

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



CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO EN LA COMUNIDAD NATIVA
NUEVO MUNDO, DISTRITO MEGANTONI, PROVINCIA LA CONVENCION -
CUZCO

Tesis

Para optar al título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

LEYDI MORELIA LINARES GRANDEZ

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 031-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 15 de enero de 2026, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO EN LA COMUNIDAD NATIVA
NUEVO MUNDO, DISTRITO MEGANTONI, PROVINCIA LA CONVENCION-
CUZCO”**

Presentado por la Bachiller: **LINARES GRANDEZ, LEYDI MORELIA** 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, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 13 de marzo de 2026


Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE


Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO


Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO


Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR





UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"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 110 - 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 en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE | |
|--|-------------------------------|-----------------|--|
| | | SIMILITUD | CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL |
| CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO EN LA COMUNIDAD NATIVA NUEVO MUNDO, DISTRITO MEGANTONI, PROVINCIA LA CONVENCION - CUZCO | LEYDI MORELIA LINARES GRANDEZ | 14 % Catorce | Menor a 20 % |

Tingo María, 07 de abril de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION UNIDAD DE GESTIÓN
DE LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”
“Año de la recuperación y la consolidación de la economía peruana”
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO (FIF)

| | |
|-------------------------------|--|
| Universidad | : Universidad Nacional Agraria de la Selva |
| Facultad | : Recursos Naturales Renovables |
| Escuela Profesional | : Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua |
| Título de la Tesis | : Calidad del suelo en sistemas de uso en la Comunidad Nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco |
| Objetivo General | : Evaluar la Calidad del suelo en sistemas de uso en la Comunidad Nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco. |
| Autor de la Tesis | : Linares Grandez, Leydi Morelia |
| DNI | : 76854308 |
| Correo Electrónico | : leydi.linares@unas.edu.pe |
| Asesores | : MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo |
| Área de Investigación | : Ciencias Básicas |
| Grupo de Investigación | : Ciencias Básicas |
| Línea de investigación | : Física y química de Suelos |
| Lugar de Ejecución | : Comunidad Nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco |
| Fecha Inicio | : 01/ 02/2025 |
| Fecha Termino | : 01/07/2025 |
| Presupuesto | : S/ 5 870,70 |
| Financiamiento | : Propio (x) FEDU () Externo () |

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



CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO EN LA COMUNIDAD NATIVA
NUEVO MUNDO, DISTRITO MEGANTONI, PROVINCIA LA CONVENCION -
CUZCO

Área de investigación : Ciencias básicas
Grupo de investigación : Ciencias básicas
Grupo de investigación : Física y química de Suelos
Autor : Linares Grandez, Leydi Morelia
Asesor de Tesis : Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Lugar de ejecución : Comunidad Nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco
Duración del trabajo : Fecha Inicio 01/02/2025 Fecha Término 01/07/2025
Financiamiento : S/ 5 870,70
FEDU No
Propio Si
Otros No

Tingo María – Perú

2026

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría y fortaleza, gracias por guiar mis pasos en cada momento de este camino. Por ser mi luz en los momentos de incertidumbre y por darme la perseverancia para alcanzar esta meta.

A mis padres: Por ser mi pilar incondicional, mi motor y el motivo que me impulsa a cumplir mis sueños. Les dedico esta tesis con todo mi amor y gratitud, porque gracias a ustedes llegare a ser un profesional. Me formaron con valores, humildad y fortaleza, y me enseñaron a no rendirme nunca, incluso cuando el camino se volvía cuesta arriba. Su ejemplo, su esfuerzo y su fe en mí han sido la luz que me ha guiado en cada paso

A David: Por acompañarme en este camino que no ha sido nada fácil. Tu apoyo incondicional, tus palabras de aliento y tu amor han sido el impulso que necesitaba para seguir adelante. Admiro profundamente tu historia, tu esfuerzo y tu dedicación para convertirte en contador de profesión. Tu perseverancia me inspira, y tu ejemplo me motiva a seguir luchando por mis propios sueños. Esta tesis no solo representa mi esfuerzo, sino también el amor, la paciencia y el compromiso que compartimos.

Con todo mi cariño, esta tesis es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para seguir adelante en cada etapa de este proceso, y permitirme llegar a este momento tan importante de vida.
- A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva, institución que forjó mi formación académica y profesional. Gracias por brindarme las herramientas, los conocimientos y los valores que hoy me permiten alcanzar este logro.
- A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, quienes con dedicación y pasión compartieron sus saberes y experiencias.
- Al MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, mi asesor, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos, críticas constructivas y motivación fueron fundamentales para culminar este trabajo.
- A mis jurados evaluadores, por honrarme con su tiempo, experiencia y valiosas aportaciones para enriquecer esta tesis.
- A mis abuelitos, por ser ejemplo de sabiduría, fortaleza y amor. Gracias por sus enseñanzas, por sus oraciones silenciosas y por el cariño que siempre me han brindado. Su presencia en mi vida ha sido una bendición, y su legado me inspira a seguir luchando por mis sueños con humildad y perseverancia.
- A mis padres, Con todo mi amor y gratitud, les agradezco profundamente por ser mi pilar incondicional, mi guía y mi mayor fuente de fortaleza. Gracias por educarme con valores, por enseñarme a luchar con humildad y por estar siempre presentes, incluso en los momentos más difíciles. Su esfuerzo, sacrificio y fe en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro. Esta tesis es el reflejo de todo lo que me han enseñado y del amor que me han brindado sin medida.
- A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Esta tesis es fruto de un esfuerzo compartido.

INDICE

| | Página |
|---|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Marco teórico | 3 |
| 2.1.1. El uso de suelo..... | 3 |
| 2.1.2. La calidad del suelo | 4 |
| 2.1.3. Indicadores de la calidad del suelo | 4 |
| 2.1.4. Inventario de la macrofauna edáfica..... | 4 |
| 2.1.5. Importancia de macrofauna en el suelo | 5 |
| 2.1.6. Densidad de macrofauna en el suelo | 6 |
| 2.1.7. Diversidad de especies | 6 |
| 2.1.8. Cuantificación de la diversidad de especies | 6 |
| 2.1.9. Factores que influyen en la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo..... | 8 |
| 2.1.10. Biomasa microbiana | 9 |
| 2.1.11. La biodiversidad | 9 |
| 2.1.12. Diversidad de especies..... | 9 |
| 2.1.13. Riqueza biológica | 10 |
| 2.1.14. Diversidad alfa..... | 10 |
| 2.2. Estado del arte | 10 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 14 |
| 3.1. Lugar de ejecución | 14 |
| 3.1.1. Ubicación política..... | 14 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica..... | 14 |
| 3.1.3. Datos climáticos | 14 |
| 3.1.4. Fisiografía..... | 15 |
| 3.1.5. Hidrografía | 15 |
| 3.1.6. Accesibilidad | 15 |
| 3.1.7. Descripción de las parcelas | 16 |
| 3.2. Materiales y equipos..... | 16 |
| 3.2.1. Materiales | 16 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2. Equipos | 17 |
| 3.3. Generalidades de la investigación | 17 |
| 3.3.1. Enfoque de investigación | 17 |
| 3.3.2. Tipo de investigación | 17 |
| 3.3.3. Nivel de investigación | 17 |
| 3.3.4. Diseño de la investigación..... | 17 |
| 3.3.5. Población y muestra | 17 |
| 3.3.6. Variables de investigación..... | 18 |
| 3.3.7. Operacionalización de variables..... | 19 |
| 3.3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 20 |
| 3.4. Metodología | 20 |
| 3.4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 20 |
| 3.4.2. Identificar y cuantificar la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 22 |
| 3.4.3. Determinar la densidad (ind.m ²), biomasa (g.m ²) y diversidad (Índice H') de especies de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 24 |
| 3.4.4. Relacionar características físicas, químicas y biológicas en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 25 |
| 3.5. Análisis e interpretación de datos estadísticos | 25 |
| 3.6. Análisis estadístico de la investigación..... | 27 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 30 |
| 4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 30 |
| 4.1.1. Propiedades físicas | 30 |
| 4.1.2. Propiedades químicas | 33 |
| 4.2. Identificar y cuantificar la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 40 |
| 4.2.1. Análisis de la diversidad y abundancia de la macrofauna del suelo..... | 40 |
| 4.3. Determinar la densidad (ind.m ²), biomasa (g.m ²) y diversidad (Índice H') de especies de macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 45 |

| | |
|---|----|
| 4.3.1. Densidad de macrofauna presente en los cuatro sistemas de uso del suelo | 45 |
| 4.3.2. Biomasa de macrofauna presente en los cuatro sistemas de uso del suelo | 45 |
| 4.3.3. Diversidad de especies de macrofauna | 46 |
| 4.4. Relacionar los indicadores físicos y químicos del suelo con la densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo | 48 |
| 4.4.1. Estadísticas descriptivas de abundancia y diversidad | 48 |
| V. CONCLUSIONES | 55 |
| VI. PROPUESTAS A FUTURO | 56 |
| VII. REFERENCIAS | 61 |

INDICE DE TABLAS

Tabla

| | |
|---|----|
| 1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) del área de investigación..... | 15 |
| 2. Vías de comunicación y acceso a la comunidad nativa Nuevo Mundo..... | 17 |
| 3. Clasificación de las variables en estudio. | 20 |
| 4. Indicadores físicos y químicos para evaluar..... | 23 |
| 5. Métodos para determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos en los SUS. | 26 |
| 6. Textura del suelo de los sistemas de uso (SUS). | 33 |
| 7. Densidad aparente (g.cm^3) del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS)..... | 34 |
| 8. Resistencia a la penetración (Kg/cm^2) del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS)..... | 36 |
| 9. El pH en el suelo en cuatro sistemas de uso (SUS). | 37 |
| 10. Materia orgánica en el suelo en cuatro sistemas de uso (SUS). | 38 |
| 11. Nitrógeno total del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS). | 39 |
| 12. Fósforo disponible del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS). | 40 |
| 13. Potasio disponible del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS). | 41 |
| 14. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS)..... | 42 |
| 15. Análisis de la abundancia total (ind/m^2) de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS)..... | 45 |
| 16. Densidades de macrofauna edáfica en cuatro sistemas de uso. | 47 |
| 17. Biomasa de macrofauna edáfica en cuatro sistemas de uso. | 47 |
| 18. Índice de diversidad de Shannon – Wiener (H') para cuatro sistemas de uso SUS. | 48 |
| 19. Índice de diversidad taxonómica de la macrofauna para cuatro sistemas de uso SUS. | 49 |
| 20. Estadísticas descriptivas para la abundancia de macrofauna (ind.m^2) por SUS..... | 51 |
| 21. Identificación de outliers de la abundancia de macrofauna (ind/m^2) por SUS..... | 51 |
| 22. Estadísticas descriptivas para la diversidad (Índice H') de la macrofauna en los diferentes SUS. | 52 |
| 23. Identificación de outliers del índice de diversidad de Shannon-Wiener por SUS. | 52 |
| 24. Indicadores consolidados con base en los valores por SUS. | 55 |
| 25. Matriz de correlación que incluye únicamente coeficientes de correlación fuertes y estadísticamente significativos ($ r > 0.90$; $p < 0.05$)..... | 57 |
| 26. Correlación de Pearson por ordenes.. | 65 |
| 27. Correlación de Pearson Top bioindicadores. | 69 |

INDICE DE FIGURAS

Figura

| | |
|--|----|
| 1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico en cda uno de los SUS a ser evaluados..... | 22 |
| 2. Muestreo para macrofauna del suelo. | 25 |
| 3. Diagrama de caja (boxplot) de una distribución casi normal y una función de densidad de probabilidad de una distribución normal. Fuente: Galarniyk, (2024)..... | 29 |
| 4. Proporción de arena, arcilla y limo en cuatro sistemas de uso del suelo de la comunidad Nativa Nuevo Mundo | 34 |
| 5. Densidad aparente en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad Nativa Nuevo Mundo..... | 35 |
| 6. Resistencia a la penetración del suelo (RPS) en cuatro sistemas de uso en la comunidad Nativa Nuevo Mundo | 36 |
| 7. Valores de pH del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 37 |
| 8. Valores de materia orgánica del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 38 |
| 9. Valores del nitrógeno total del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 39 |
| 10. Valores de fósforo disponible del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo .. | 40 |
| 11. Valores de potasio disponible del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo .. | 41 |
| 12. Valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 43 |
| 13. Proporción de individuos por orden en cada sistema de uso (SUS) en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 44 |
| 14. Análisis visual de la distribución de grupos de macrofauna del suelo según cada (SUS) en la comunidad nativa Nativa Nuevo Mundo | 46 |
| 15. Gráfico tipo boxplot – Abundancia. Muestra la dispersión del número total de individuos por metro cuadrado en cada sistema de uso | 53 |
| 16. Gráfico tipo boxplot – Índice de diversidad (H'). Muestra la dispersión de los valores del índice H' en cada sistema de uso del suelo | 54 |
| 17. Heatmap. Mapa de calor generado a partir de la matriz de correlación de Pearson | 58 |
| 18. Empadronamiento de los beneficiarios del proyecto..... | 70 |
| 19. Visita de campo para verificar el sistema de uso de cacao..... | 70 |
| 20. Reunión de los pobladores con las autoridades de la Municipalidad de Megantoni..... | 71 |
| 21. Firma de padrones por los beneficiarios del proyecto..... | 71 |

| | |
|--|----|
| 22. Mapa de ubicación de la comunidad nativa Nuevo Mundo. | 72 |
| 23. Recolección de muestra de suelo sistema Sotobosque o purma. | 73 |
| 24. Recolección de muestra de suelo sistema de uso bosque primario. | 73 |
| 25. Toma de coordenada del muestreo de suelos profundidad de 0 – 30 cm. | 74 |

RESUMEN

Esta investigación evaluó la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (purma, cacao, plátano y bosque primario) en la Comunidad Nativa Nuevo Mundo, Cuzco, mediante el análisis de propiedades físicas, químicas y biológicas como indicadores de sostenibilidad. Se recolectaron muestras de suelo a tres profundidades en parcelas de 1 ha, evaluando textura, densidad, pH, materia orgánica, nutrientes y macrofauna edáfica. El bosque primario presentó mejores condiciones fisicoquímicas, destacando por su mayor contenido de materia orgánica (2.35%), pH moderadamente ácido (6.2), alta capacidad de intercambio catiónico y mayor diversidad y biomasa de macrofauna, con Isóptera e Hymenoptera como indicadores. En contraste, el sistema de plátano mostró suelos compactados y menor fertilidad. Se evidenció una correlación positiva entre materia orgánica, nitrógeno y abundancia de macrofauna. Se concluye que el uso del suelo influye en su calidad, siendo el bosque primario el más sostenible, mientras que los sistemas agrícolas presentan deterioro por manejo intensivo.

Palabras clave: macrofauna edáfica, propiedades fisicoquímicas, sistemas de uso, Cuzco, sostenibilidad.

ABSTRACT

In this research the quality of the soil was evaluated for four systems of use (purma, cacao, plantain, and primary forest) in the Nuevo Mundo native community in Cuzco, [Peru,] through an analysis of the physical, chemical and biological properties as indicators of sustainability. Soil samples were collected at three depths on one acre plots [and the] texture, density, pH, organic matter, nutrients, and edaphic macrofauna were evaluated. The primary forest presented the best physicochemical conditions, standing out for its greater content of organic matter (2.35%), moderately acidic pH (6.2), high cation exchange capacity, and the greater diversity and biomass of the macrofauna, with Isoptera and Hymenoptera as the indicators. In comparison, the system with plantains revealed compacted soil and lower fertilization. A positive correlation was evidenced between the organic matter, nitrogen and the abundance of the macrofauna. It was concluded that the soil use influenced the quality, with the primary forest being the most sustainable, while the agricultural systems presented deterioration due to intensive management.

Keywords: soil quality, edaphic macrofauna, physicochemical properties, systems of use, Cuzco, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú la calidad del suelo varía según el sistema de uso, que determina cómo se maneja y se explota la tierra, fomentando las buenas prácticas agrícolas y promoviendo la diversificación de cultivos, considerando factores como la calidad del suelo, el clima, el tipo de cultivo y las prácticas agrícolas con la participación de agricultores. Está determinada por factores químicos, físicos y biológicos. Los sistemas de manejo sostenible, como los bosques y agroforestería, suelen mantener una alta calidad del suelo, mientras que sistemas más intensivos como la agricultura intensiva pueden degradar el suelo si no se manejan adecuadamente

Las propiedades físicas y químicas del suelo son fundamentales para determinar su calidad y capacidad para sostener plantas, regular el agua, y mantener la biodiversidad, están estrechamente relacionadas con los sistemas de uso del suelo, ya que el tipo de actividad humana que se realice en un área determinada puede tener un impacto significativo en estas características del suelo. En base a este contexto se ha planteado la siguiente interrogante ¿Como será la calidad del suelo en los sistemas de uso en la Comunidad Nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención, departamento Cuzco?, es pertinente mencionar que la planificación adecuada y el manejo responsable de las actividades humanas siempre son fundamentales para mantener la salud y la funcionalidad del suelo en los diferentes sistemas de uso del suelo de cualquier región.

La investigación se justifica porque las propiedades físicas y químicas del suelo en los sistemas de uso es esencial para promover prácticas sostenibles, conservar los recursos naturales, proteger el medio ambiente y garantizar la seguridad alimentaria, en tal sentido la comprensión profunda de estas propiedades nos proporciona una base sólida para el desarrollo de políticas y estrategias que aseguren la gestión adecuada y responsable de nuestros suelos y la protección de los ecosistemas terrestres.

En base a estas consideraciones y la importancia por aportar una visión integral y comparativa de la calidad del suelo en diferentes sistemas de uso, incorporar nuevas tecnologías para su monitoreo, estudiar el impacto del cambio climático, desarrollar indicadores específicos para ecosistemas locales. Además, la participación de las comunidades locales podría enriquecer el proceso y garantizar que los resultados sean aplicables y beneficiosos a nivel local, formulándose para ello la hipótesis: La calidad del suelo presenta valores diferentes en los sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco, por tanto, se plantea los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la Calidad del suelo en los sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo, distrito Megantoni, provincia la Convención - Cuzco.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.
- Identificar y cuantificar la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.
- Determinar la densidad, biomasa y diversidad de especies de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.
- Correlacionar las propiedades físicos y químicos del suelo con la densidad y biomasa de la macrofauna en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El uso de suelo

El término "uso" se refiere a las distintas formas de ocupación y aprovechamiento de la tierra por parte de los seres humanos, como la agricultura, la ganadería, el desarrollo urbano o el uso recreativo. Así mismo examina la relación entre el cambio en el uso del suelo y la pérdida de biodiversidad, ofreciendo una visión global sobre cómo las transformaciones del paisaje, especialmente en regiones tropicales, están acelerando la pérdida de especies (Vliet, 2020).

