2011) en Brasil y Decaëns *et al.* (2008), quienes describieron variaciones significativas en el IVI de familias específicas ligadas a fluctuaciones en la humedad y temperatura del suelo. De manera local, Paredes (2020) identificó patrones semejantes en sistemas forestales amazónicos en restauración, donde determinados grupos de coleópteros aumentan en frecuencia e importancia durante la estación seca.

V. CONCLUSIONES

- En las propiedades físicas del suelo, en el grupo funcional cuadrado (0 - 10 cm), la humedad aumentó de 31,47% a 38,54% y la densidad aparente disminuyó de 1,26 a 1,07 g/cm³, indicando mayor porosidad y mejor estructura del suelo; en el grupo funcional circular (0 - 10 cm), la humedad descendió de 79,59% a 39,88%, mientras que la densidad aparente aumentó de 1,03 a 1,36 g/cm³, evidenciando procesos de compactación. Mientras que la textura del grupo funcional cuadrado se mantuvo franco-arcillosa, con leve incremento de arcilla (29,85% a 32,5%) y reducción de limo, en cambio, el circular mostró un cambio más notorio, con disminución de arena (41,14% a 26%) y aumento de limo (29,01% a 35,5%) y arcilla (29,85% a 38,5%), confirmando acumulación de partículas finas.
- En las propiedades químicas: la materia orgánica disminuyó en el grupo funcional cuadrado (3,11% a 2,79%) y aumentó en el circular (2,53% a 3,36%), debido a la presencia de cobertura boscosa. El pH se mantuvo estable en valores ligeramente ácidos, entre 5,7 y 6,0, sin cambios significativos en ambos grupos. La conductividad eléctrica (CE) presentó valores bajos, manteniéndose por debajo de 0,5 dS/m en ambos grupos, lo que indica ausencia de problemas de salinidad en el suelo durante el proceso de restauración. El nitrógeno total disminuyó en el cuadrado (0,155% a 0,139%) y aumentó en el circular (0,127% a 0,168%), reflejando contrastes en los procesos de mineralización. El fósforo disponible aumentó en ambos grupos: en el cuadrado de 2,032 a 2,992 ppm, y en el circular de 2,769 a 4,33 ppm, mostrando mayor incremento en este último. El carbono orgánico descendió en el cuadrado (1,801% a 1,614%) y se incrementó en el circular (1,470% a 1,948%), lo que indica una mayor acumulación de materia orgánica en el diseño circular y la CICE disminuyó en el cuadrado (8,664 a 7,920 cmol(+)/kg) y aumentó en el circular (6,266 a 9,161 cmol(+)/kg), sugiriendo que el diseño circular mejoró la fertilidad potencial del suelo.
- La macrofauna edáfica en el suelo degradado en proceso de restauración mostró una marcada variación estacional en su estructura, durante la época húmeda, Lumbricidae fue el grupo dominante, evidenciando la recuperación de funciones edáficas asociadas a la descomposición de materia orgánica. En la época seca, destacaron Formicidae y Termitidae, confirmando su adaptación a condiciones limitantes y su rol en el ciclado de nutrientes el cual refleja avances en la recuperación del suelo degradado.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Codificar a todos los individuos para continuar con el monitoreo anual de esta parcela en proceso de restauración, para conocer el comportamiento y la dinámica de cada especie en ambos grupos funcionales.
- Continuar con el monitoreo y evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el tiempo, consolidando una línea base de recuperación.
- Realizar investigaciones similares en otros grupos funcionales o diseños de plantación, para comparar la eficiencia en la restauración de suelos degradados y establecer el mejor modelo de manejo.
- Incorporar una investigación a futuro que permita ver los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas en un bosque primario y un secundario, lo que permitirá contrastar el nivel de recuperación alcanzado y establecer metas claras de restauración.
- Aplicar enmiendas orgánicas (compost, biochar, abonos verdes) y analizar su efecto en la materia orgánica, el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico en ambos grupos funcionales.
- Recubrir con mantillo a los plántones que se encuentren expuestos directamente al sol, ya que esto reduce la evaporación y evita la compactación del suelo.

VII. REFERENCIAS

- Abi-Saab, R. (2012). *Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012: Utilizando indicadores de calidad de suelos* (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana). Repositorio Institucional PUJ. <https://repositorio.javeriana.edu.co/handle/10554/8990>
- Al-Kaisi, M. (2002). *Soil erosion: Effect on soil productivity*. Iowa State University Extension and Outreach. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/soil-erosion-effect-soil-productivity>
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., & García, C. (2008). Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*, 147(3–4), 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>
- Begón, M., Harper, JL, Townsend, CR, Riba Rovira, M. y Civil, S. (1999). *Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades* (3ª ed.). Omega.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/nature-and-properties-of-soils-the/P200000000825/9780137516933>
- Brussaard, L. (1997). Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 26(8), 563–570.
- 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>
- Castillejos, L. V. (2015). *Influencia del establecimiento de especies nativas sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos degradados en la localidad de Caracol-Chinchao-Huánuco* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la

Selva). Repositorio Institucional UNAS.
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0c9dba42-d3b6-4ff9-bfe7-24a3c43ca4c0/content>

- Chávez, M. P. (2023). *Influencia de sistemas de uso sobre las propiedades de los suelos en el distrito de Monzón* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/e71809f2-d9b5-4452-9b2b-b05db945be53>
- Cohen, N. y Gómez, G. (2019). Metodología de la investigación, ¿Para qué? *Revista de Tesopress, 1* (2), 15 – 19 <https://www.teseopress.com/metodologiadelainvestigacion/>
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas, 13*(2).
- Curry, J.P. (1987). La fauna de invertebrados de los pastizales y su influencia en la productividad. II. Factores que afectan la abundancia y composición de la fauna. *Ciencia de pastos y forrajes, 42*(3), 197-212.
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., Lavelle, P., & Brown, G. G. (2006). Macroecological patterns in soil invertebrate diversity. *Global Ecology and Biogeography, 15*(4), 337–347. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00239.x>
- Domínguez, J. M., Román, A. D., Prieto, F., & Acevedo, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3*(1), 141-155.
- Doran, J.W., y Parkin, T.B. (1994). Definición y evaluación de la calidad del suelo. *Definición de la calidad del suelo para un entorno sostenible, 35*, 1-21.
- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (3rd ed.). Chapman & Hall.
- Encina, A., & Ibarra, J. (2000). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Revista Población y Desarrollo, (19)*, 1–12. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Asunción - FNUAP. <https://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/913/915>

- Espinoza, L., Slaton, N. A., & Mozaffari, M. (2012). *Understanding the numbers on your soil test report*. University of Arkansas Cooperative Extension Service. <https://www.uaex.uada.edu/publications/PDF/FSA-2118.pdf>
- Fernández, E. B. (2024). *Propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/e94da8e5-b808-4e8f-b916-fbd46d2a83b5>
- Food and Agriculture Organization (FAO) & Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). (2015). *Estado mundial del recurso suelo 2015 (SWSR)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Intergovernmental Technical Panel on Soils. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc27dd36-e535-44a4-827a-efc032ca9b41/>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1996). *Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (Estudio FAO Montes N.º 131). https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s04.htm#P5_56
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soil Resources Reports No. 102. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <https://www.fao.org/4/y5738e/y5738e00.htm>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2006). *Guía para la descripción de perfiles de suelo* (4.ª ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *Portal de suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/soildegradation-restoration/es/>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *El estado de los recursos de tierras y aguas para la alimentación y la agricultura en el mundo – Sistemas al límite*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/land-water/solaw2021>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2025). *Definiciones sobre el suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Gacitúa, C. (2017). *Propiedades químicas de suelo en líneas de piedra con *Atriplex nummularia* Lindl. y aplicación de estiércol de caprino en una ladera degradada de la Región de*