Hansen (2020) en su investigación analizó las tendencias recientes y las políticas necesarias para abordar los desafíos futuros, como la deforestación y la expansión agrícola son causantes de la transformación del paisaje, así como la pérdida de su biodiversidad en el uso del suelo. Mientras que para López et al. (2015) los usos del suelo se refieren a las diversas maneras en que se utiliza un terreno y su cobertura vegetal. Estos usos y el grado en que se explotan tienen un impacto significativo en la apariencia y características del paisaje. Cuando se producen modificaciones en los usos del suelo, se generan cambios en la forma en que se utiliza la tierra y su vegetación. Estos cambios pueden resultar en alteraciones notables en el paisaje y en las funciones ecológicas de la zona en cuestión (López *et al.*, 2015).

Para Turner (2024) el uso del suelo es como una herramienta crítica para garantizar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. Destacan la necesidad de enfoques integrados que equilibren las demandas agrícolas con la conservación de suelos y la biodiversidad.

El uso del suelo se refiere a los efectos de las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo sobre una determinada área de cobertura. Estas actividades están vinculadas a la explotación de los recursos naturales para la producción de bienes y servicios. Es importante considerar que el territorio no puede ser visto como un sistema aislado de los procesos sociales. Debe ser concebido como un conjunto integrado compuesto tanto por aspectos naturales como sociales, los cuales son dinámicos y están sujetos a cambios a lo largo del tiempo.

El suelo es un componente natural de los ecosistemas, y de gran importancia en la sostenibilidad de estos (Castelán et al., 2017). La tasa a la cual se descomponen todos los restos vegetales depende de factores ambientales como la temperatura, precipitaciones y además también depende de las diferentes especies forestales (Moreno et al., 2018).

2.1.2. La calidad del suelo

Definido como la capacidad de promover el desarrollo animal y vegetal, conservar la calidad del agua y el aire, y preservar la salud humana, dentro de límites ecosistémicos naturales o gestionados. Incluye la productividad y fertilidad del suelo, implicando su capacidad para retener, atraer y liberar nutrientes, elementos químicos esenciales y agua. Las variaciones en la calidad del suelo se manifiestan en cambios en sus indicadores.

En zonas tropicales, los indicadores físicos del suelo más afectados por ciertos cultivos son la densidad aparente (D_a) y la resistencia a la penetración (R_p), que tienden a aumentar, indicando una compactación severa. Químicamente, se observan efectos negativos en el pH, la materia orgánica (MO), el nitrógeno (N), el potasio (K^+), el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}), junto con un aumento no deseado del Al^{3+} , %AC y %SAI. Estos efectos se atribuyen al uso excesivo de insumos químicos en la producción, que provoca la degradación del suelo a largo plazo (Celis et al., 2020).

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo define la calidad del suelo como *la capacidad de un suelo específico para funcionar y mantener la productividad animal o vegetal, la calidad del agua y el aire, y la salud humana, dentro de los límites ecosistémicos naturales o de manejo.*" (Bautista y Etchevers, 2014).

2.1.3. Indicadores de la calidad del suelo

Evalúan la suficiencia del suelo para funcionar de manera óptima, promoviendo la productividad de plantas y animales, y conservando la calidad del agua y el aire (Ramírez et al., 2022). Esta evaluación se basa en indicadores cualitativos o cuantitativos. Los indicadores fisicoquímicos del suelo son indicadores clave que afectan su funcionalidad. Los indicadores físicos se relacionan con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los agroquímicos, mientras que los químicos reflejan condiciones que influyen en las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora y la disponibilidad de nutrientes (Nuñez, Pérez, & Prado, 2023). Los indicadores biológicos, como la presencia y abundancia de organismos o sus procesos, señalan cambios o estados en los parámetros o etapas del suelo.

2.1.4. Inventario de la macrofauna edáfica

- Recolección por transecto lineal

Siguiendo el método estándar lineal propuesto por Anderson & Ingram (1993), citado por Cabrera et al. (2017), basado en el Programa Internacional sobre la Biología

y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF) para el inventario de la macrofauna edáfica, se sugiere el siguiente procedimiento:

1. Extraer de 8 a 10 monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad en cada área, distribuidos diagonal y aleatoriamente cada 5 metros. Para ello, delimitar un cuadrante de 25 x 25 cm y excavar el suelo.
2. Colocar todo el contenido del suelo en bandejas o plásticos de polietileno grandes para cuantificar y recolectar manualmente la macrofauna visible, utilizando pinzas y pinceles.
3. Depositar la macrofauna extraída en frascos de plástico con tapa que contengan formaldehído al 4% para la conservación de lombrices de tierra y alcohol etílico al 70 – 75 % para preservar el resto de la macrofauna.
4. Identificar cada frasco con una etiqueta que incluya el número de monolito, lugar, fecha y tipo de ecosistema.
5. Para el estudio de la distribución vertical, separar y recolectar el monolito por capas de 0 - 10, 10 – 20 y 20 - 30 cm. La hojarasca puede incluirse en la capa de 0 - 10 cm, o reconocerse como un estrato independiente.
6. Reincorporar el suelo extraído al cuadrante abierto.

2.1.5. Importancia de macrofauna en el suelo

La macrofauna comprende organismos de 2 a 20 mm de longitud que se desplazan activamente sobre el suelo, creando galerías para su hábitat. Este grupo incluye miriápodos (quilópodos y diplópodos), arácnidos, insectos (hormigas, isópteros y coleópteros), crustáceos isópodos, moluscos y oligoquetos (lombrices de tierra). Los macroinvertebrados de la superficie, como lombrices de tierra y termitas, se alimentan de MO en desgaste (raíces, hojarasca y estiércol), contribuyendo al ciclo de nutrientes, la porosidad y aireación del suelo. Los detritívoros, como escarabajos y mosquitos, consumen material vegetal y animal en distintas etapas de desgaste. La macrofauna también incluye carnívoros y herbívoros, que se desarrollan dentro y sobre el suelo, consumiendo diversos tipos de plantas y otros invertebrados, regulando así el material vegetal y actuando como reguladores biológicos del ecosistema (Díaz & Arcelis, 2019; Orteja, 2018).

La macrofauna del suelo comprende invertebrados de al menos 10 mm de largo y 2 mm de ancho, visibles a simple vista, que habitan dentro o sobre el suelo (hojarasca). Los microorganismos del suelo establecen relaciones simbióticas beneficiosas con las plantas:

las raíces liberan compuestos orgánicos que los alimentan, y a cambio, los microorganismos descomponen estos compuestos, liberando nutrientes esenciales para las plantas (Gonzaga et al., 2021). Este intercambio favorece la salud y el crecimiento de ambos. Su presencia y actividad son cruciales para la salud y el funcionamiento de los ecosistemas.

La actividad microbiana del suelo participa en los ciclos biogeoquímicos de C, N y P. Los microorganismos se clasifican según su obtención de C y energía: heterótrofos (nutrición por oxidación de compuestos orgánicos) y autótrofos (obtención de C a partir de CO₂ y otras fuentes inorgánicas), siendo los heterótrofos predominantes en la rizosfera. Géneros como *Streptotrophomonas* y *Variibacter* mineralizan P; *diazótrofos* como *Rhizobium*, *Azobobacter* y *Azospirillum* fijan y transforman N, formando nódulos en las raíces de leguminosas (Zheng, 2021).

2.1.6. Densidad de macrofauna en el suelo

Primero se determina la abundancia de la macrofauna en un sistema, seguida de una evaluación de la densidad para cada grupo de especies, grupo familiar o grupo funcional (Rojas, 2019). La densidad se evalúa en ind/m² utilizando un cuadrado de 0,25 m x 0,25 m (1/16 m²). Los datos de cada sitio de muestreo se multiplican por 16 para calcular el número de individuos por m² (Valdez, 2021).

2.1.7. Diversidad de especies

Chase (2020) definen la diversidad de especies como un reflejo de la complejidad de las interacciones entre especies y su adaptación a diferentes nichos ecológicos y tiene dos criterios:

- a) **Riqueza de especies:** Se refiere al número de especies existentes en un espacio determinado.
- b) **Heterogeneidad:** Se refiere a la riqueza de especies y la abundancia de cada especie en un ámbito determinado.

2.1.8. Cuantificación de la diversidad de especies

Jost (2021) propone que la diversidad de especies debe cuantificarse usando índices que capturen tanto la riqueza como la distribución de abundancias de las especies, como el índice de diversidad de Shannon y el índice de Simpson.

- Índice de diversidad de Simpson (D)

Barton (2022) menciona que existen métodos estadísticos para calcular e interpretar el índice de Simpson. Destacan la importancia de considerar la variabilidad y el sesgo en las estimaciones del índice cuando se trabaja con datos de muestreo. Este índice es útil

para el monitoreo ambiental por lo que miden la variación de las especies más abundantes por alguna alteración. La fórmula se muestra a continuación:

$$D = \sum_{i=1}^S (p_i^2) \quad (1)$$

Donde:

p_i = cantidad de individuos total de la muestra que pertenecen la especie ($p_i = n_i/N$)

n_i = abundancia de la especie i

N = Número total de individuos en toda la comunidad

Simpson mide la dominancia dentro de una comunidad, por lo tanto, se debe restar 1 para determinar la diversidad.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i^2) \quad (2)$$

Según Simpson los valores de la diversidad se encuentran en un rango de 0 a 1, cuando se aproxima a 1 tiene mayor dominancia y si se acerca más al cero indica menor dominancia

- Índice de Equitatividad o uniformidad (E)

Teniendo en cuenta a Jost (2019), menciona que revisa diversos índices de diversidad, incluido el índice de equitatividad. Discute cómo se calcula la equitatividad usando la fórmula de Shannon, que es una forma común de medir la uniformidad en la distribución de abundancias. Donde mide la cantidad de la diversidad observada en cada muestra con relación a la máxima diversidad esperada, se encuentra en rango de 0 a 1; la cual indica el 1 de que todas las especies son igualmente abundantes. Cuya fórmula se expresa así:

$$E = J = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

Donde:

J = índice de equidad de Pielou

\ln = logaritmo natural

S = Riqueza de especies

- Índice de diversidad Shannon-Wiener (H')

Tal como menciona Magurran (2021), ofrece una visión completa sobre diversos índices de diversidad, incluyendo el índice de Shannon-Wiener. Explica cómo calcular y utilizar H' en estudios de biodiversidad, y cómo este índice puede reflejar la complejidad y la equidad de las comunidades ecológicas. La fórmula se muestra a continuación:

$$H' = \sum_{i=1}^S (p_i \log(p_i)) \quad (4)$$

Para el cálculo se puede utilizar diversos logaritmos: ln, log₁₀ y log₂.

$$H' = \sum_{i=1}^S (p_i \ln(p_i)) \quad (5)$$

Donde:

H' = Diversidad de especies

S = Número de especies

Pi = Cantidad de individuos total de las muestras que pertenecen

la especie

ln = Logaritmo natural

Cuando se calculan la diversidad con diferentes logaritmos, los resultados de los datos se tienen con las siguientes unidades:

ln: bels naturales /individuo ó nats/individuo

log₁₀: decits/individuo

log₂: bits/individuo (digito binario).

Los valores de este índice generalmente varían entre una escala de 1.5 a 3.5, en excepciones pueden llegar o puede sobrepasar al 4.5

2.1.9. Factores que influyen en la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo

La macrofauna del suelo (como lombrices y escarabajos) influye en la descomposición de la materia orgánica y la dinámica del carbono en el suelo. Destacan que la densidad y diversidad de la macrofauna están fuertemente influenciadas por la calidad de la materia orgánica y la estructura del suelo. Los factores como la textura del suelo, la humedad y el contenido de materia orgánica afectan la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo. Señalan que su presencia es crucial para la aireación del suelo y la formación de estructuras de agregados, lo que a su vez influye en la biodiversidad. (Gasser & Brady, 2020)

Zhang (2021), mencionan que el uso del suelo (como la agricultura intensiva, la forestación y la urbanización) afecta la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo. Identifican que la conversión de tierras y la perturbación del suelo tienen impactos significativos en la biodiversidad de la macrofauna y la variabilidad en la estructura del suelo, el contenido de nutrientes, y el pH son factores determinantes para la densidad y diversidad de la macrofauna.

2.1.10. Biomasa microbiana

La biomasa microbiana se refiere a la masa total de microorganismos vivos en un volumen de suelo dado. La riqueza y biomasa de macroinvertebrados varían significativamente según el uso del suelo y la profundidad, siendo mayores en la capa superficial (hojarasca y 0-10 cm).

La abundancia de macroinvertebrados varía según el uso del suelo y la estabilidad de las condiciones naturales del ecosistema, como la insolación (temperatura), la humedad relativa, la estructura de la vegetación y la descomposición de la fitomasa. (Porta et al., 1999, citado por Merino, 2021).

2.1.11. La biodiversidad

El estado actual del conocimiento sobre la relación entre biodiversidad y funcionamiento del ecosistema. Enfatizan la importancia de la biodiversidad para la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas y discuten direcciones futuras para la investigación. Como también exploran los principales impulsores de la pérdida de biodiversidad, incluyendo el cambio en el uso del suelo, la contaminación, y el cambio climático. Ofrecen una visión integral de cómo estas amenazas impactan la biodiversidad y proponen soluciones para mitigar estos efectos (Cardinale & Hooper, 2023)

2.1.12. Diversidad de especies

La macrofauna del suelo incluye invertebrados que habitan dentro o sobre el suelo. Estos invertebrados (gusanos, termitas, insectos, milpiés, ciempiés, arácnidos, y otros) pueden superar las 1000 especies en un solo entorno, alcanzando densidades de más de 1 000 000 de individuos y una biomasa de más de una tonelada por hectárea. Para medir la diversidad local, se utilizan archivos de datos, destacando aquellos que se basan en la hipótesis de datos, como los índices de Shannon-Wiener y Simpson. Este último estudia la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar en una zona local pertenezcan a la misma especie. En la conservación de la naturaleza, se prioriza la riqueza de especies, por lo que es necesario emplear índices que consideren las especies menos abundantes, como el índice de Shannon-Wiener. (Jost, 2021).

2.1.13. Riqueza biológica

Una mayor riqueza biológica suele estar asociada con una mayor estabilidad y resiliencia de los ecosistemas, y que la pérdida de especies puede llevar a una disminución de estos beneficios ecosistémicos. (Hooper, 2020)

2.1.14. Diversidad alfa

La diversidad de especies en una comunidad particular influye en el funcionamiento del ecosistema. Argumentan que la diversidad alfa es crucial para la estabilidad y la capacidad de un ecosistema para ofrecer servicios ecosistémicos. Es crucial para la estabilidad y la capacidad de un ecosistema para ofrecer servicios ecosistémicos y como la diversidad de especies dentro de una comunidad, y discuten cómo diferentes métricas pueden ofrecer perspectivas variadas sobre la estructura de las comunidades (Schmind, 2023).

Definen la diversidad alfa como la variedad de especies en un hábitat específico, y enfatizan la importancia de considerar la abundancia relativa de las especies además del simple conteo de especies para obtener una visión completa de la diversidad alfa (Diaz & Cramer, 2023).

2.2. Estado del arte

Zabaleta y González (2018) investigaron 33 parcelas de café pertenecientes a cafetaleros de la Cooperativa Agraria Cafetalera Fe y Esperanza del Valle del Alto Mayo en el distrito de Jepelacio, provincia de Moyobamba, región San Martín, así como dos bosques secundarios adyacentes. Concluyeron que los Formícidos, Isóptera y oligoquetos fueron la macrofauna más frecuente, presentando distribuciones aproximadamente normales. Araneae, Heteroptera, larvas de Coleptera e Isoptera se encontraron con menor frecuencia, también con distribuciones casi normales. La distribución de larvas de Araneae, larvas de Coleptera, Heteroptera, Isoptera, oligochaeta y Dermanthera mostraron una media casi simétrica, mientras que los demás grupos siguieron una distribución asimétrica.

Blas (2021) en su estudio “Estudio de la calidad de suelo por parámetros, según el tipo de uso en San Alejandro Irazola – Ucayali”, trabajó en una zona de bosque tropical húmedo de selva baja (altitud de 160 a 400 msnm) con terrenos ondulados, montañosos, terrazas bajas y humedales cubiertos de vegetación. La temperatura promedio fue de 26,8°C (máxima de 27,0°C y mínima de 26,6°C), la humedad relativa media del 78,9%, y la precipitación media anual de 2510,1 mm/año (estación San Alejandro), con lluvias más intensas de noviembre a marzo y menos intensas de abril a octubre. Una pendiente plana o casi plana con una pendiente de 0 a 8

grados, por lo que durante la temporada de lluvias provoca que las aguas de San Alejandro se inundan. Obteniendo como resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo el bosque y la siembra directa del cacao presentan textura franca, densidad aparente ($1,1 \text{ g/cm}^3$ y $1,2 \text{ g/cm}^3$), conductividad hidráulica ($35,1 \text{ cm/h}$ y $48,8 \text{ cm/h}$), humedad (26% y 22%), materia orgánica (1,63% y 1,86%), pH (5,99 y 6,35), Nitrógeno total (0,07% y 0,08%), Fósforo ($7,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $7,67 \text{ mg.kg}^{-1}$), Potasio ($0 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ y $0,09 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) y el bosque secundario y pastizal presentan textura franco arcilloso limoso, DA ($1,5 \text{ g/cm}^3$ y $1,2 \text{ g/cm}^3$), conductividad hidráulica (43 cm/h y $51,8 \text{ cm/h}$), humedad (22% y 23%), materia orgánica (1,48% y 1,63%), pH (7,06 y 5,5), Nitrógeno total (0,07% y 0,07%), Fósforo ($8,42 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $6,36 \text{ mg.kg}^{-1}$), Potasio ($0,21 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ y $0,12 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$).

Azañero (2020) señala que la expansión agrícola en áreas frágiles exige evaluaciones de la calidad del suelo. Este estudio determinó y comparó la calidad del suelo mediante el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) en sistemas agroforestales (SAF), cacaos (CO) y bosques secundarios (BS) en Rio Espino, Monzón (Huánuco-Perú). El estudio no experimental, descriptivo y comparativo, analizó textura, DA, Rp, infiltración, temperatura, pH, P, MO, nitrógeno total, K, Ca, Mg y la CIC en cada sistema. Los resultados indicaron una calidad de suelo aceptable en el sistema agroforestal, sensible en el bosque secundario y marginal en el cocal. En conclusión, según la metodología SUSS, el SAF presentó el mayor índice de calidad, aunque con parámetros ocasionalmente alejados de los valores óptimos, mientras que el CO mostró el menor índice y los indicadores más distantes de los valores deseables, demostrando la eficacia del SUSS para medir los cambios en la calidad del suelo según su uso.

Valdez (2021) investigó la macrofauna en suelos cultivados con *Coffea arábica* L. (variedades Catimor y Caturra) de diferentes edades en Pueblo Libre, Moyobamba, San Martín. Mediante el método estándar lineal TSBF, determinó la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna, así como sus correlaciones. Encontró 10 órdenes en suelos de 1 año y 11 en suelos de café de 4, 8 y 10 años. Los suelos de 10 años presentaron la mayor densidad (141 ind/m^2) y biomasa (37.67 g/m^2), mientras que los de 4 años mostraron la menor (55 ind/m^2 y 23.9 g/m^2 , respectivamente). La mayor diversidad de macrofauna se observó en suelos de 4 años (1.165 nats/ind) y la menor en suelos de 8 años (0.959 nats/ind). Los suelos de 1 y 4 años fueron más homogéneos y con menor equidad, con mayor dominancia de macrofauna en suelos de 8 años y menor en suelos de 10 años. La densidad mostró una diferencia significativa entre las

distintas edades de plantación y profundidades, así como entre los grupos taxonómicos encontrados.