- Coquimbo* (Tesis de pregrado, Universidad de Chile). Repositorio Institucional Uchile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152810>
- Gardi, C., Jeffery, S., Saltelli, A., Gottschalk, P., & Kaminski, M. (2013). An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology*, 19(5), 1538–1548. <https://doi.org/10.1111/gcb.12159>
- Gliessman, R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mcgraw-hill.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (N° 83). IICA Biblioteca Venezuela.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. (2008). *Guía de descripción de perfiles de suelos*. INIA.
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., & Doran, J. W. (2003). Soil quality: Current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, 74, 1–40. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)74033-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)74033-3)
- Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF). (2018). *Métodos seguidos en el análisis de suelos y tabla de interpretación*. Facultad de Agronomía – Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Lahuatte, B. C., & Recalde, M. A. (2015). *Propiedades físico-químicas del suelo como instrumentos de evaluación a las estrategias de restauración implementadas en áreas degradadas de páramo: Caso de estudio: microcuencas Antisana y Pita* (Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional). Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11300>
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>

- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3–S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- Leoni, C., Cerecetto, V., Gilsanz, J. C., Reggio, A., Silvera, M., Smalla, K., & Babin, D. (2020). ¿Es posible restaurar la salud del suelo? Lecciones aprendidas en el experimento de largo plazo con sistemas hortícolas a campo. *Revista INIA*, (62), 103–107. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14725/1/Revista-INIA-62-Setiembre-2020-p-103-107.pdf>
- Lipa, J. (2017). *Caracterización físico-química del suelo y vegetación de referencia con fines de restauración ecológica en la concesión minera Sol Naciente V, distrito de Inambari, Tambopata, Madre de Dios* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios). Repositorio Institucional UNAMAD. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/249>
- Liu, N., Li, Y., Wang, Q., Zhou, R., Gaffney, P. P. J., Liu, M., Shi, R., Gao, Z., Chu, H., Niu, S., Ma, L., & Wang, J. (2025). Restoration recovers plant diversity but changes species composition and biomass allocation in an alpine peatland. *Ecological Processes*, 14(24). <https://doi.org/10.1186/s13717-025-00591-3>
- López, R. (2002). *Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de los Andes.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Martínez, D. Y. (2019). *Relación de la macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, distrito Monzón, provincia Huamalíes* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14077/2288>
- Martínez, E., Rodríguez, A., & Soledad, M. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Island Press. Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

- Ministerio de Agricultura (MINAG). (2011). *Cadena agroproductiva de papa: Manejo y fertilidad de suelos* (pp. 67-74). Dirección General de Competitividad Agraria.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Guía para el muestreo de suelos* (Primera ed.). Dirección General de Calidad Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Ortiz, C. (2016). *Influencia de una plantación de Eucalyptus camaldulensis y Opuntia sp. en las propiedades físicas y químicas del suelo de la estación experimental "Mario Ávila Hernández"* (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo). Repositorio Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/2cbb4347-f3a9-4300-9f16-2be60e95a125>
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2), 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>
- Parr, JF, Papendick, RI, Hornick, SB y Meyer, RE (1992). Calidad del suelo: atributos y relación con la agricultura alternativa y sostenible. *Revista Estadounidense de Agricultura Alternativa*, 7 (1-2), 5-11.
- Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13(1), 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa.
- Puerta, R. H. (2007). *Modelo digital de elevación del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/80678075-47e5-4b29-810f-36a8897de5b4>
- Puerta, R. H., & Cárdenas, P. (2012). El bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). *Xilema*, 25(1), 18-21.
- Quinto, C. E. (2016). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado* (Tesis