En su investigación, Fernández (2024) determinó las propiedades fisicoquímicas, la diversidad de la macrofauna edáfica y las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y biológicos en tres SUS en el caserío Cajatambo, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento de San Martín. El análisis estadístico descriptivo reveló los siguientes resultados: Los SUS presentaron una textura franco arcillosa. En el bosque primario, la DA fue de 1,45 g/cm³ y la RPS de 1,64 kg/cm². El bosque primario mostró un pH moderadamente ácido, bajo contenido de nitrógeno, MO y CIC, un nivel medio de fósforo y bajo potasio disponible. Se identificaron 15 órdenes de macrofauna en los sistemas de uso del suelo, con predominancia de Isóptera y Haplotaxida en el suelo agroforestal (382 y 250 individuos/m², respectivamente). La mayor diversidad (índice de Shannon-Wiener = 0,91) se observó en el bosque primario. Se encontró una correlación positiva media entre la macrofauna y la densidad aparente en el sistema de uso excocal, y entre la macrofauna y la RPS en el sistema agroforestal. El potasio mostró una relación positiva media con la macrofauna en el bosque primario. En conclusión, existen diferencias significativas en los indicadores fisicoquímicos y biológicos entre los SUS.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

Realizado en la comunidad nativa Nuevo Mundo con una población de 1179 habitantes distribuidas en 236 familias, ubicada a la margen izquierda de la ciudad de Megantoni, en un territorio de la comunidad de 13 905,61 hectáreas, donde cada productor tiene a su cargo en promedio de 4 a 8 hectáreas adjudicadas por la comunidad: los cuatro sistemas de uso que serán analizados en la investigación serán de purma 1 ha, cacao 1 ha, plátano recién sembrados 1 ha y bosque primario 1 ha, los cuales se ubican las coordenadas UTM (tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas UTM Zona 18 Sur (Datum WGS 84, UTM/UPS) área de investigación.

| Sistemas de uso del suelo | Coordenadas geográficas (UTM) | | Altitud (msnm) |
|--|-------------------------------|---------|----------------|
| | Este | Norte | |
| Purma | 695799 | 8740786 | 340 |
| <i>Theobroma cacao</i> (cacao cultivado) | 696059 | 8725804 | 345 |
| <i>Musa</i> sp (Plátano) | 691504 | 8742528 | 348 |
| Bosque primario | 695288 | 8740254 | 350 |

Políticamente la comunidad nativa Nuevo Mundo se encuentra ubicada en el distrito de Megantoni, provincia la Convención, región Cuzco. Presenta las coordenadas UTM de la zona 18 Sur con 696501 Este y 8725970 Norte y una altitud de 342 m.s.n.m.

3.1.2. Ubicación geográfica

La comunidad nativa Nuevo Mundo se encuentra dentro del distrito Megantoni, provincia de la Convención - Cuzco, cuyas coordenadas geográficas son: 11°43'12" de Latitud Sur, 72°56'46" de Longitud Oeste, con una altitud de 342 msnm.

3.1.3. Datos climáticos

La zona de estudio presenta una temporada de lluvias de noviembre a junio, con precipitaciones que oscilan entre 150 y 250 mm. Los meses más secos son de julio a septiembre. La precipitación anual total es de 2000 mm.

La comunidad nativa Nuevo Mundo tiene un clima subtropical con lluvias torrenciales frecuentes de octubre a abril, y temperaturas elevadas con mínimas lluvias de mayo a septiembre. Ubicada en una zona de selva alta, presenta alta humedad y una temperatura media de 25°C, con máximas de 32°C y mínimas de 19°C.

3.1.4. Fisiografía

A nivel regional el distrito de Megantoni tiene una configuración topografía accidentada con niveles de altitud van desde los 277 msnm hasta los 2500 msnm orientados hacia el Norte del distrito. Ello hace por tanto que se pueda dividirse en tres grandes paisajes originados por el modelado de la superficie y competitividad de litología dominante típica de una zona transicional al llano amazónico. De acuerdo con información del ZEE-Cusco Estos grandes paisajes se dividen en paisaje de llanuras flúvio-aluviales, paisaje de colinas y paisaje de montañas.

- El paisaje de llanuras flúvio-aluviales, que comprende llanuras o valles de inundación, representa el 48.88% del distrito y se encuentra en áreas aledañas a los principales ríos.
- El paisaje colinoso, caracterizado por ondulaciones pronunciadas que no superan los 300 metros sobre el nivel de base local, ocupa el 30.39% del distrito y se extiende hacia el oeste en la zona de estudio.
- El paisaje montañoso, correspondiente a montañas bajas de la Cordillera Oriental con pendientes pronunciadas que sobrepasan los 300 metros sobre el nivel de base local debido a la acción tectónica y orogénica, ocupa el 15.68% del distrito, pero no está presente en la zona de estudio.

3.1.5. Hidrografía

La cuenca principal lo conforma el río Vilcanota, cuyos afluentes río del Alto Urubamba, Camisea, Picha, Huitiricoya y Mishahua, que fluyen desde la sierra del Cuzco a través de un recorrido aproximadamente de 926 Km entre su nacimiento y su desembocadura al río Vilcanota.

3.1.6. Accesibilidad

La accesibilidad a la zona de investigación vía terrestre a través de la carretera asfaltada desde la ciudad del Cuzco – Quillabamba – Ivochote con una distancia aproximada

de 447 km, de Ivochote a la comunidad Nuevo Mundo es a través de un transporte fluvial, de 40 minutos aproximadamente. Tabla 2.

Tabla 2. Vías de comunicación y acceso a la comunidad nativa Nuevo Mundo.

| Ruta | Tramo | Vías de acceso | Distancia (km) | Tiempo Aproximado (Horas) | Estado |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------------|---------|
| Principal | Cusco - Quillabamba | Carretera asfaltada | 237 | 5 | Bueno |
| | Quillabamba - Kiteni | Carretera asfaltada | 130 | 3 | Regular |
| | Kiteni - Ivochote | Trocha afirmada | 80 | 3 | Regular |
| | Ivochote - Comunidad Nativa de Nuevo | Transporte fluvial | | 7 | Bueno |

3.1.7. Descripción de las parcelas

El sistema de uso purma o soto bosque, el cambio de uso de bosque a purma se realizó hace catorce años aproximadamente y se encuentra en un proceso de transición, se localiza a una altitud de 340 msnm. Con presencia de especies que tipifican el área como *Cecropia membranacea* (cetico), *Trema micrantha* (atadijo), *Micrandra spruceana* (higuerilla), *Parkia multijuga* (pashaco) y algunas lianas presentes en esta.

El sistema de uso *Theobroma cacao* (cacao) de la variedad CCN51. Se encuentra a una altitud de 345 msnm, en producción y fue sembrada aproximadamente hace 2 años.

El sistema de uso *Musa sp* (plátano). Se encuentra a una altitud de 348 msnm, recién fue sembrada aproximadamente hace 3 meses.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Wincha de 50 m, libreta de campo, fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, cuadrado muestreador, cilindro muestreador, machete, pala recta, lupa, papel secante, Agua destilada, alcohol y formol.

3.2.2. Equipos

Termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), balanza de precisión, estufa, peachímetro y estereoscopio.

3.3. Generalidades de la investigación

3.3.1. Enfoque de investigación

Fue cuantitativo, ya que buscó medir y determinar sus parámetros físicas y químicas por efecto de los cuatro SUS, es decir SU purma, SU cacao, SU plátano y SU Bosque primario en la comunidad nativa Nuevo Mundo, utilizando datos recolectados de campo y analizados en laboratorio (Supo, 2016).

3.3.2. Tipo de investigación

Fue aplicada, porque utilizó conocimientos científicos para resolver un problema práctico: determinar sus parámetros físicos y químicos por efecto de los cuatro SUS, es decir SU purma, SU cacao, SU plátano y SU Bosque primario en la comunidad nativa Nuevo Mundo, (Sánchez y Reyes, 2006).

3.3.3. Nivel de investigación

De acuerdo con la clasificación de Supo (2016), esta investigación fue de tipo correlacional, porque se enfocó en la explicación de un fenómeno, como es el uso de los sistemas de uso tienen un efecto sobre las características fisicoquímicos y biológicos en el suelo.

3.3.4. Diseño de la investigación

Es no experimental, transversal y comparativo, según Hernández Sampieri et al. (2014), porque no se manipularon deliberadamente las variables, sino porque se observó y analizo tal como ocurrió en su contexto natural. En este caso, el estudio fue transversal porque la recolección de datos se realizó en un único momento en el tiempo, y es comparativo porque busco constatar los valores de los parámetros fisicoquímicos y relacionar con la diversidad biológica entre los diferentes sistemas de uso del suelo.

3.3.5. Población y muestra

De acuerdo con la clasificación de Supo (2016), esta investigación fue de tipo descriptivo, comparativo, porque se enfocó en la explicación de un fenómeno, como es el uso de los sistemas de uso tienen un efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y biológicos en el suelo.

La población es toda el área de los SUS (purma, cacao, plátano y bosque primario). La muestra fueron los cuatro sistemas de uso del suelo, cada una de 1 ha.

La muestra fueron los suelos muestreados asociados con la presencia de cada uno de los sistemas de uso en la presente investigación.

Para el muestreo de las variables fisicoquímicas se realizaron en cada parcela de 100 m × 100 m correspondiente a cada SUS, los suelos se muestrearon al azar siguiendo un patrón en zigzag, obteniéndose un promedio de 25 submuestras por parcela.

Para el muestreo de macrofauna del suelo, a partir de un transecto lineal de 40 m trazado, se extrajo un monolito de 25 x 25 x 30, se tomaron tres muestras de suelo por parcela a diferentes profundidades, en total se analizaron 15 submuestras (5 x 3) haciendo un total de 45 muestras a una profundidad de 30 cm., diferenciadas por estratos sucesivos:

- 0 a 10 cm de profundidad
- 10 a 20 cm de profundidad
- 20 a 30 cm de profundidad

Las recolectas siguieron el protocolo del Tropical Soil Biology and Fertility handbook – TSBF (Anderson & Ingram, 1993).

3.3.6. Variables de investigación

La presente investigación contempla la evaluación de la calidad del suelo a través del análisis correlacional entre variables seleccionadas, las cuales representan distintos aspectos del uso del suelo, sus propiedades edáficas y sus efectos ecológicos. La clasificación de estas variables en categorías específicas permite establecer un marco metodológico riguroso para interpretar las interacciones entre los sistemas evaluados.

Para la investigación se consideraron las siguientes variables dependientes e independientes:

Variable independiente

Las variables independientes corresponden a aquellos factores definidos por el diseño experimental que se presume influyen directamente en otras variables del sistema. En este estudio, se identifican como los Sistemas de Uso del Suelo (SUS), integrados por cuatro coberturas principales (Tabla 2).

Variable dependiente (X) = Propiedades físicas y químicas

Las variables dependientes reflejan los efectos observables derivados de los cambios en las variables independientes. En este caso, se consideran la Abundancia y la Diversidad de la macrofauna edáfica como indicadores clave de la respuesta ecológica ante las distintas coberturas vegetales (Tabla 2).

3.3.7. Operacionalización de variables

Por su parte, las variables intervinientes o mediadoras pueden influir o modificar la relación entre las variables independientes y dependientes. Estas variables físicas y químicas proporcionan información crítica sobre las condiciones del suelo, e incluyen: DA, RPS, pH, MO, N, P, K y CIC (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de las variables en estudio.

| Variable | Dimensiones | Indicadores | Índices | |
|----------------------------|---------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------|
| Variable independiente (X) | Sistemas de uso del suelo | Tipos de sistemas de uso del suelo (SUS) | Sotobosque o purma | ha |
| | | | <i>T. cacao</i> | ha |
| | | | <i>Musa sp</i> | ha |
| | | | Bosque primario | ha |
| Variable dependiente (Y) | Propiedades biológicas | Biológicas (macrofauna edáfica) | Abundancia | Individuos (m ²) |
| | | | Diversidad (riqueza de especies) | Índice de Shannon-Wiener (H') |
| | Propiedades físicas | Físicas | Textura | Granulometría |
| | | | Densidad Aparente (DA) | g/cm ³ |
| | | | Resistencia a la penetración (RPS) | Kg/cm ² |
| | | | pH | Rangos |
| | Propiedades químicas | Químicas | Materia orgánica (MO) | % |
| | | | Nitrógeno (N) | % |
| | | | Fósforo (P) | ppm |

| Potasio (K) | K ₂ O |
|--|-------------------------------------|
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | (Cmol(+) \cdot kg ⁻¹) |

3.3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó la observación directa, dado que se realizó el registro de variables en campo y laboratorio sin manipular los fenómenos, mediante el levantamiento sistemático de información en los sistemas de uso del suelo. El instrumento de recolección fue una ficha de campo y laboratorio, diseñada para anotar los datos correspondientes a cada componente evaluado (suelo, raíces, biomasa herbáceas y hojarasca). Esta ficha tuvo casillas para registrar: Identificación de los SUS. Profundidad de muestreo de suelo. Muestreo e identificación de la macrofauna (diversidad). Datos de laboratorio para definir los parámetros físicos y químicos. Observaciones generales.

3.4. Metodología

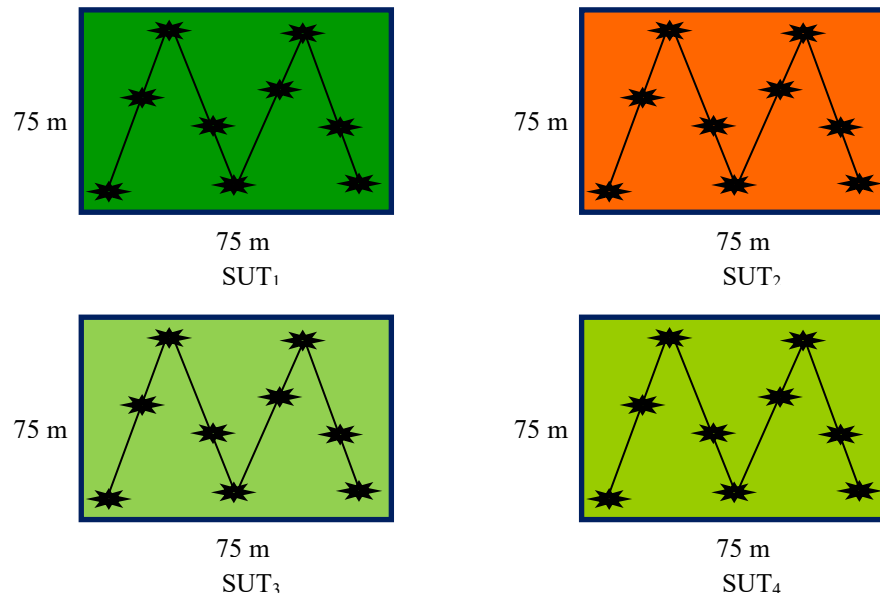
3.4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo

- Coordinación con los propietarios de los sistemas de uso

Las coordinaciones se realizaron con el fin de visitar los sistemas de uso del suelo con Sotobosque o purma, *T. cacao* (cacao), *Musa sp.* (plátano) y bosque primario, en la comunidad nativa Nuevo Mundo, con la finalidad de asegurar el día en que se realizará el muestreo de suelos y de los microorganismos.

- Delimitación y georreferenciación de las parcelas

Para tal efecto se delimitaron las cuatro parcelas o transectos de 75 m x 75 m en cada sistema de uso del suelo (es decir, uno en cada sistema), los cuales fueron: purma, cacao, plátano y bosque primario, posteriormente se realizó el muestreo correspondiente. Los suelos fueron muestreados al azar en forma de zigzag donde se obtuvieron un promedio de 25 submuestras con la ayuda de una pala recta, los cuales fueron depositados en un costal de yute para luego homogenizarlo y obtener una muestra de un kilogramo que fueron enviados al laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía.



* Unidad de muestreo

Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico en cada uno de los SUS a ser evaluado.

- **Muestreo de la densidad aparente del suelo en los sistemas de uso**

Para determinar la densidad aparente, se seleccionaron puntos de muestreo y se limpió un área de 40 x 40 cm. Se introdujo horizontalmente un cilindro metálico en el suelo con un martillo hasta su total cobertura. Tras extraer el cilindro con la muestra, se enrasaron los bordes y se trasladaron al laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía. Se registraron las medidas y el peso del cilindro, así como el peso fresco del suelo. Las muestras se secaron en estufa a 105 °C durante 72 horas, registrando el peso seco para determinar la densidad aparente mediante la ecuación correspondiente:

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}} \text{----- (1)}$$

- **Resistencia a la penetración del suelo en los sistemas de uso**

La RPS se midió en los mismos puntos de muestreo de la densidad aparente. En cada punto, se limpió el área y se realizó un corte en el suelo. Se introdujo el penetrómetro horizontalmente en el perfil del corte, registrando las lecturas en kg/m².

- **Determinación de las propiedades físicas y químicas**

El estudio de las muestras obtenidas de las parcelas se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, adscrita a la facultad de Agronomía.

Se ubicaron los puntos de muestreo en cada parcela con Sotobosque o purma, *T. cacao* “cacao”, *Musa sp.* “plátano” y bosque primario, en la comunidad nativa Nuevo Mundo, en cada una de estas se colectaron un aproximado de 25 submuestras a lo largo de un trayecto de zigzag con la ayuda de una pala recta, cada muestra de suelo fue depositada en un costal de yute para ser homogenizada y de esta mezcla de suelo homogenizada se extrajo una muestra compuesta de un kilogramo (1 kg), la misma que fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, etiquetada con sus respectivas coordenadas y ubicación de la muestra.

Esta metodología garantizó que la muestra final represente adecuadamente las condiciones generales del suelo. La técnica en zigzag aseguró una distribución uniforme de las muestras, evitando sesgos ocasionados por variaciones locales específicas en el suelo.

Tabla 41. Indicadores físicos y químicos para evaluar.

| Indicadores físicos y químicos | Método de determinación |
|--|------------------------------------|
| Textura del suelo | Método del hidrómetro de Bouyoucos |
| Densidad aparente | Método del cilindro metálico |
| Resistencia a la penetración del suelo | Penetrómetro |
| Reacción del suelo | Método del potenciómetro |
| Materia orgánica | Método de Walkley y Black |
| Nitrógeno total | Método del micro-Kjeldahl |
| Fósforo disponible | Método del Olsen modificado |
| Potasio disponible | Extracción con acetato de amonio |
| CIC | Saturación con acetato de amonio |

3.4.2. Identificar y cuantificar la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

- Muestreo de macrofauna

Los puntos de muestreo se definieron mediante un plan sistemático, trazando un transecto lineal de 40 m. Se tomaron monolitos de 25 cm x 25 cm x 30 cm a intervalos de 10 m, obteniendo cinco muestras por tratamiento a diferentes profundidades (hojarasca de 1 m,

0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm). El diseño metodológico siguió el protocolo del Tropical Soil Biology and Fertility handbook – TSBF (Anderson & Ingram, 1993). (Figura 4).

- **Colección de especies de macrofauna del suelo en los sistemas de uso**

Una vez obtenido el monolito, se desmenuzó la muestra por cada estrato, los organismos recolectados fueron preservados en soluciones de alcohol al 70% y 80%, o formol al 4% hasta 10%, según la naturaleza del cuerpo (blando o endurecido). Los envases herméticos fueron enumerados, codificados por los tres estratos distintos y posteriormente identificados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Mediante el uso de claves de identificación, la clasificación taxonómica se realizó a nivel de filo y orden, distinguiéndose entre insectos (Clase Insecta) y otros macroinvertebrados, como arácnidos, anélidos y moluscos. Se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica en los tres estratos distintos de los cinco monolitos (media de $5 \times 3 = 15$ submuestras).

- **Identificación y conteo de la macrofauna del suelo en los sistemas de uso**

En el laboratorio los individuos fueron cuantificados en términos de: i) abundancia (ind/m²) y densidad relativa promedio (%), ii) biomasa (g/m²) y iii) diversidad (Índice H' de Shannon-Weaver, Shannon, 1948) de cada unidad taxonómica en los sistemas de uso.

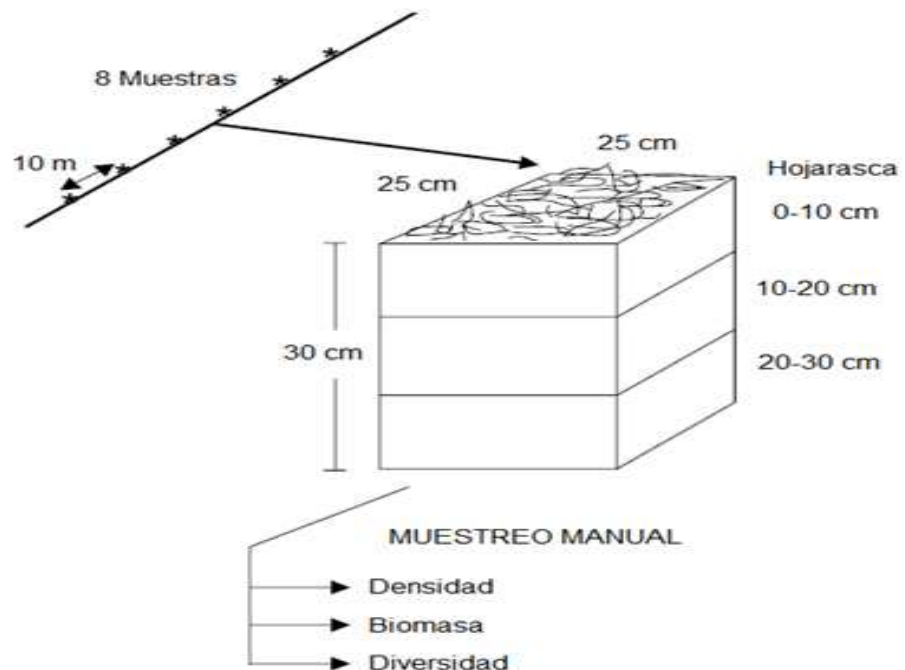


Figura 2. Muestreo para macrofauna del suelo.

- **Conteo y estructura de macrofauna del suelo en los sistemas de uso**

Se sumó el total de los individuos por taxón en cada SUS. El conteo se expresó utilizando factores de conversión basados en el área muestreada (0.0625 m² por monolito) y para ello se utilizó un estereoscopio, para los órdenes Hymenoptera e Isoptera, se empleó un contómetro digital para asegurar precisión en el conteo.

3.4.3. Determinar la densidad (ind.m²), biomasa (g.m²) y diversidad (Índice H') de especies de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

Para determinar la de densidad (ind/m²), biomasa (g.m²) y Diversidad (Índice H') se ubicaron primero los puntos de muestreo, conforme lo explicado en el protocolo del Tropical Soil Biology and Fertility handbook – TSBF (Anderson & Ingram, 1993).

- **Densidad de macrofauna (número de individuos/m²)**

La densidad de macrofauna (ind/m²) se determinó según la metodología de Correa (2011). Debido a que cada muestreo cubrió 1/16 m² (cuadrado de 25 cm de lado), los datos de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para obtener la densidad en ind/m².

- **Biomasa de macrofauna (g.m²)**

La biomasa de la macrofauna se determinó pesando los individuos, y los valores de biomasa (g/m²) se corrigieron por la pérdida de peso durante la fijación con alcohol y formalina. Los factores de corrección fueron: 19% para lombrices de tierra, 9% para hormigas, 11% para escarabajos, 6% para arañas y 13% para otros macroinvertebrados (Correa, 2011). Al igual que en los cálculos de densidad, los datos de biomasa de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para obtener las unidades de g/m².

- **Registro de valores**

El registro de los valores se presenta a través de los métodos de determinación correspondientes a los indicadores físicos: 1) método del hidrómetro de Bouyoucos, para textura del suelo (Bouyoucos, 1962); 2) método por volumen y peso húmedo y seco, para densidad aparente (Blake & Hartge, 1986); 3) método directo (penetrómetro), para resistencia a la penetración (Herrick & Jones, 2002). Indicadores químicos: 1) método de Walkley y Black, para porcentaje de MO (Walkley & Black, 1934); 2) método de Kjeldahl, para porcentaje de nitrógeno total (Kjeldahl, 1883); 3) método de Olsen, para fósforo disponible (ppm) (Olsen et al., 1954); 4) método del ácido sulfúrico, para potasio disponible (kg K₂O ha⁻¹) (Pratt, 1965). Indicadores biológicos: 1) método directo para la recolección, el conteo y el pesaje de la

macrofauna edáfica, para densidad de la macrofauna (Anderson & Ingram, 1993); 2) método de Shannon-Weaver, para diversidad de especies (Shannon, 1948). Tabla 5.

Tabla 5. Métodos para determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos en los SUS.

| Método de determinación de indicadores físicos, químicos y biológicos | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | Textura | Densidad aparente | Resistencia a la penetración (RPS) | |
| Indicadores físicos | Método de Hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1982) | Por volumen, peso húmedo y seco (Blake & Hartge, 1986) | Método directo (penetrómetro) (Herrick & Jones, 2002) | |
| | Materia orgánica | Nitrógeno total | Fósforo disponible | Potasio disponible |
| Indicadores químicos | Método de Walkley y Black (Walkley & Black, 1934) | Método de Kjeldahl (Kjeldahl, 1883) | Método de Olsen (Olsen et al., 1954) | Método del ácido sulfúrico (Pratt, 1965) |
| | Densidad de la macrofauna | Biomasa de la macrofauna | Diversidad de especies | |
| Indicadores biológicos | Método directo para la recolección, el conteo y el pesaje de la macrofauna edáfica (Anderson & Ingram, 1993) | | Método de Shannon - Wiener (Shannon, 1948) | |

3.4.4. Relacionar características físicas, químicas y biológicas en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo

Fue realizado considerando los valores, porcentajes relativos y parámetros para obtener un índice de calidad del suelo, siguiendo la metodología propuesta por Chen (2000), Doran y Lincoln (1999) y Porta et al. (1999).

3.5. Análisis e interpretación de datos estadísticos

La interpretación de los datos consistió en establecer inferencias en base a los resultados de estadística descriptiva. Esta nos permitió sacar conclusiones acertadas sobre la investigación, sobre las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y biológicos de los SUS.

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

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \ln \times p_i) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

H' : Índice de Shannon-Wiener.

S : Número de especies (riqueza de especies)

$p_i = \frac{n_i}{N}$ proporción de individuos de la especie i en relación con el total.

n_i : número de individuos de la especie o abundancia de género

N : Número de todos los individuos, de todas las especies o abundancia

total de los géneros = $\sum n_i$

ln : Logaritmo natural de la proporción

La suma de $p_i \times \ln p_i$ siempre es negativa porque el logaritmo de un número entre 0 y 1 es negativo. Como el índice de diversidad debe ser positivo para tener sentido ecológico, se añade el signo negativo a la fórmula.

- **Fórmula de varianza**

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

¡El término $(x_i - \bar{x})$ representa la varianza individual de cada observación en relación con la media de la muestra! La varianza es una medida de la dispersión de los datos e indica qué tan alejados están los valores individuales con respecto a la media general.

- **Fórmula de desviación estándar**

Se entiende que calcular la desviación estándar (DE) y el error estándar (EE) para el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H') en cada sistema de cultivo (cacao, maíz, cítrico y purma), antes de proceder con la correlación de Pearson (r), contribuiría a comprender la variabilidad de la diversidad entre los distintos órdenes de la macrofauna dentro de cada sistema.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

σ → Desvío estándar (medida de dispersión de los valores respecto a la media, Valores individuales del Índice de Diversidad H').

x_i → Valor individual de la muestra (valores individuales del Índice de Diversidad H' para cada orden de macrofauna en el sistema de cultivo).

\bar{x} → Media aritmética de los valores (media de H' para cada sistema de cultivo).

n → Número total de observaciones en la muestra (número total de órdenes de macrofauna en la muestra ($n = 15$ en este estudio)).

$n - 1$ → Grados de libertad de la muestra.

- **Fórmula de error estándar (EE)**

$$EP = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

EP : Error estándar de la media (indica la precisión de la estimación de la media de H').

σ : Desvío estándar (calculado previamente con la fórmula anterior).

n : Número total de observaciones en la muestra (número total de órdenes de macrofauna en la muestra ($n = 15$ en este estudio)).

\sqrt{n} : Raíz cuadrada del número de observaciones (número de órdenes de macrofauna).

3.6. Análisis estadístico de la investigación

De acuerdo con la metodología propuesta, el estudio es observacional, no experimental, transversal y comparativo. El factor fijo principal fue el Sistema de Uso del Suelo (SUS: Purma, Cacao, Plátano, Bosque); se establecieron ≥ 3 parcelas independientes por SUS (bloque aleatorio "Parcela"). Para suelos y macrofauna se consideró el factor fijo Profundidad (0–10, 10–20, 20–30 cm). En suelos, por cada parcela por profundidad se obtuvieron ≥ 3 muestras compuestas independientes (cada una formada por 5–8 submuestras). En macrofauna se aplicó TSBF con 5 monolitos (25×25×30 cm) por parcela, registrando abundancias por monolito y profundidad. Las unidades y métodos analíticos siguieron estándares (p. ej., K intercambiable en $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ o disponible en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; RPS en kPa/MPa).

- Fórmula de coeficiente de Correlación de Pearson

Con la finalidad de determinar la correlación existente entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la macrofauna, los datos fueron evaluados mediante el coeficiente de correlación de Pearson, a través de la siguiente expresión:

$$r = \frac{(\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{[(\sum(X_i - \bar{X})^2) * (\sum(Y_i - \bar{Y})^2)]}} \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

- r → Coeficiente de correlación de Pearson (indica la relación lineal entre dos variables).
- X_i y Y_i → Valores individuales de las dos variables comparadas.
- X^J y \bar{Y} → Media de cada variable (X^J para la primera variable \bar{Y} para la segunda variable).
- $\sum(X_i - X^J)$ → Diferencia de cada valor de X con respecto a su media.
- $\sum(Y_i - \bar{Y})$ → Diferencia de cada valor de Y con respecto a su media.
- $\frac{L[(\sum(X_i - X^J)^!) * (\sum(Y_i - \bar{Y})^!)]}{\dots}$ → Producto de las varianzas de las dos variables, ajustado por su desviación estándar.

De acuerdo con Hernández et al. (2014), el coeficiente de correlación de Pearson (r) puede oscilar entre -1.00 y +1.00. Un valor de -1.00 denota una correlación negativa perfecta, lo cual implica que, a medida que la variable X incrementa, la variable Y disminuye proporcionalmente. En otras palabras, por cada unidad que aumenta X , Y disminuye siempre en una magnitud constante. Este comportamiento es igualmente aplicable en sentido contrario: a medida que X disminuye, Y aumenta de forma constante.

- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte
- 0.75 = Correlación negativa considerable
- 0.50 = Correlación negativa media
- 0.25 = Correlación negativa débil
- 0.10 = Correlación negativa muy débil
- 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables
- +0.10 = Correlación positiva muy débil
- +0.25 = Correlación positiva débil
- +0.50 = Correlación positiva media

+0.75 = Correlación positiva considerable

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte

+1.00 = Correlación positiva perfecta

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

4.1.1. Propiedades físicas

La calidad del suelo puede describirse mediante indicadores físicos como densidad aparente, infiltración, porosidad, estructura y estabilidad de agregados, los cuales regulan el transporte de agua, aire y nutrimentos, así como procesos edáficos clave para microorganismos e invertebrados; adicionalmente condicionan la emergencia de plántulas, la penetración radicular y los procesos de erosión (López et al., 2015; Celis et al., 2020). Estos constituyen un conjunto mínimo de indicadores útiles para el diagnóstico (Bautista et al., 2014; Celis et al., 2020). Los indicadores físicos del suelo propuestos como parámetros de su calidad son:

4.1.1.1. Textura del suelo

La textura y los procesos de agregación responden a la pedogénesis (material de origen, relieve) y son modulados por el uso/manejo (Castelán et al., 2017; Moreno et al., 2018). En este estudio, los valores texturales fueron predominantemente francos entre SUS (Tabla 6; Figura 4), compatibles con suelos que ofrecen aireación, drenaje y retención adecuados bajo manejo no intensivo (Bautista et al., 2014; Porta et al., 1999).

Tabla 6. Textura del suelo de los sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Textura |
|---------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| Cacao | 8 | 35 | 45 | Arcilloso |
| Plátano | 59 | 11 | 30 | Franco arcilloso arenoso |
| Bosque primario | 55 | 27 | 18 | Franco arenoso |
| Purma | 35 | 37 | 28 | Franco arcilloso |
| Promedio | 50 | 25 | 25 | Franco arcilloso arenoso |
| Desviación estándar | 13.27 | 13.31 | 6.56 | ----- |
| Coefficiente variación | 26.73 | 52.66 | 26.19 | ----- |

Los indicadores físicos, químicos y biológicos, junto con señales visuales del sistema productivo, son pertinentes para evaluar la calidad edáfica a escala de SUS (López et al., 2015; Celis et al., 2020). La Figura 4 resume la proporción arena–limo–arcilla por SUS.

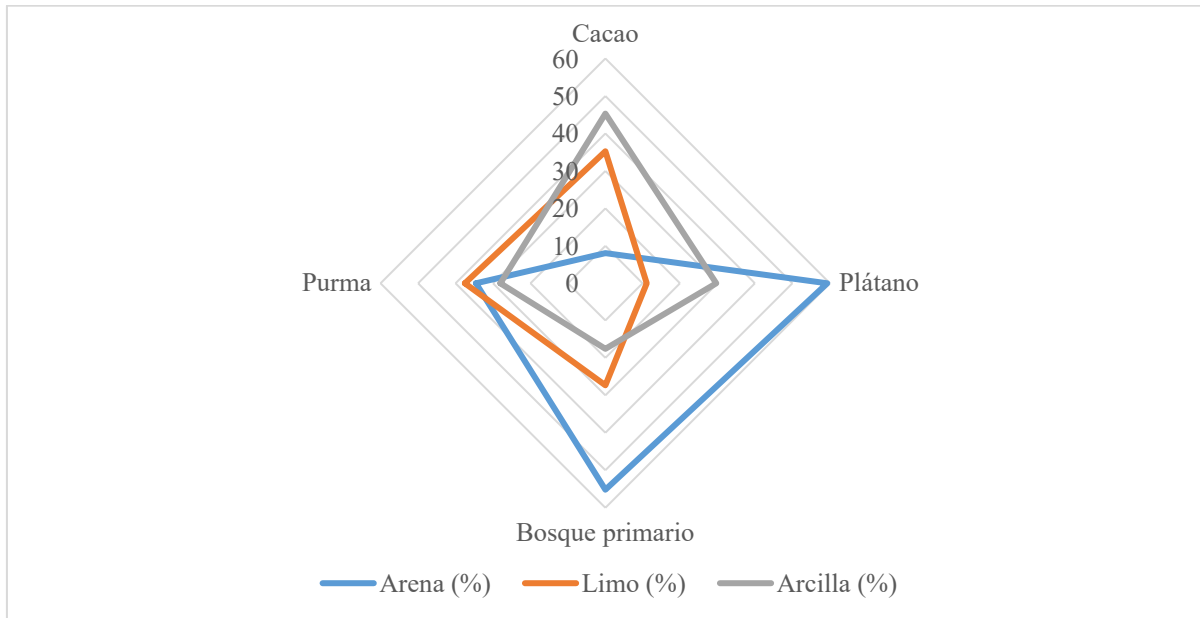


Figura 4. Proporción de arena, arcilla y limo en cuatro sistemas de uso de la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.1.2. Densidad aparente del suelo

Valores medios/bajos de Densidad aparente (DA) suelen asociarse con buena estructura y condiciones favorables para el crecimiento (López et al., 2015; Celis et al., 2020). Es frecuente observar mayor DA con la profundidad por disminución de MO, menor agregación y compactación (Castelán et al., 2017). En nuestros datos, los promedios por SUS se ubican

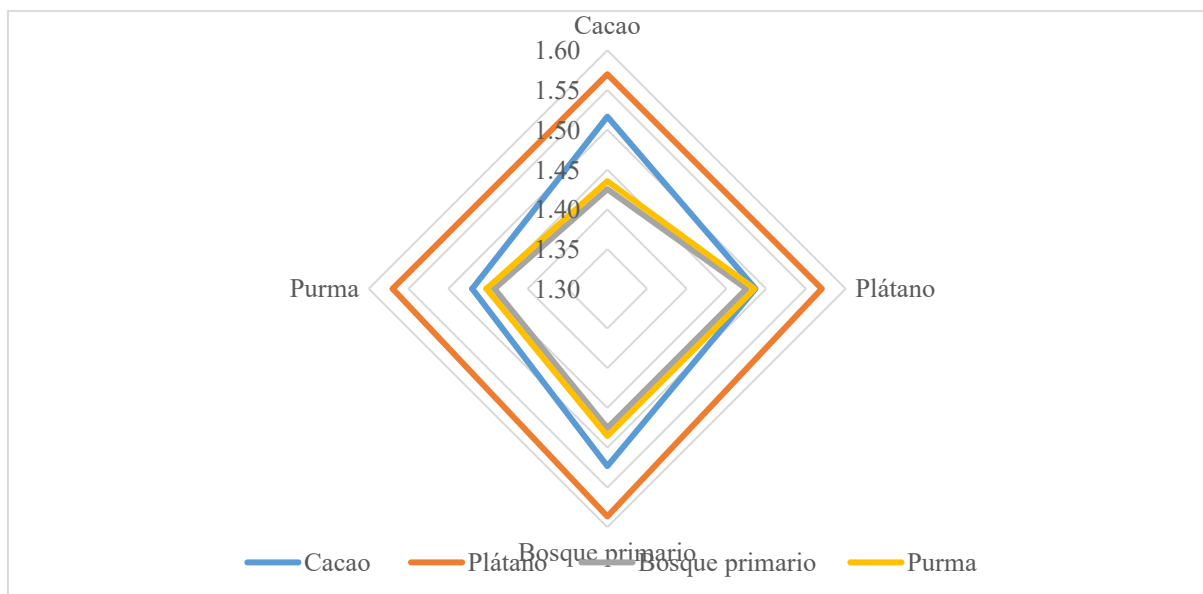
~1.45–1.57 g cm⁻³ (Tabla 7), sin evidencia de compactación severa, lo que concuerda con escenarios de baja mecanización y cobertura moderada (Moreno et al., 2018; Celis et al., 2020).