- de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f87898aa-3e57-4b6c-8528-28c34c7ca77f/content>
- Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R., & Díaz, A. R. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53-54, 77-88.
- Ramos, Á. P. dos, Lima, S. S. de, Ferreira, C. dos S., Pinto, L. A. R. da S., Ferreira, R., Dias, A., Matos, P. S., & Pereira, M. G. (2025). Macrofauna y propiedades del suelo en sistemas agroforestales y bosques secundarios. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 49, e0240091. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20240091>
- Rhoades, J. D., Chanduvi, F., & Lesch, S. M. (1999). *Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 57). FAO.
- Ritz, K., Black, H. I. J., Campbell, C. D., Harris, J. A., & Wood, C. (2009). Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators*, 9(6), 1212–1221. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.009>
- Rodríguez, D. G. (2024). *Propiedades físico-químicas del suelo bajo plantaciones forestales nativas en áreas degradadas por la minería no metálica – Chongos Alto – Huancayo* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Repositorio Institucional. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11068>
- Rodríguez, J. N., & Ruíz, F. J. (2016). *Propuesta metodológica para el monitoreo, control y recuperación del suelo mediante bioaumentación de microorganismos para sitios de disposición final de residuos sólidos* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/275
- Ruiz, G. P. (2016). *Estudio físicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Cakra, provincia de Yauyos, Lima*. (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Sánchez, P. A. (1976). *Properties and management of soils in the tropics*. Wiley.
- Sandoval-García, R., Jiménez-Pérez, J., Yerena-Yamallel, J. I., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E. A., & Gómez-Meza, M. V. (2022). Estrategias de restauración



- ecológica asociadas a reforestaciones de *Pinus cembroides* Zucc., en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822298. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822298>
- Schaetzl, R. J., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). *Subíndice de uso sustentable del suelo: Metodología de cálculo*. FAO-SAGARPA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2012: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. Capítulo 3: Suelos*. SEMARNAT. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161446/Cap_CC_completo.pdf
- Sepúlveda, T. V. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto Nacional de Ecología.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2025). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Souza, J. M. de, Pires, F. R., Pezzopane, J. R. M., Chagas, K., Nascimento, A. F., Rodrigues, J. O., Czepak, M. P., & Nascimento, A. L. (2024). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en sistemas de cultivo intercalado de café Conilon*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 48, e0230056. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230056>
- Tocto, M. L. (2025). *Relación de la macrofauna con las propiedades físicas y químicas del suelo en plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth de tres edades, Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/dc54ca3c-8cd6-4609-bf36-aa31f068dbf5>
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Soil quality test kit guide*. Agricultural Research Service & Natural Resources Conservation Service – Soil Quality Institute.

- United States Department of Agriculture (USDA). (2017). *Soil texture classification*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Vargas, R. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. FAO. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473665e53aa8c89630cce74>
- Vargas, Y., y Valdivia, L. A. (2005). Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cicales) en la Selva Alta del Perú. *Mosaico Científico*, 2(2), 78-83.
- Zavaleta, G. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Zuazo, V. H. D., & Pleguezuelo, C. R. R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 65–86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>


ANEXOS

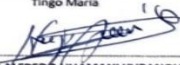
Anexo 1. Resultados de análisis de suelos emitido por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la UNAS.

Apéndice 1. Resultados de la evaluación inicial, 01 de mayo de 2024.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA		Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología																						
		<h1>ANALISIS DE SUELOS</h1> 																						
		SOLICITANTE:		RUIZ ARCE AVED EFER																				
PROCEDENCIA:		BRUNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO																						
RECIBO N°:		45913																						
FECHA DE REPORTE:		TINGO MARIA 03 DE MAYO 2024																						
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																								
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				ANALISIS QUIMICO								ANALISIS QUÍMICO									
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio	
	Ao	Arc	Lo	dS/m	M.O.		total	Orgánico	disponible	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio											Aluminio
CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CMBIABLES												
1	S24-300	M1	43.14	29.85	27.01	Franco Arcilloso	4.23	0.050	3.10	0.155	1.801	2.032	108.835	--	2.855	0.376	0.336	0.215	2.753	2.130	8.664	43.647	56.353	31.769
2	S24-301	M2	41.14	29.85	29.01	Franco Arcilloso	4.06	0.048	2.53	0.127	1.470	2.769	91.704	--	1.910	0.271	0.171	0.102	2.363	1.450	6.266	39.158	60.842	37.702

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.