La compactación del suelo es uno de los principales procesos de degradación en los sistemas agrícolas. Un aumento en la compactación del suelo resulta en una mayor densidad, una disminución de la porosidad total y cambios en las propiedades hidráulicas (Petru et al., 2013; Peralta et al., 2021; Voltr et al., 2021). Coincidiendo con el autor ya que en la investigación la DA de los cuatro sistemas de uso no presenta cambios ni aumento de compactación. Tabla 7.

Tabla 7. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|-------------------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|
| Cacao | 1.52 | 1.57 | 1.43 | 1.44 |
| Plátano | 1.49 | 1.57 | 1.48 | 1.49 |
| Bosque primario | 1.52 | 1.59 | 1.48 | 1.49 |
| Purma | 1.47 | 1.57 | 1.44 | 1.45 |
| Promedio | 1.50 | 1.57 | 1.45 | 1.46 |
| Desviación estándar | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| Coefficiente variación | 1.68 | 0.53 | 1.72 | 1.71 |

Los rangos esperados de DA dependen de textura y manejo; los valores observados son compatibles con buen funcionamiento físico en la mayoría de los SUS (Bautista et al., 2014; Porta et al., 1999). La Figura 5 presenta los valores por cobertura.

**Figura 5.** Densidad aparente en cuatro sistemas de uso del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

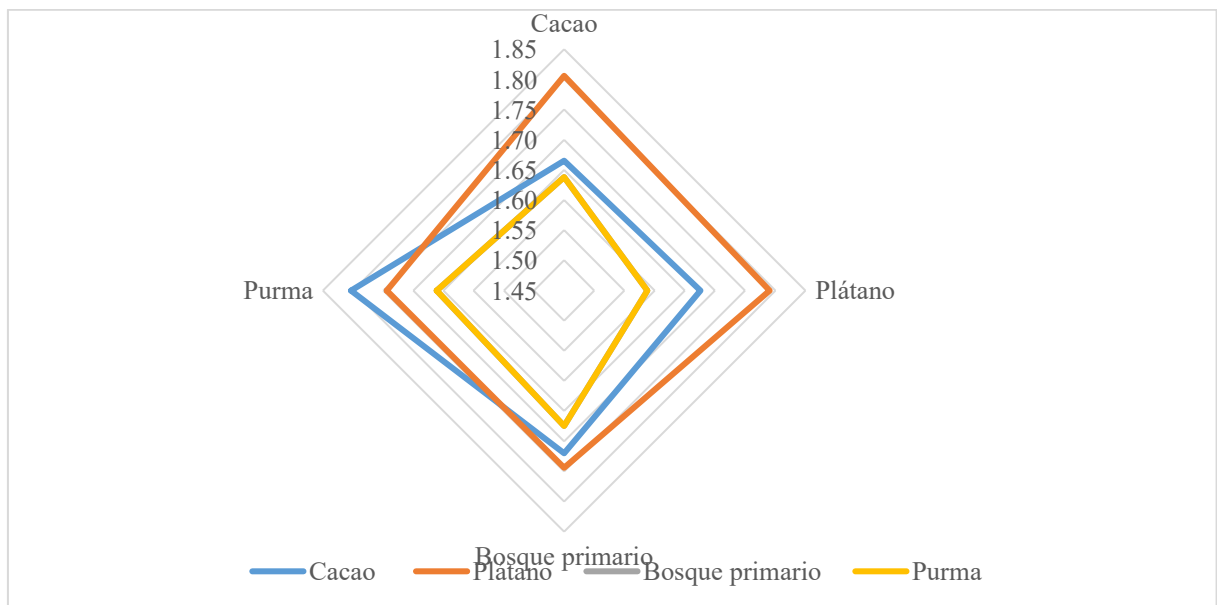
4.1.1.3. Resistencia a la penetración del suelo (RPS)

La Resistencia a la Penetración del Suelo (RPS) integra el efecto de compactación, humedad, textura y estructura, y es un indicador sintético del estado mecánico del suelo (Castelán et al., 2017; Moreno et al., 2018). Dado que los sistemas evaluados no se instalaron con maquinaria pesada, no se detectaron problemas críticos de compactación (Tabla 8; Figura 6), coherentemente con la DA observada (López et al., 2015; Celis et al., 2020).

Tabla 8. Resistencia a la penetración (kg/cm^2) del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|-------------------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|
| Cacao | 1.67 | 1.81 | 1.64 | 1.64 |
| Plátano | 1.68 | 1.79 | 1.59 | 1.59 |
| Bosque primario | 1.72 | 1.74 | 1.67 | 1.67 |
| Purma | 1.80 | 1.74 | 1.66 | 1.66 |
| Promedio | 1.72 | 1.77 | 1.64 | 1.64 |
| Desviación estándar | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| Coefficiente variación | 3.66 | 1.81 | 2.32 | 2.32 |

Para Asabe (2008) indica que uno de los instrumentos más utilizados para medir la resistencia a la penetración del suelo es el penetrómetro de punta fina, muestra valores enfocados al índice de dureza del suelo, conocido comúnmente como índice de cono (IC) definida como aquella fuerza por unidad de área de base cónica útil para empujar la herramienta pasando de un ligero incremento específico de profundidad. La figura 6 muestran los valores de la resistencia la penetración mecánica del suelo de los cuatro sistemas de uso de la comunidad nativa Nuevo Mundo.

**Figura 6.** Resistencia a la penetración del suelo (RPS) en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2. Propiedades químicas

La calidad química afecta la relación suelo-planta, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad amortiguadora del suelo; además, determina el ambiente para la biota

edáfica (Celis et al., 2020; López et al., 2015). En esta investigación se evaluaron pH, MO, N, P, K y CIC, un núcleo mínimo recomendado para diagnóstico (Bautista et al., 2014; Celis et al., 2020).

4.1.2.1. El pH del suelo

El pH regula la solubilidad y disponibilidad de nutrimentos y la actividad microbiana; rangos subácidos pueden limitar bases y aumentar el riesgo de Al^{3+} intercambiable (Porta et al., 1999; Celis et al., 2020). Los promedios se situaron entre 5.28–5.76 (Tabla 9; Figura 7), compatibles con sistemas subácidos que pueden requerir manejo de MO y, según cultivo, enmiendas.

Tabla 9. El pH del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|
| Cacao | 4.26 | 1.03 | 4.59 | 5.18 |
| Plátano | 4.12 | 1.08 | 4.80 | 4.55 |
| Bosque primario | 4.12 | 1.05 | 4.47 | 5.42 |
| Purma | 4.12 | 1.07 | 4.17 | 6.59 |
| Promedio | 4.15 | 1.06 | 4.51 | 5.44 |
| Desviación estándar | 0.07 | 0.02 | 0.26 | 0.85 |
| Coficiente variación | 1.64 | 1.88 | 5.81 | 15.67 |

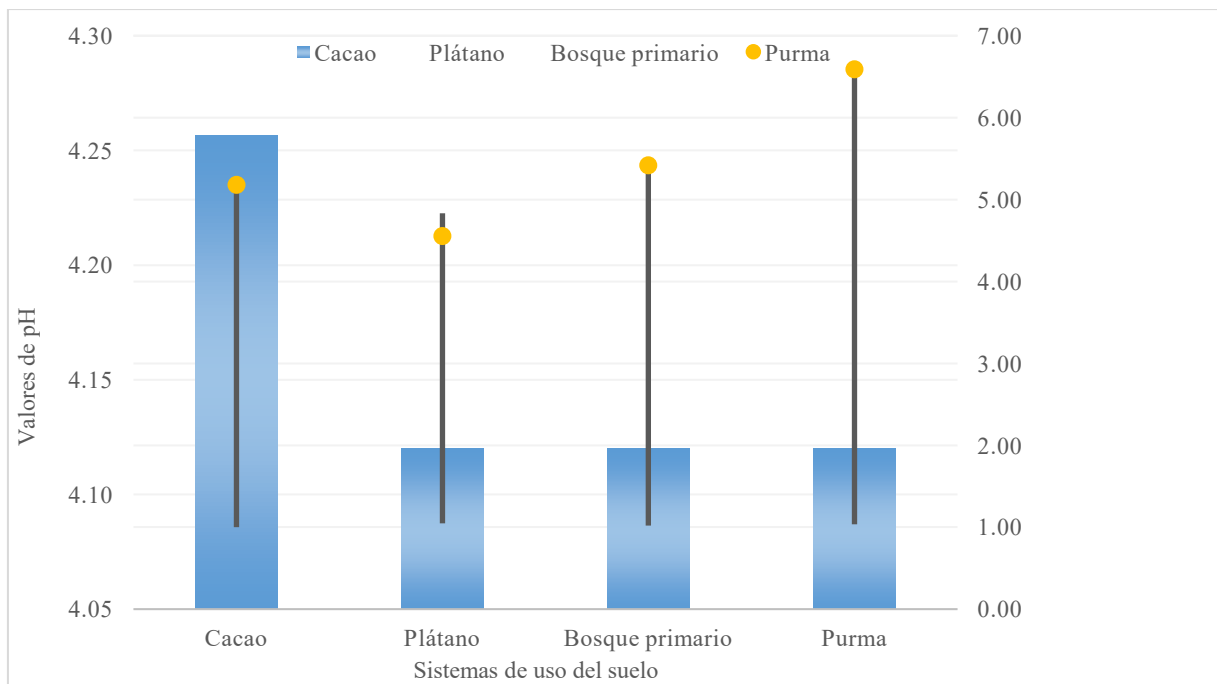


Figura 7. Valores de pH del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2.2. Materia orgánica del suelo

La materia orgánica (MO) es un indicador integrador por su rol físico, químico y biológico (López et al., 2015; Celis et al., 2020). En los cuatro SUS, los promedios se ubican entre bajo-medio (Tabla 10; Figura 8), coherentes con coberturas parcialmente intervenidas y aporte moderado de residuos. La estratificación de MO por profundidad es útil para evaluar efectos de manejo a largo plazo (Castelán et al., 2017).

Tabla 10. Materia orgánica del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|
| Cacao | 1.03 | 6.22 | 1.33 | 1.44 |
| Plátano | 1.06 | 6.67 | 1.87 | 1.41 |
| Bosque primario | 1.50 | 6.32 | 1.56 | 1.68 |
| Purma | 1.85 | 3.57 | 1.19 | 1.49 |
| Promedio | 1.36 | 5.70 | 1.49 | 1.50 |
| Desviación estándar | 0.39 | 1.43 | 0.30 | 0.12 |
| Coefficiente de variación | 28.68 | 25.10 | 20.11 | 8.17 |

En este estudio, se tomaron muestras de los cuatro sistemas de uso del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm (Fig. 8), aunque Díaz et al. (2008) sugieren que la estratificación de la materia orgánica (MO) entre 0-10 y 10-20 cm es útil para evaluar el manejo del suelo a largo plazo.

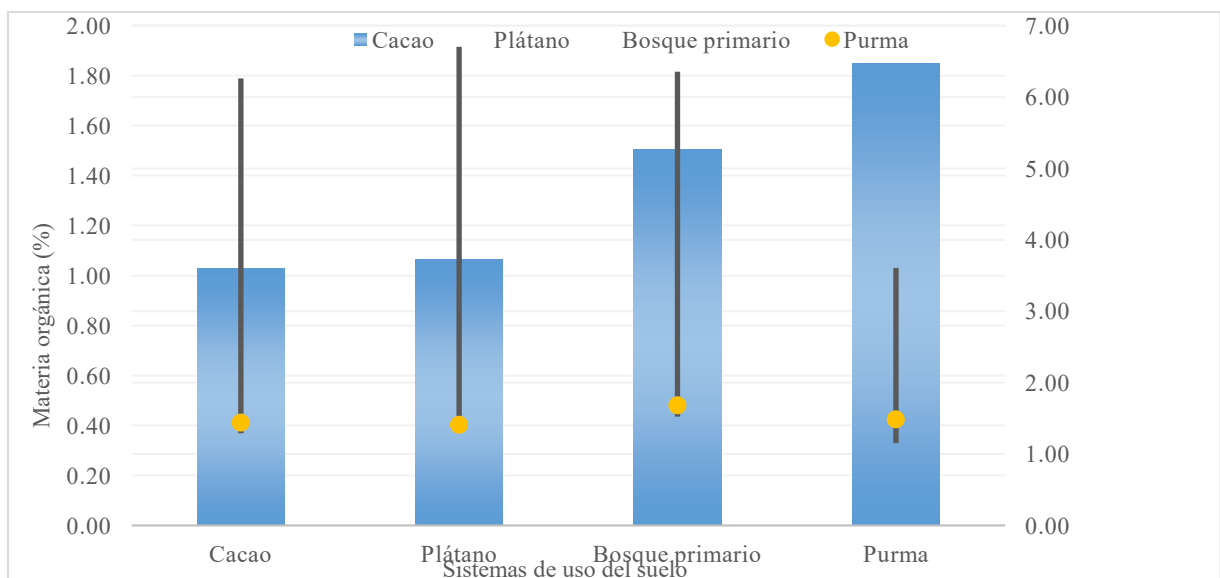


Figura 8. Valores de materia orgánica del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2.3. El nitrógeno total del suelo

El N total refleja en gran medida el reservorio orgánico; su respuesta al manejo puede ser rápida, aunque dependiente de textura y clima (Celis et al., 2020; López et al., 2015). Los niveles observados fueron bajos (Tabla 11; Figura 9), en línea con la MO reportada.

Tabla 11. Nitrógeno total del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| Cacao | 0.05 | 2.62 | 0.07 | 0.07 |
| Plátano | 0.05 | 2.83 | 0.10 | 0.07 |
| Bosque primario | 0.07 | 3.61 | 0.10 | 0.04 |
| Purma | 0.08 | 0.79 | 0.06 | 0.07 |
| Promedio | 0.06 | 2.46 | 0.08 | 0.06 |
| Desviación estándar | 0.02 | 1.19 | 0.02 | 0.02 |
| Coefficiente de variación | 23.38 | 48.35 | 26.59 | 24.02 |

El nitrógeno es un elemento altamente dinámico en los suelos, que responde rápidamente a diferentes prácticas de manejo. En cuanto al efecto del manejo orgánico y convencional sobre el nitrógeno, algunos estudios no encuentran diferencias, mientras que otros sí (Cristóbal-Acevedo et al., 2011). Los valores de nitrógeno para los cuatro SUS se muestran en la Figura 9.

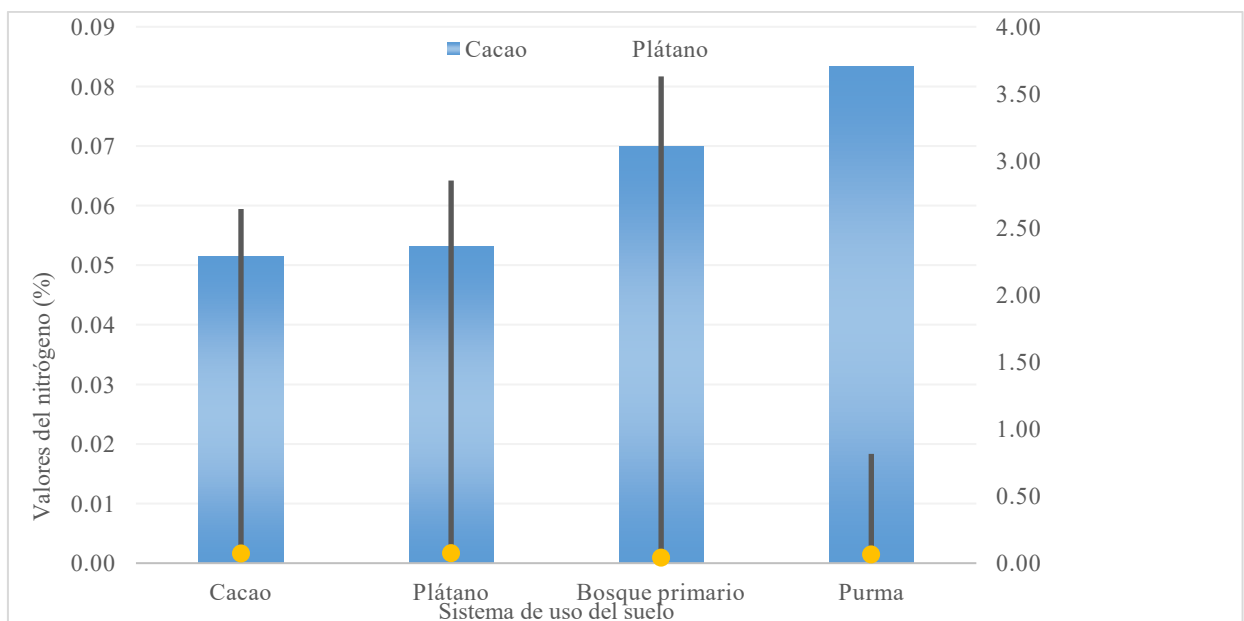


Figura 9. Valores de nitrógeno total del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2.4. El fósforo disponible del suelo

El P disponible suele ser limitante y su dinámica está ligada a pH, MO y textura (Celis et al., 2020; Moreno et al., 2018). En este estudio se ubicó entre medio y bajo (Tabla 12; Figura 10), coherente con entornos tropicales intemperizados.