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

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	RUIZ ARCE AVED EFER
PROCEDENCIA:	BRUNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO
RECIBO N°:	46157
FECHA DE REPORTE:	03 DE MAYO 2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS FISICO	
			Húmedad	Densidad Aparente
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	H°	Da
1	S24-302	M1 - A (0-10)	31.47	1.26
2	S24-303	M1 - B (10-20)	47.35	1.22
3	S24-304	M2 - A (0-10)	79.59	1.03
4	S24-305	M2 - B (10-20)	54.63	1.24

Los Resultados presentados son válidos unicamente 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 ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Apéndice 2. Resultados de la evaluación final, 07 de noviembre de 2024.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	RUIZ ARCE AVED EFER	FECHA DE REPORTE:	14/11/2024
PROCEDENCIA:	TINGO MARIA	FECHA DE RECEPCIÓN:	7/11/2024
REFERENCIA:	MUESTRA: SUELO	RECIBO N°	59254

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS FÍSICO					ANÁLISIS QUÍMICO					ANÁLISIS QUÍMICO											
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	pH	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		dS/m	1:1	1:1	M.O.	total	Orgánico	disponible		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno		%	%	%
			CODIGO DEL LABORATORIO	REFERENCIA	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CAMBIABLES Cmo(+)/kg					%	%	%		
1	S24-1223	MUESTRA 1 PLANTACIÓN CUADRADO	44.0	32.5	23.5	Franco Arcilloso	0.04	4.18	2.78	0.139	1.614	2.992	91.939	---	2.140	0.356	0.153	0.124	2.858	2.290	7.920	35.010	64.990	36.078
2	S24-1224	MUESTRA 2 PLANTACIÓN CIRCULAR	26.0	38.5	35.5	Franco Arcilloso	0.05	4.10	3.36	0.168	1.948	4.330	104.093	---	2.930	0.447	0.212	0.162	2.970	2.440	9.161	40.943	59.057	32.421

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 HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	RUIZ ARCE AVED EFER
PROCEDENCIA:	TINGO MARIA
RECIBO N°:	59255
FECHA DE REPORTE:	14/11/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS FÍSICO	
			Húmedad	Densidad Aparente
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	H° %	Da g/cm³
1	S24-1225	M1 -A (0-10)	38.54	1.07
2	S24-1226	M1 -B (10-20)	36.13	1.24
3	S24-1227	M2 -A (0-10)	39.88	1.36
4	S24-1228	M2 -B (10-20)	34.42	1.55

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 ALBERTO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Anexo 2. Resultados de identificación de macroinvertebrados emitido por el Laboratorio de Entomología de la UNAS.

Apéndice 1. Resultados de la evaluación inicial, 01 de mayo de 2024.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria
Departamento Académico de Ciencias Agrarias
LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

EL JEFE DEL LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARIA, CERTIFICA:

QUE, DE LAS 24 MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS EDAFICOS ENVIADAS POR EL SR. AVED EFER RUIZ ARCE, ALUMNO Y TESISISTA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL, DE FACULTAD DE RECURSOS NATURALES SE HAN IDENTIFICADO LOS SIGUIENTES ESPECIMENES:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Obreras de <i>Atta cephalotes</i> L. | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 2. Larvas de hormigas | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 3. Pupas de hormigas | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 4. Adultos de hormigas | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 5. Adultos de termites | (Isoptera: Termitidae) |
| 6. Larvas de escarabajos | (Coleoptera: Elateridae) |
| 7. Larvas de escarabajos | (Coleoptera: Tenebrionidae) |
| 8. Larvas de escarabajos | (Coleoptera: Scarabaeidae) |
| 9. Larvas de lepidópteros | (Lepidoptera: Geometridae) |
| 10. Larvas de lepidópteros | (Lepidoptera: Noctuidae) |
| 11. Adultos de diabroticas | (Coleoptera: Chrysomelidae) |
| 12. Adultos de corrodentios | (Psocoptera: Psocidae) |
| 13. Adultos de tijeretas | (Dermaptera: Carcinophoridae) |
| 14. Adultos de chinches | (Hemiptera: Reduviidae) |
| 15. Arañas lince | (Arachnida: Oxyopidae) |
| 16. Arañas patonas | (Arachnida: Pholcidae) |
| 17. Ciempiés o escolopendra | (Arthropoda: Chilopoda) |
| 18. Milpies | (Arthropoda: Diplopoda) |
| 19. <i>Porcelio laevis</i> Lat. | (Isopoda: Porcellionidae) |
| 20. <i>Lumbricus terrestris</i> L. | (Haplotaxida: Lumbricidae) |
| 21. Huevos de <i>Lumbricus terrestris</i> L. | (Haplotaxida: Lumbricidae) |
| 22. Nematodo | (Tylenchida: Heteroderidae) |

SE OTORGA EL PRESENTE DOCUMENTO PARA LOS FINES QUE CREA CONVENIENTE.

TINGO MARIA, 08 DE MAYO DE 2024.

Apéndice 2. Resultados de la evaluación final, 07 de noviembre de 2024.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
Departamento Académico de Ciencias Agrarias
LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA



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

EL JEFE DEL LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARIA, CERTIFICA:

QUE, DE LAS 27 MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS EDAFICOS ENVIADAS POR EL SR. AVED EFER RUIZ ARCE, TESISISTA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL, DE FACULTAD DE RECURSOS NATURALES SE HAN IDENTIFICADO LOS SIGUIENTES ESPECIMENES:

- | | | |
|-----|---|-------------------------------|
| 1. | Obreras de <i>Atta cephalotes</i> L. | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 2. | Adultos de hormigas | (Hymenoptera: Formicidae) |
| 3. | Adultos de cucarachas | (Blattodea: Blatellidae) |
| 4. | Adultos de cucarachas | (Blattodea: Blableridae) |
| 5. | Ninfas de tijeretas | (Dermaptera: Carcinophoridae) |
| 6. | Adultos de termitas | (Isoptera: Termitidae) |
| 7. | Adultos de cigarritas | (Hemiptera: Cicadellidae) |
| 8. | Ninfas de cigarritas | (Hemiptera: Cicadellidae) |
| 9. | Adultos de chinches encaje | (Hemiptera: Tingidae) |
| 10. | Adultos de chinches | (Hemiptera: Lygaeidae) |
| 11. | Larvas de escarabajos | (Coleoptera: Elateridae) |
| 12. | Larvas de escarabajos | (Coleoptera: Scarabaeidae) |
| 13. | Adultos de escarabajos | (Coleoptera: Tenebrionidae) |
| 14. | Adultos de escarabajos | (Coleoptera: Staphylinidae) |
| 15. | Adultos de escarabajos | (Coleoptera: Carabidae) |
| 16. | Adultos de diabroticas | (Coleoptera: Chrysomelidae) |
| 17. | Adultos de escarabajos | (Coleoptera: Nitidulidae) |
| 18. | Arañas saltadoras | (Arachnida: Salticidae) |
| 19. | Ciempis o escolopendra | (Arthropoda: Chilopoda) |
| 20. | <i>Porcelio laevis</i> Lat. | (Isopoda: Porcellionidae) |
| 21. | Adultos de <i>Lumbricus terrestris</i> L. | (Haplotaxida: Lumbricidae) |
| 22. | Huevos de <i>Lumbricus terrestris</i> L. | (Haplotaxida: Lumbricidae) |
| 23. | Nematodo | (Tylenchida: Heteroderidae) |

SE OTORGA EL PRESENTE DOCUMENTO PARA LOS FINES QUE CREA CONVENIENTE.

TINGO MARIA, 16 DE DICIEMBRE DE 2024.

Blgo. M. Sc. José Luis GIL BACILIO
Jefe del Laboratorio de Entomología
Celular: 937514633
F.A. – UNAS

Anexo 3. Panel fotográfico.



Figura 19. Instalación de banner de tesis.



Figura 20. Extracción de suelo de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, para determinar la densidad aparente.



Figura 21. Extracción de suelo en el cuadrante 25 x 25 cm, para evaluar macrofauna edáfica.



Figura 22. Búsqueda manual de macrofauna.



Figura 23. Aplicación de alcohol 70° a la macrofauna encontrada.



Figura 24. Muestras de suelo en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la UNAS.