Tabla 12. Fósforo disponible del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| Cacao | 6.73 | 6.06 | 4.56 | 5.22 |
| Plátano | 8.69 | 6.38 | 4.40 | 7.31 |
| Bosque primario | 12.76 | 5.60 | 1.18 | 9.15 |
| Purma | 5.89 | 8.19 | 7.72 | 9.11 |
| Promedio | 8.52 | 6.56 | 4.47 | 7.70 |
| Desviación estándar | 3.06 | 1.14 | 2.67 | 1.86 |
| Coefficiente de variación | 35.95 | 17.31 | 59.83 | 24.19 |

El fósforo es un nutriente primario esencial para la producción agrícola, donde suele ser deficiente y requerido en cantidades relativamente grandes por los cultivos. Su concentración total en los cultivos varía entre 0,1 y 0,5% (Munera y Meza, 2012). La figura 10 muestra los valores de P disponible en los cuatro SUS en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

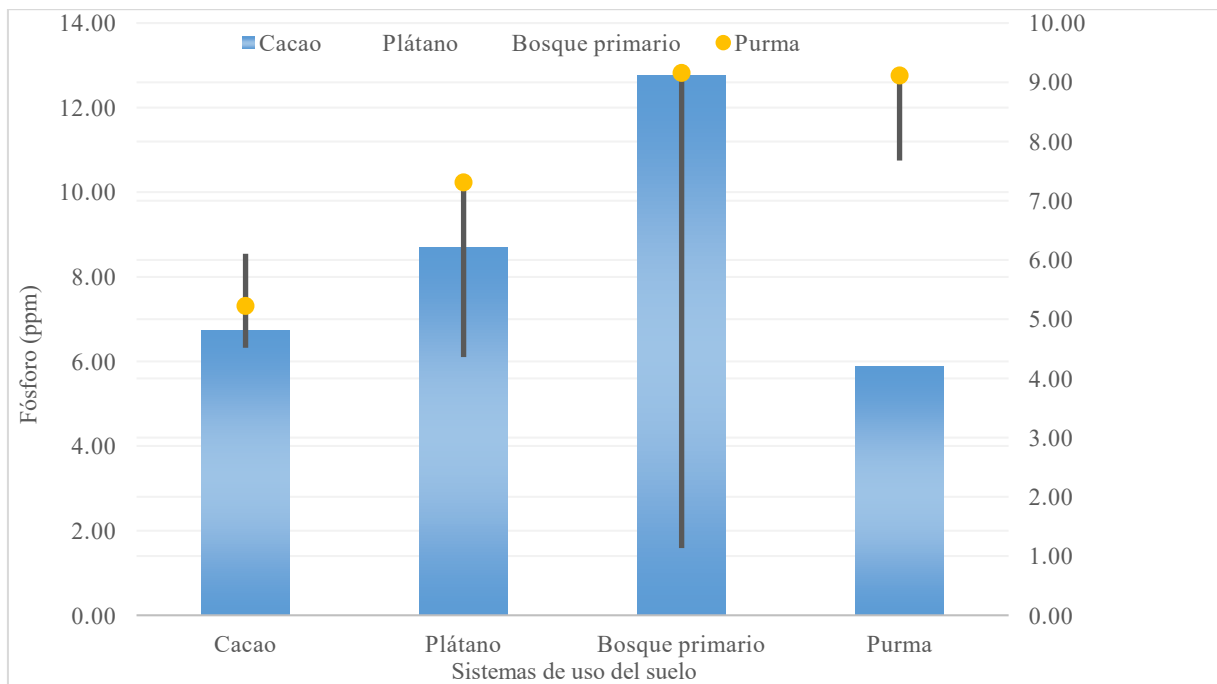


Figura 10. Valores de fósforo disponible del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2.5. El potasio disponible del suelo

El K intercambiable depende de mineralogía y textura; es clave para la fisiología vegetal (Porta et al., 1999; Celis et al., 2020). Los niveles fueron bajos a medios según SUS (Tabla 13; Figura 11), lo que sugiere atención al balance de K bajo extracción/rotaciones.

Tabla 13. Potasio disponible del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| Cacao | 113.23 | 89.91 | 53.00 | 151.19 |
| Plátano | 120.48 | 90.89 | 61.90 | 171.09 |
| Bosque primario | 285.33 | 85.66 | 54.30 | 173.39 |
| Purma | 333.47 | 183.83 | 147.91 | 155.22 |
| Promedio | 213.13 | 112.57 | 79.28 | 162.72 |
| Desviación estándar | 112.93 | 47.56 | 45.93 | 11.15 |
| Coefficiente de variación | 52.99 | 42.25 | 57.93 | 6.85 |

El potasio es un catión esencial en la fisiología de las plantas debido a su contenido en los tejidos y sus diversas funciones. Interviene en la translocación de azúcares, la formación de almidón, la regulación estomática, la resistencia a enfermedades y la calidad de las cosechas (Navarro y Navarro, 2013; Taiz et al., 2015). El suministro de potasio beneficia al suelo cuando sus niveles son bajos (Havlin et al., 2014), lo cual se observa en los bajos niveles de potasio disponible en el suelo de los cuatro sistemas de uso mostrados en la figura 11.

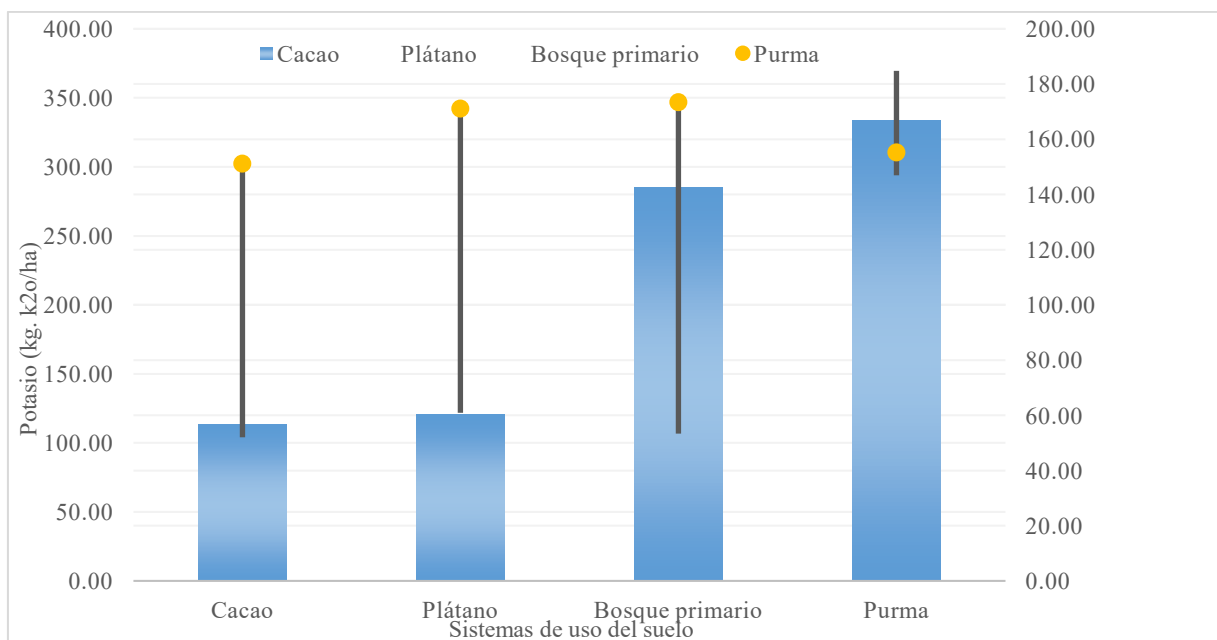


Figura 11. Valores de potasio disponible del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.1.2.6. Capacidad de intercambio del suelo (CIC)

De acuerdo con Arévalo y Gauggel (2014) la importancia en términos agronómicos de determinar la CIC se fundamenta en la suposición de que el suelo sirve como reserva y fuente de nutrientes, y esta capacidad aumenta conforme se aumente la CIC del suelo, ya que se considera que una gran CIC en los suelos implica la posibilidad de aumentar el depósito de iones nutritivos. No existe error matemático. Su interpretación por columna: el cacao presenta un Coeficiente de Variación de 200%, muy alto, esto nos dice que tiene entradas extremadamente desiguales; casi todo proviene de un único origen con muchos ceros, señalando alta concentración y baja estabilidad del patrón de origen. Mientras que el plátano presenta un CV de 38,68%, moderado a bajo, con entradas relativamente homogéneas y balanceadas. Es el destino más estable/diversificado. El bosque primario presenta un CV de 120.25%, alto, esto nos dice que presenta una fuerte asimetría: un valor dominante. Indicando que el bosque se explica sobre todo por su permanencia. La Purma presenta un CV de 85.0%, (alto), con una heterogeneidad marcada; principal aporte desde Bosque y menores desde otros orígenes. Los CV reportados son coherentes con una matriz de transiciones muy desigual: Cacao y Bosque muestran alta concentración ($CV > 100\%$), Purma heterogeneidad alta, y Plátano la dispersión más baja (entradas más equilibradas).

Tabla 14. Capacidad de intercambio del suelo (CIC) en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Sistema de Uso del Suelo | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|---------------------------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| Cacao | 0.00 | 6.93 | 0.00 | 0.00 |
| Plátano | 0.00 | 7.80 | 3.33 | 2.30 |
| Bosque primario | 0.00 | 7.52 | 9.63 | 4.30 |
| Purma | 7.88 | 2.65 | 1.26 | 1.73 |
| Promedio | 1.97 | 6.22 | 3.55 | 2.08 |
| Desviación estándar | 3.94 | 2.41 | 4.27 | 1.77 |
| Coeficiente de variación | 200.00 | 38.68 | 120.25 | 85.02 |

La CIC sintetiza la capacidad del suelo de retener y suministrar cationes; aumenta con arcilla activa y MO (Bautista et al., 2014; Porta et al., 1999; Celis et al., 2020). En la figura 12 se muestran los valores de CIC en los cuatro sistemas de uso del suelo de la comunidad nativa Nuevo Mundo.

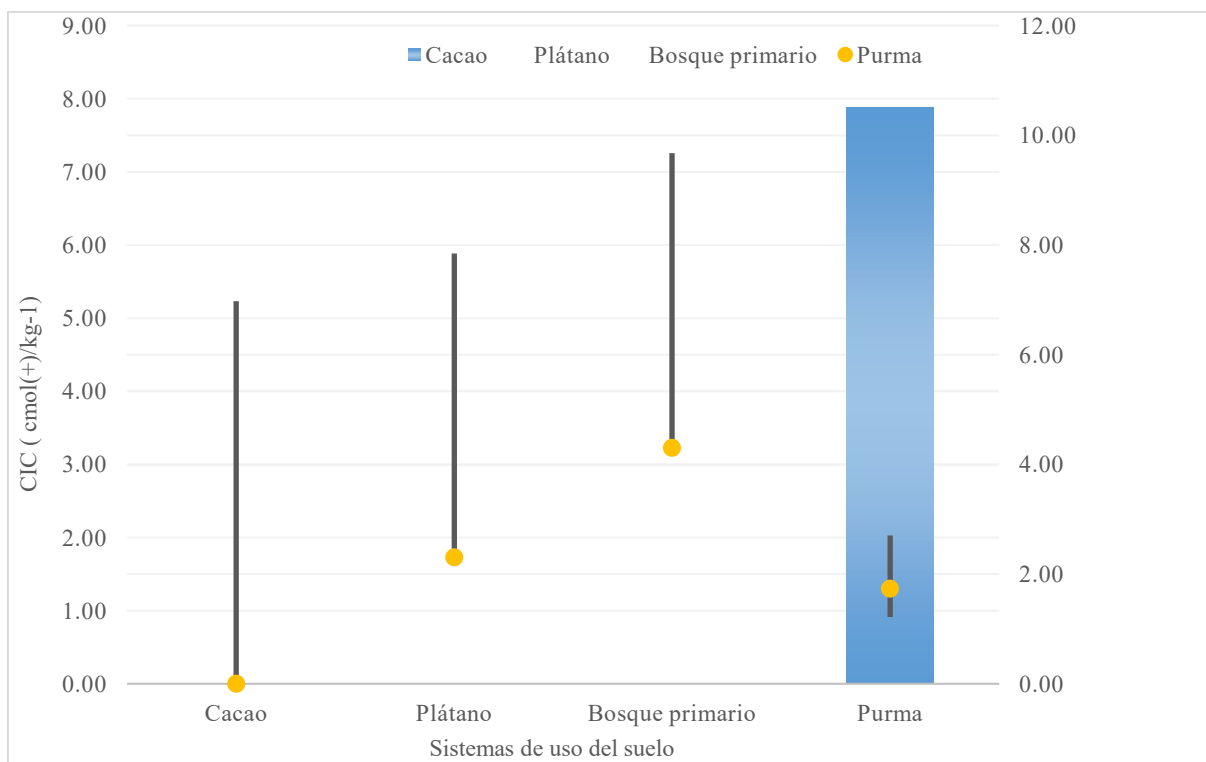


Figura 12. Valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.2. Identificar y cuantificar la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

La cuantificación de variables biológicas capta tendencias de manejo y su efecto sobre el ciclaje de MO y la estructura (López et al., 2015; Celis et al., 2020). Se trabajó en cuatro SUS (cacao, plátano, bosque primario, purma).

Para analizar la macrofauna como parámetro biológico en los SUS, fueron determinados variables fisicoquímicas y biológicas, recolectadas en los cuatro SUS (cacao, plátano, bosque primario y sotobosque).

4.2.1. Análisis de la diversidad y abundancia de la macrofauna del suelo

La abundancia total (ind m^{-2}) aproxima la actividad biológica y procesos como aireación, ciclaje y fragmentación de residuos (López et al., 2015). La Tabla 15 y las Figuras 13–14 muestran la estructura por órdenes y su contribución.

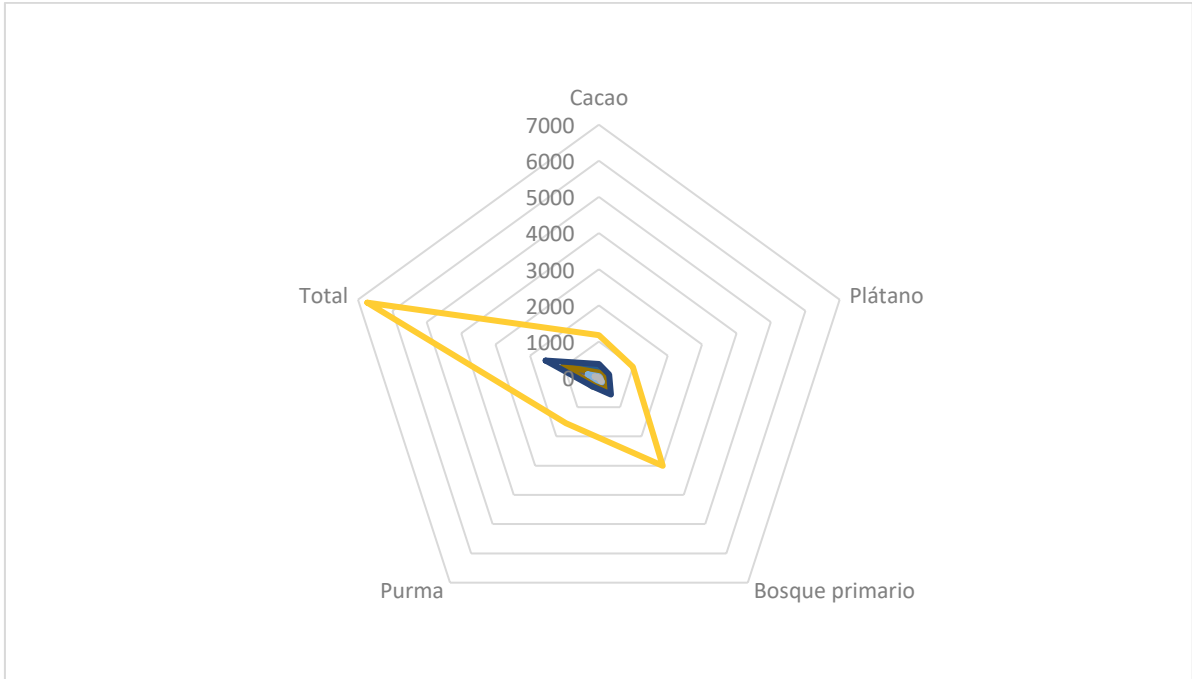


Figura 13. Proporción de individuos por orden en cada sistema de uso (SUS) en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

Tabla 15. Análisis de la abundancia total (ind/m²) de la macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso (SUS).

| Nombre | Orden | Nombre | Sistemas de uso del suelo | | | | Total |
|------------------------|------------|-----------------|---------------------------|------------|-----------------|-------------|-------------|
| | | | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma | |
| Arañas | | Araneae | 38 | 51 | 51 | 19 | 159 |
| Escarabajos | Arthropoda | Coleóptera | 56 | 53 | 150 | 105 | 364 |
| Tijeras | | Dermaptera | 29 | 13 | 10 | 8 | 60 |
| Cucarachas | | Dictióptera | 10 | 5 | 200 | 6 | 221 |
| Milpies | Annelida | Diplopoda | 26 | 22 | 125 | 75 | 248 |
| Moscas y mosquitos | | Díptera | 46 | 45 | 142 | 76 | 309 |
| Lombrices de tierra | | Haplotaxida | 250 | 120 | 380 | 258 | 1008 |
| Chinches y salta hojas | | Hemíptera | 45 | 40 | 128 | 69 | 282 |
| Hormigas | | Himenóptera | 64 | 72 | 400 | 303 | 839 |
| Cochinillas | Arthropoda | Isópoda | 149 | 192 | 450 | 245 | 1036 |
| Termitas | | Isóptera | 382 | 300 | 570 | 295 | 1547 |
| Oruga | | Lepidóptera | 30 | 25 | 50 | 15 | 120 |
| Grillos | | Orthóptera | 52 | 40 | 150 | 79 | 321 |
| Miriápodos minúsculos | | Paurápodos | 3 | 10 | 80 | 0 | 93 |
| Caracoles y babosas | Mollusca | Stylommatóphora | 2 | 0 | 120 | 0 | 122 |
| Total | | | 1182 | 988 | 3006 | 1553 | 6729 |



Figura 14. Análisis visual de la distribución de grupos de macrofauna en el suelo según cada SUS en la comunidad nativa Nuevo Mundo.

4.3. Determinar la densidad (ind.m²), biomasa (g.m²) y diversidad (Índice H') de especies de macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

4.3.1. Densidad de macrofauna presente en los cuatro sistemas de uso del suelo

En la tabla 16 se muestran la densidad de la macrofauna donde el bosque primario como sistema de uso del suelo registró mejor valor presentando 3006 (ind.m⁻²), seguido de la purma 1553 (ind.m⁻²), cacao con 1182 (ind.m⁻²) y menor valor respecto a la presencia de macrofauna lo presentaron los sistemas plátano con 988 (ind.m⁻²). Correira y Olivera, (2000), cito por Valdez, (2016) menciona que para el cálculo de la densidad en ind/m², para el muestreo se usa un cuadrado con medidas de 0,25 m x 0,25 m, representando un área de 1/16 m². Las densidades posicionan al bosque primario con mayor abundancia, seguido de purma, cacao y plátano, en concordancia con gradientes de cobertura y aporte de residuos (López et al., 2015; Celis et al., 2020).

Tabla 16. Densidades de macrofauna edáfica en cuatro sistemas de uso.

| Sistemas de Uso del Suelo | Densidad (ind.m ⁻²) |
|---------------------------|---------------------------------|
| Cacao | 1182 |
| Plátano | 988 |
| Bosque primario | 3006 |
| Purma | 1553 |

4.3.2. Biomasa de macrofauna presente en los cuatro sistemas de uso del suelo

La biomasa se concentra en hojarasca y 0 a 10 cm y responde a MO y microclima (López et al., 2015; Celis et al., 2020). En nuestro caso, bosque primario fue mayor que purma mayor que cacao mayor que plátano (Tabla 17).

Tabla 17. Biomasa de macrofauna edáfica en cuatro sistemas de uso.

| Sistemas de Uso del Suelo | Biomasa (g.m ⁻²) |
|---------------------------|------------------------------|
| Cacao | 148,30 |
| Plátano | 81,20 |
| Bosque primario | 293,10 |
| Purma | 167,20 |

4.3.3. Diversidad de especies de macrofauna

Por otro lado, el Índice de Diversidad (H') de Shannon-Weaver (Tabla 18) representa un valor ponderado de diversidad ($p * \log p$), es decir, la proporción relativa de individuos por orden multiplicada por el logaritmo de su propio valor. Este índice considera cuántas órdenes diferentes existen (riqueza) y cuán equilibrada es la distribución entre ellas (equidad), midiendo la diversidad, y no la cantidad, por lo tanto.

Un valor alto de H' puede darse incluso con baja abundancia, siempre que las órdenes estén bien distribuidas. El Índice de Shannon (H') integra riqueza y equidad; valores altos pueden ocurrir aun con abundancias menores si la distribución es más uniforme (Porta et al., 1999; López et al., 2015). La Tabla 18 muestra los aportes por orden a H' ; la Tabla 19 reporta indicadores complementarios (Pielou, Simpson, Dominancia), con mayor diversidad/equidad en bosque primario, intermedia en plátano/cacao, y ligeramente menor en purma (Celis et al., 2020).

La elección de utilizar tanto el Índice de Diversidad (H') como los datos de abundancia (ind/m^2) se justifica porque representan aspectos distintos y complementarios de la macrofauna del suelo. Los resultados destacan la relación entre la abundancia y diversidad de lombrices con la actividad biológica del suelo, señalando la necesidad de estudios adicionales sobre la contaminación del suelo y la bioacumulación en organismos edáficos.

Tabla 18. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') para cuatro sistemas de uso SUS.

| Orden | Índice de Diversidad (H') Cacao | Índice de Diversidad (H') Plátano | Índice de Diversidad (H') Bosque primario | Índice de Diversidad (H') Purma |
|--------------|---|---|---|---|
| Araneae | -0.05 | -0.07 | -0.03 | -0.02 |
| Coleóptera | -0.06 | -0.07 | -0.06 | -0.08 |
| Dermaptera | -0.04 | -0.02 | -0.01 | -0.01 |
| Dictióptera | -0.02 | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| Diplopoda | -0.04 | -0.04 | -0.06 | -0.06 |
| Díptera | -0.05 | -0.06 | -0.06 | -0.06 |
| Haplotaxida | -0.14 | -0.11 | -0.11 | -0.13 |
| Hemíptera | -0.05 | -0.06 | -0.06 | 0.00 |

| | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Himenóptera | -0.07 | -0.08 | -0.12 | -0.14 |
| Isópoda | -0.11 | -0.14 | -0.12 | -0.13 |
| Isóptera | -0.16 | -0.16 | -0.14 | -0.14 |
| Lepidóptera | -0.04 | -0.04 | -0.03 | -0.02 |
| Orthóptera | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.07 |
| Paurápodos | -0.01 | -0.02 | -0.04 | 0.00 |
| Stylommatóphora | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | -0.91 | -0.93 | -0.91 | -0.88 |

En la tabla 19, se presenta la diversidad taxonómica de la macrofauna para cada Sistema de Uso del Suelo. Uso de los índices estándar: Shannon–Wiener, Equidad de Pielou, Simpson (1–D) y Dominancia Berger–Parker. Donde Mayor diversidad y equidad se presenta en el Bosque primario (H' y J' más altos; dominancia más baja), es decir, la comunidad está más balanceada entre órdenes, Plátano y Cacao muestran diversidad intermedia; su dominancia es mayor (una fracción grande corresponde a un orden, principalmente Isóptera y Haplotaxida) y la Purma mantiene diversidad similar a Cacao, con buena equidad, pero algo menos riqueza ($S=13$).

En la tabla 19 muestra como aporta en términos de Shannon por orden, donde cada celda es $p_i \log_{10} p_i$, es (negativo porque $\log p_i < 0$). La diversidad $H'_{10} = -\sum p_i \log_{10} p_i$, o H' (base 10) por Sistema de Uso del Suelo el cacao es de 0,91, Plátano 0,93, Bosque primario 0,91 y Purma 0,88.

En la tabla 19 muestra como base Ln e : $H'_e = H'_{10} \times \ln 10$. Donde el Cacao 2,10; Plátano 2,15, Bosque 2,40, Purma 2,11 nats), la Riqueza muestra las (órdenes presentes, S), Cacao: 15; Plátano: 14; Bosque primario: 15; Purma: 13. La Equidad de Pielou $J' = H'_{10}/\log_{10} S$, muestra la distribución de las abundancias entre órdenes, Cacao 0.772, Plátano 0.813, Bosque primario 0.887, Purma 0.824, el Plátano muestra la comunidad algo más equitativa; Purma tiene menor riqueza y diversidad. Las Órdenes que más “pesa” en H' (valores con mayor magnitud absoluta), donde: Isóptera, Isópoda, Haplotaxida, Himenóptera (mayores proporciones p_i en casi todos los sistemas), donde celdas cercanas a 0 (p.ej., Stylommatóphora ausente o muy rara) aportan poco a la diversidad.

Tabla 19. Índice de diversidad taxonómica de la macrofauna para cuatro sistemas de uso SUS

| Sistema de Uso del Suelo | N (ind/m ²) | S | | Simpson | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------|-------------|---------|-------|------------|
| | | (órdenes) | H' (ln) | J' | (1-D) | Dominancia |
| Cacao | 1182 | 15 | 2.09 | 0.772 | 0.822 | 0.323 |
| Plátano | 988 | 14 | 2.15 | 0.813 | 0.838 | 0.304 |
| Bosque primario | 3006 | 15 | 2.4 | 0.887 | 0.89 | 0.19 |
| Purma | 1523 | 13 | 2.11 | 0.824 | 0.855 | 0.199 |

4.4. Relacionar los indicadores físicos y químicos del suelo con la densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso en la comunidad nativa Nuevo Mundo

4.4.1. Estadísticas descriptivas de abundancia y diversidad

Antes de realizar la correlación de los indicadores biológicos (macrofauna edáfica) con los parámetros fisicoquímicos del suelo, es fundamental asegurar que se cuente con todas las estadísticas necesarias.

Las Tablas 20 y 21 presentan descriptivos para abundancia (media, DE, EE, CV, IQR y outliers). Los boxplots (Figuras 15–16) permiten visualizar dispersión y valores extremos, útiles para comparar la variabilidad biológica entre SUS (López et al., 2015; Celis et al., 2020). Para H', al existir un valor por SUS (n=4), la DE no aplica; se estimó EE (bootstrap) como medida interna de incertidumbre (Tabla 22). Con el criterio IQR aplicado a los cuatro H', no se detectaron outliers (Tabla 23).

En el estudio de Köninger et al. (2023) los diagramas de caja (boxplots) fueron fundamentales para visualizar la dispersión y la variabilidad en la diversidad y abundancia de eucariotas del suelo entre distintos tipos de ecosistemas a escala continental. Esta herramienta permitió identificar patrones de heterogeneidad en la composición de comunidades, facilitando la comparación entre sistemas de uso del suelo como cultivos anuales, pastizales y bosques.

En otro estudio de Nkohla & Dlaza (2025), los diagramas de caja (boxplots) fueron herramientas clave para representar la variación espacial en los índices ecológicos de macroinvertebrados asociados a los discos de fijación del alga *Ecklonia radiata*. Su uso permitió visualizar la dispersión, los valores atípicos y las diferencias en la abundancia y riqueza de especies entre los distintos sitios de muestreo a lo largo del gradiente costero. Esta

representación gráfica facilitó la identificación de patrones de ensamblaje específicos en cada localidad, complementando los análisis univariados y multivariados.

Tabla 20. Estadísticas descriptivas para la abundancia de macrofauna (ind/m²) por SUS.

| Sistema de uso del suelo | Media (ind/m²) | Desviación Estándar (ind/m²) | Error Estándar (ind/m²) | Coefficiente de Variación (%) |
|---------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|
| Cacao | 147,75 | 293,99 | 73.499 | 198.983 |
| Plátano | 123,50 | 243,66 | 60.916 | 197.3 |
| Bosque primario | 375,75 | 719,81 | 179.954 | 191.567 |
| Purma | 194,13 | 378,45 | 94.613 | 194.953 |

Tabla 21. Identificación de outliers de la abundancia de macrofauna (ind/m²) por SUS.

| Sistema de uso del suelo | Q1 (ind/m²) | Q3 (ind/m²) | IQR (ind/m²) | Límite Inferior (ind/m²) | Límite Superior (ind/m²) | Outliers (ind/m²) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|--|---|
| Cacao | 28.25 | 85.25 | 57,00 | -57.25 | 170.75 | [alto] |
| Plátano | 19.75 | 84.00 | 64,25 | -76.625 | 180.375 | [alto] |
| Bosque primario | 110.00 | 385.00 | 275,00 | -302.50 | 797.50 | [alto] |
| Purma | 13.25 | 248.25 | 235,00 | 329.25 | 600.75 | [alto] |

La Tabla 22, muestra la estadísticas descriptivas para para cada Sistema de Uso del Suelo (SUS) se reporta un único valor de H' (base e), que resume la equidad y riqueza relativa de la comunidad (a mayor H' , más equitativa y diversa la distribución de órdenes), el “Error Estándar (H' ; bootstrap)” cuantifica la incertidumbre de ese H' mediante remezclas multinomiales de la distribución observada (no son réplicas de parcela, sino una estimación interna del error del índice), la columna “Desviación Estándar (H')” queda vacía porque no hay réplicas independientes de H' dentro de cada SUS ($n=1$); por tanto, no existe DE clásica para ese SUS. El Bosque primario presenta el H' más alto, entendiendo que la comunidad es más equitativa (los órdenes no están dominados por uno o dos), Plátano y Purma muestran valores intermedios. Cacao tiene el H' más bajo debido a que presenta una mayor dominancia de pocos órdenes. Un EE bootstrap más pequeño indica que, dada la distribución observada, el H' está

mejor estimado (mayor N total y/o distribución menos sesgada). La limitación de los resultados descriptivos es que el EE bootstrap no sustituye a la variabilidad entre parcelas. La Desviación Estándar (H') se muestra vacía porque no existen réplicas de H' dentro de cada SUS (n=1). Para llenar esa columna se requieren H' por parcela ($\geq 3-4$ parcelas/SUS) o, en su defecto, H' por profundidad tratado como réplica.

La diversidad de la macrofauna (H', base e) fue mayor en Bosque primario, intermedia en Plátano y Purma, y menor en Cacao, esto indica que existe mayor equidad en Bosque y mayor dominancia en Cacao. El error estándar (bootstrap) proporciona una medida interna de incertidumbre del índice; la desviación estándar no aplica al no existir réplicas de H' por SUS.

Tabla 22. Estadísticas descriptivas para la diversidad (índice H') de la macrofauna en los diferentes SUS.

| Sistema de uso del suelo | Media (H') | Desviación Estándar (H') | Error Estándar (H') |
|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Cacao | 1,888 | ----- | 0,027 |
| Plátano | 1,766 | ----- | 0,028 |
| Bosque primario | 1,894 | ----- | 0,016 |
| Purma | 1,766 | ----- | 0,021 |

La Tabla 23, muestran los Outliers del cálculo de los cuartiles y estos son calculados una sola vez a partir del conjunto del índice de Shannon–Wiener (H') Porque esos cuartiles se calculan una sola vez a partir del conjunto de H' (4 valores). Se muestran junto a cada SUS solo para facilitar la lectura, pero son comunes a todos. La columna vacía nos dice que es atípico respecto a los demás en diversidad. La “DE no aplica por ausencia de réplicas (n=1)”. Con el criterio IQR aplicado a los cuatro H', no se detectaron valores atípicos (outliers), por lo que las diferencias de diversidad entre SUS se consideran moderadas y consistentes.

Tabla 23. Identificación de outliers del índice de diversidad de Shannon-Wiener por SUS.

| Sistema de uso del suelo | Q1 (H') | Q3 (H') | IQR (H') | Límite | Límite | Outliers (H') |
|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Inferior (H') | Superior (H') | |
| Cacao | 1,766 | 1,891 | 0,125 | 1,579 | 2,079 | ----- |
| Plátano | 1,766 | 1,891 | 0,125 | 1,579 | 2,079 | ----- |

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bosque primario | 1,766 | 1,891 | 0,125 | 1,579 | 2,079 | ----- |
| Purma | 1,766 | 1,891 | 0,125 | 1,579 | 2,079 | ----- |

En el presente estudio, los diagramas de caja (boxplots) correspondientes a la distribución de la abundancia por SUS (Figura 15) y a la distribución de la diversidad por SUS (Figura 16) reflejan visualmente esta información: las cajas representan el IQR (50% central de los datos), la línea interna indica la mediana, mientras que los bigotes (extremos de los diagramas) señalan los límites calculados a partir de 1.5 veces el IQR [$Q1 - (1.5 \times IQR)$ y $Q3 + (1.5 \times IQR)$]. Los puntos que se encuentran fuera de estos límites se consideran outliers, es decir, valores anómalos que pueden indicar condiciones ecológicas particulares, perturbaciones locales o errores de muestreo.

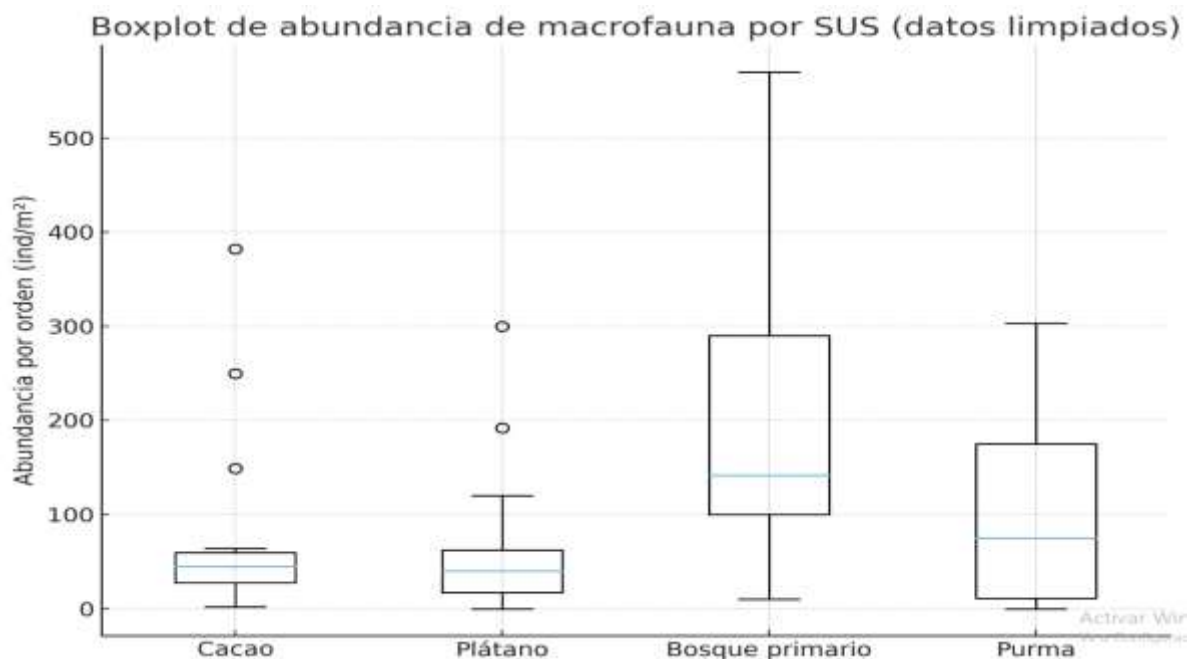


Figura 15. Gráfico tipo boxplot – Abundancia. Muestra la dispersión del número total de individuos por metro cuadrado en cada sistema de uso.

La Figura 16 permite visualizar claramente la heterogeneidad de la abundancia edáfica e identificar posibles valores extremos biológicos, como picos o reducciones marcadas en el número de individuos, asimismo muestra la distribución de la abundancia de macrofauna edáfica (ind/m^2) en los cuatro sistemas de uso del suelo (SUS), evaluada mediante diagramas de caja con bigotes teóricos ($Q1 \pm 1,5 \times IQR$). Para el cálculo de los cuartiles y la mediana se

utilizó interpolación lineal, lo que permitió una representación precisa de la dispersión estadística.

Los bigotes se extienden hasta los límites teóricos, independientemente de la presencia de datos en dichos extremos, con el fin de resaltar visualmente la asimetría en la distribución. Los valores atípicos (outliers) se identifican como puntos individuales ubicados fuera de estos límites.

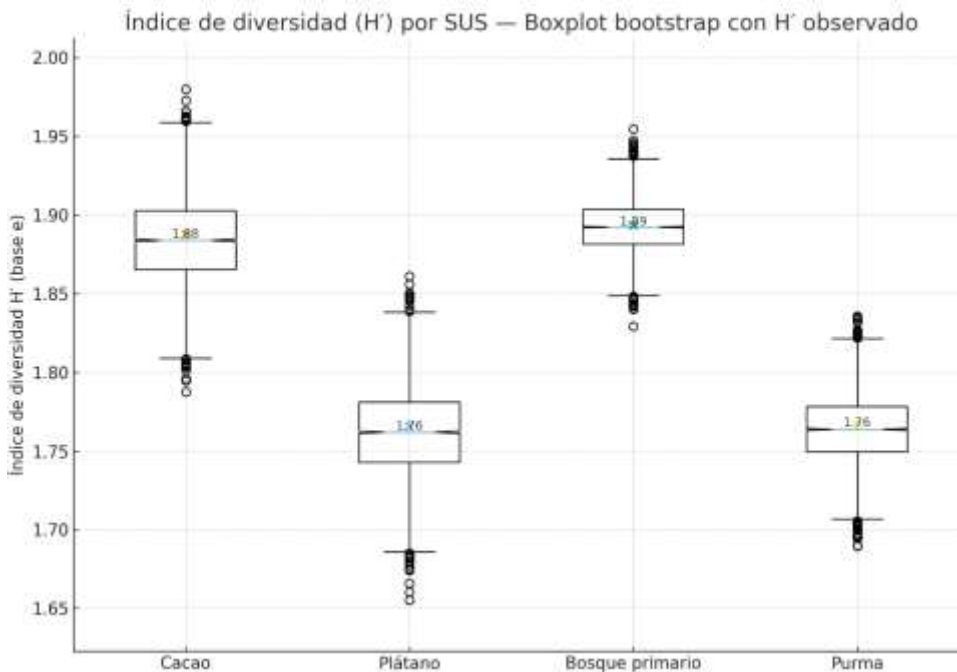


Figura 16. Gráfico tipo boxplot – Índice de diversidad (H'). Muestra la dispersión de los valores del índice H' en cada sistema de uso del suelo. Este gráfico permite identificar la variabilidad en la diversidad biológica edáfica y detectar posibles valores extremos asociados a cambios en el equilibrio de la comunidad.

La Figura 16 muestra la distribución del índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') en los cuatro sistemas de uso del suelo (SUS), mediante diagramas de caja con bigotes teóricos ($Q1 \pm 1,5 \times IQR$). La interpolación lineal permitió una estimación precisa de la mediana y la identificación de valores atípicos. La comparación central, nos muestra que el Bosque primario muestra la mediana de H' más alta, indicando mayor equidad/diversidad de órdenes. Cacao presenta la mediana más baja, reflejando mayor dominancia de pocos órdenes. Plátano y Purma quedan intermedios. La Variabilidad (altura de la caja / IQR) presenta mayor dispersión posible de H' bajo la composición observada (incertidumbre mayor). Cajas más compactas presentan estimaciones de H' más precisas. Los valores extremos (puntos fuera de bigotes) si aparecen,

sugieren realizaciones poco probables del índice, potencialmente asociadas a cambios en el equilibrio de la comunidad (p. ej., fluctuaciones fuertes de órdenes dominantes).

En el estudio de Misgana et al. (2024), realizado en plantaciones de café en el suroeste de Etiopía, se evaluó el efecto de diferentes especies de árboles de sombra y variedades de café sobre los parámetros fisicoquímicos del suelo. Se observó que parámetros clave como el pH, la resistencia a la penetración (PR) y la CIC variaron significativamente según la combinación entre especie arbórea y variedad de café.

4.4.2. Correlación entre la macrofauna del suelo y las variables fisicoquímicas

Se aplicó Pearson entre densidad relativa por orden y atributos edáficos (Da, RPS, pH, MO, N, P, K, CIC) por SUS (Tabla 24). Con $n=4$ ($gl=2$), la significancia bilateral $p<0.05$ exige $|r|$ muy altos; por ello, la Tabla 25 reporta solo asociaciones fuertes y significativas (López et al., 2015; Celis et al., 2020). La dirección de r orienta la bioindicación: $r > 0$: el orden aumenta con el atributo y el bioindicador es positivo. $r < 0$: el orden disminuye con el atributo y el bioindicador es negativo.

Patrones esperados en gradientes de manejo de estado edáfico (Celis et al., 2020; López et al., 2015): Detritívoros/ingenieros (Haplotaxida, Diplopoda, Isópoda) con MO/N/CIC positivos presentan suelos con mayor actividad biológica y mejor estructura. Da/RPS negativos en órdenes sensibles presentan buena porosidad/estructura; positivos y una tolerancia a suelos densos. pH positivos tiene preferencia por menor acidez; negativos con tolerancia a acidez. P/K positivos presentan entornos con rizosfera activa o manejo; negativos con especialización en baja disponibilidad.

Tabla 24. Indicadores consolidados con base en los valores por SUS.

| Indicador | Cacao | Plátano | Bosque primario | Purma |
|-------------|--------|---------|--------------------|--------|
| Araneae | 0.0154 | 0.0258 | 0.0085 | 0.0061 |
| Coleóptera | 0.0228 | 0.0268 | 0.0250 | 0.0338 |
| Dermaptera | 0.0118 | 0.0066 | 0.0017 | 0.0026 |
| Dictióptera | 0.0041 | 0.0025 | 0.0333 | 0.0019 |
| Diplopoda | 0.0106 | 0.0111 | 0.0208 | 0.0241 |
| Díptera | 0.0187 | 0.0228 | 0.0236 | 0.0245 |
| Haplotaxida | 0.1016 | 0.0607 | 0.0632 | 0.0830 |

| | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Hemíptera | 0.0183 | 0.0202 | 0.0213 | 0.0222 |
| Himenóptera | 0.0260 | 0.0364 | 0.0665 | 0.0975 |
| Isópoda | 0.0606 | 0.0972 | 0.0749 | 0.0788 |
| Isóptera | 0.1553 | 0.1518 | 0.0948 | 0.0949 |
| Lepidóptera | 0.0122 | 0.0127 | 0.0083 | 0.0048 |
| Orthóptera | 0.0211 | 0.0202 | 0.0250 | 0.0254 |
| Paurápodos | 0.0012 | 0.0051 | 0.0133 | 0 |
| Stylommatóphora | 0.0008 | 0 | 0.0200 | 0 |
| Da (g/cm ³) | 1.717 | 1.732 | 1.768 | 1.639 |
| RPS (kg/cm ²) | 5.713 | 5.067 | 5.067 | 5.985 |
| pH | 7.85 | 8.1 | 7.97 | 8.21 |
| MO (%) | 1.34 | 1.26 | 0.95 | 0.8 |
| N (%) | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| P (ppm) | 14.75 | 37.71 | 7.87 | 11.95 |
| K (kg K ₂ O/ha) | 122.2 | 72.09 | 30.36 | 27.99 |
| CIC (cmol(+) kg ⁻¹) | 7.98 | 7.27 | 5.81 | 5.25 |

En la Tabla 25, se realizó una interpretación técnica orientada a identificar posibles bioindicadores edáficos. Esta interpretación considera la fuerza de las asociaciones entre órdenes taxonómicas y atributos fisicoquímicos del suelo, permitiendo establecer analogías funcionales con indicadores biológicos de calidad edáfica.

La matriz resume asociaciones fuertes entre la densidad relativa de órdenes de macrofauna y atributos fisicoquímicos del suelo (por SUS: Cacao, Plátano, Bosque primario, Purma). Para cada asociación indicada en la Tabla 25, la dirección del *r* orienta sobre el sentido de la bioindicación: $r > 0$ el orden aumenta su proporción conforme crece el atributo (bioindicador positivo de dicho atributo). Cuando $r < 0$ el orden disminuye con el incremento del atributo (bioindicador negativo o de condiciones opuestas).

La relación de la fertilidad y estado de la materia orgánica (MO, N, CIC, K) en Haplotaxida (lombrices): si muestran $r > 0$ con MO, N y/o CIC, sugieren mayor actividad detritívora/ingeniería en suelos con mejor contenido de orgánicos y capacidad de intercambio. Interpretación: bioindicador positivo de calidad/fertilidad y agregación estructural. Isópoda / Diplopoda: correlaciones positivas con MO o CIC refuerzan su rol saprófago y de

fragmentación de residuos; si fueran negativas, indicarían sensibilidad a suelos más pobres o ácidos/arenosos. K: asociaciones (\pm) con órdenes dominantes pueden señalar gradientes de lixiviación o manejo.

La relación con la reacción del suelo (pH) indican Órdenes con $r > 0$ con pH indican preferencia por suelos menos ácidos (pH más alto), potencialmente ligados a mayor actividad microbiana y descomposición; $r < 0$ sugiere tolerancia a acidez y cambios en la estructura trófica. La relación con fósforo disponible (P) indican correlaciones positivas (p. ej., con Himenóptera u Orthóptera) pueden reflejar uso de microhábitats y presencia de rizosfera activa o manejo que eleva P; negativas sugieren comunidades asociadas a baja disponibilidad o mayor imbricación orgánica (P orgánico). La relación con la DA y RSP indican si algún orden aparece con $r < 0$ frente a Da o RSP, actúa como indicador de buena estructura (menos compactación). Un $r > 0$ implicaría tolerancia o asociación a suelos más densos/compactados (p. ej., Isóptera en galerías profundas puede aparecer neutra o incluso positiva, según el contexto).

Tabla 25. Matriz de correlación que incluye únicamente coeficientes de correlación fuertes y estadísticamente significativos ($|r| > 0.90$; $p < 0.05$).

| Indicador | Da (g/cm³) | RSP (Kg/cm²) | pH | MO (%) | N (%) | P (ppm) | K (Kg K₂O/ha) | CIC (cmol(+) Kg-1) |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------|
| Araneae | 0.99 (p=0.005) | 0.96 (p=0.035) | -0.97 (p=0.028) | | | | | |
| Coleóptera | | | | | | | | |
| Dermaptera | | | | | | | 0,99 (p=0.005) | |
| Dictióptera | | | | | | | | |
| Diplopoda | | -0.98 (p=0.036) | | -0,99 (p=0.005) | | | | -0,98 (p=0.002) |
| Díptera | | | | | | | -0,97 (p=0.034) | |
| Haplotaxida | | | | | | | | |
| Hemíptera | | | | | -0,98 (p=0.018) | | -0,98 (p=0.021) | -0,96 (p=0.036) |
| Himenóptera | | | | -0,99 (p=0.013) | -0,98 (p=0.020) | | | -0,97 (p=0.028) |
| Isópoda | | | | | | | | |
| Isóptera | | | | 0,97 (p=0.034) | | | | 0,96 (p=0.035) |

| | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Lepidóptera | | | 0,97 (p=0.028) |
| Orthóptera | -0.96 (p=0.020) | -0.98 (p=0.018) | |
| Paurápodos | 0.99 (p=0.035) | | -0.99 (p=0.005) |
| Stylommatóphora | | | |

En el presente estudio, el mapa de calor (heatmap) de la Figura 17 ilustra la totalidad de los coeficientes de correlación calculados. En la barra derecha muestra los coeficientes con correlación positiva y correlación negativa.

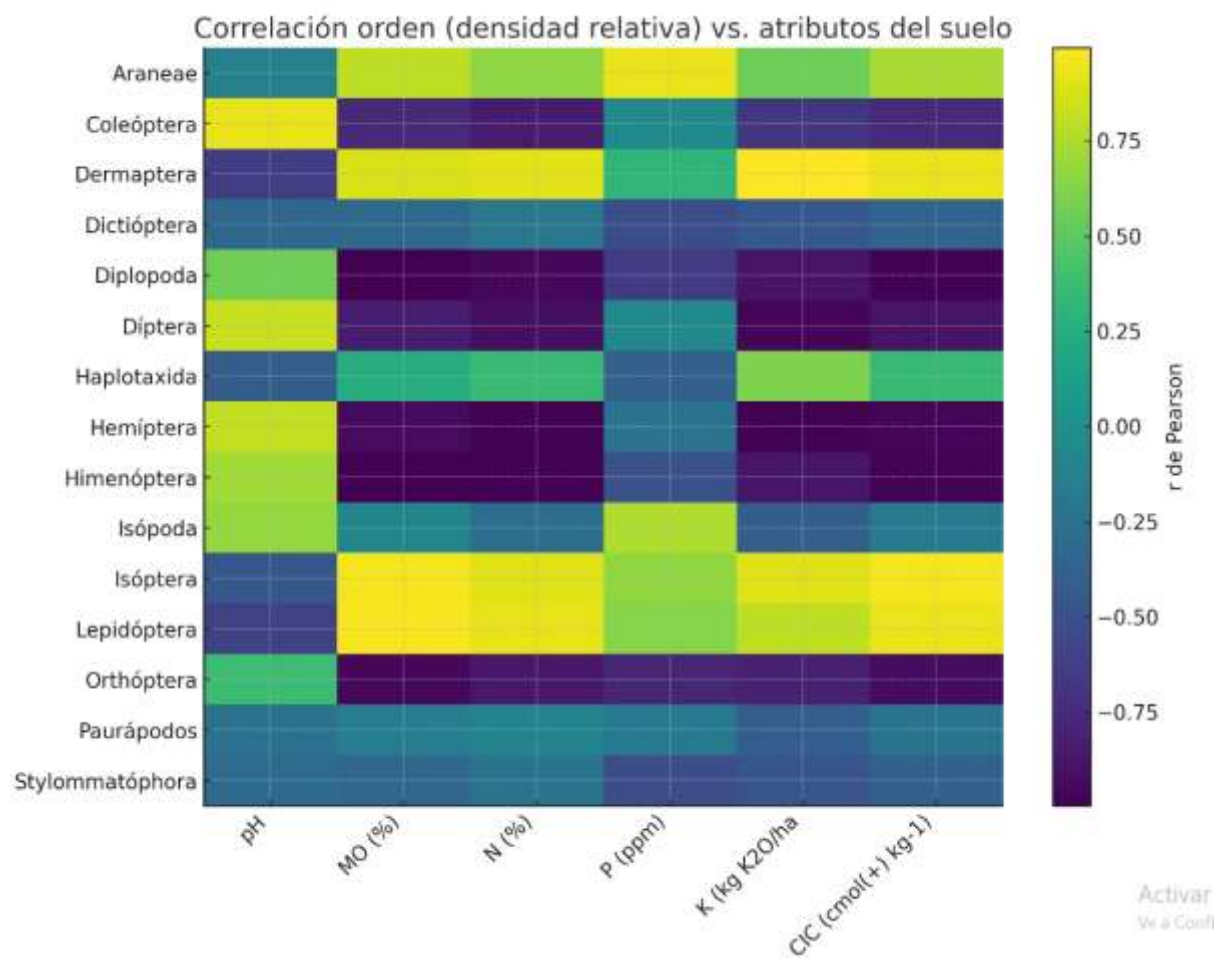


Figura 17. Heatmap. Mapa de calor generado a partir de la matriz de correlación de Pearson de la Tabla 24.

4.4.2.1. Fundamento estadístico del coeficiente de correlación utilizado

Se empleó Pearson para asociaciones lineales; significancia con prueba t (bilateral) y IC95% vía Fisher z, reconociendo que $n=4$ limita potencia y que la composicionalidad de proporciones puede inducir correlaciones por efecto de cierre; además, puede existir colinealidad entre atributos edáficos. Se recomienda validación con réplicas por SUS, contrastes robustos (Spearman/Kendall, permutación) y enfoques multivariados (RDA/db-RDA) (Porta et al., 1999; Celis et al., 2020).

V. CONCLUSIONES

1. Los Sistemas de uso del suelo difieren en las propiedades fisicoquímicas clave (DA, RSP, pH, MO, N, P, K, CIC), reflejando el efecto del uso y manejo sobre la calidad del suelo. La variabilidad observada respalda la hipótesis de diferencias de calidad entre sistemas.
2. Se registró un ensamble de órdenes representativo de la macrofauna edáfica tropical; la cuantificación por sistemas de uso del suelo y orden permitió obtener densidades relativas comparables entre coberturas.
3. La densidad, biomasa y diversidad (H') de la macrofauna fueron evaluados a través de estadísticos descriptivos, mostraron contrastes en densidad y dispersión, así como diferencias en H' coherentes con el grado de perturbación, que permitieron ordenar los sistemas de uso del suelo en función de su calidad biológica edáfica, complementando los indicadores fisicoquímicos.
4. Al correlacionar propiedades fisicoquímicas con la densidad, biomasa y diversidad de macrofauna se identificaron asociaciones fuertes y significativas entre atributos del suelo (p.ej., DA, RSP, pH, MO, N, P, K, CIC) y la densidad relativa de órdenes, lo que permitió proponer candidatos a bioindicadores edáficos, útiles como línea base para validación con mayor replicación.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Aumentar la replicación por SUS ($\geq 3-4$ parcelas independientes) y realizar muestreos estacionales para capturar la dinámica temporal de la macrofauna y los atributos edáficos.
2. Tratar las proporciones (densidades relativas por orden) como datos composicionales (CLR/ILR) y contrastar con tests por permutación y asociaciones no paramétricas (Spearman/Kendall) para robustecer inferencias con n pequeño.
3. Implementar modelos multivariados (RDA/db-RDA, GLM/GLMM) que integren simultáneamente variables edáficas y respuestas biológicas.
4. Reportar sistemáticamente IC95% (Fisher) para r , análisis leave-one-out de sensibilidad y control del FDR cuando se evalúen múltiples pares orden-atributo, para asegurar trazabilidad estadística.

VII. REFERENCIAS

- Blas, V. (2021). Evaluación de la calidad de suelo mediante indicadores, según el tipo de uso en San Alejandro Irazola - Ucayali. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1999>
- Bautista-Cruz, A., y J. D. Etchevers B. (2014). Una Revisión sobre los Conceptos de la Calidad del Suelo: Sus Indicadores e Índices. Editorial Académica Española. ISBN 978-3-8473-6509-9.
- Cardinale, B., & Hooper, D. (2023). "The Biodiversity-Ecosystem Functioning Relationship: Current State and Future Directions". *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35-39.
- Chase. (2020). "Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches". *Ecology Letters*.
- Diaz, S., & Cramer, W. (2023). "Measuring and Interpreting Alpha Diversity in Ecological Studies". *Ecology Letters*.
- Gasser, P., & Brady, N. (2020). *Soil Biology and Biochemistry*, Hättenschwiler y Gasser y "The Nature and Properties of Soils.
- Hansen, M. (2020). "Global land use and land cover change: Recent progress, remaining challenges, and policy options". *Nature Reviews Earth & Environment*, 32-36p.
- Hooper, D. (2020). En su artículo "A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem dysfunction". *Nature*, Hooper, 62-65p.
- Jost, L. (2021). "Entropy and Diversity: Theoretical and Practical Approaches to Measure Biodiversity". *Journal of Ecology*, 40-45p.
- Nuñez, J. L., Pérez, J., & Prado, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 14(6).
doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>

- Orteja, J. (2018). *Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico*. [Tesis para obtener título profesional]. Rep.
- Ramírez, A. R., Guerrero, A., Zavala, J., García, E., Sánchez, R., & Rincón, J. A. (2022). Evaluación de la calidad de suelo de Tabasco, México, con métodos convencionales, espectroscopia de infrarrojo cercano y quimiometría. *Terra Latinoam*, 41, 1-12.
doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1616>
- Rojas, M. (2019). *Relación de la composición de macroinvertebrados de suelo con la necromasa en bosque de varillal húmedo y seco de la reserva nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú 2015*. Iquitos-Peru: [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
- Sagarpa. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.
- Schmind, B. (2023). "Understanding Community Structure: Alpha Diversity and Its Implications for Ecosystem Functioning". 20-25: *Global Ecology and Biogeography*, Mouillot.
- Tuner, B. (2024). "The New Geographies of Land Use in the Anthropocene". *El uso del suelo como un proceso dinámico*, 5.
- Valdez, A. (2021). *Macrofauna en suelos con Coffea arabica L.* Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 70 p.: "Café distrito de Moyobamba-provincia Moyobamba. [Tesis de grado].

Vliet, J. (2020). "Land use change and biodiversity decline" . *Global Environmental Change*, 50-62.

Zheng, e. (2021). Changes of acid and alkaline phosphatase activities in long-term chemical fertilization are driven by the similar soil properties and associated microbial community composition in acidic soil. *European Journal of Soil Biology*, v., 104, 2021, p. 103312. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103312>.

ANEXO

Anexo 1. Tabulación de datos**Tabla 26.** Correlación de Pearson por ordenes

| Orden | Atributo | r | p |
|--------------|---------------------------|----------|----------|
| Araneae | pH | -0.126 | 0.874 |
| Araneae | MO (%) | 0.803 | 0.197 |
| Araneae | N (%) | 0.662 | 0.338 |
| Araneae | P (ppm) | 0.934 | 0.066 |
| Araneae | K (kg K ₂ O/ha | 0.553 | 0.447 |
| Araneae | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.743 | 0.257 |
| Araneae | Da (g/cm ³) | | |
| Araneae | RPS (kg/cm ²) | | |
| Coleóptera | pH | 0.937 | 0.063 |
| Coleóptera | MO (%) | -0.759 | 0.241 |
| Coleóptera | N (%) | -0.845 | 0.155 |
| Coleóptera | P (ppm) | -0.052 | 0.948 |
| Coleóptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.668 | 0.332 |
| Coleóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.746 | 0.254 |
| Coleóptera | Da (g/cm ³) | | |
| Coleóptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Dermaptera | pH | -0.626 | 0.374 |
| Dermaptera | MO (%) | 0.890 | 0.110 |
| Dermaptera | N (%) | 0.911 | 0.089 |
| Dermaptera | P (ppm) | 0.309 | 0.691 |
| Dermaptera | K (kg K ₂ O/ha | 0.995 | 0.005 |
| Dermaptera | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.936 | 0.064 |
| Dermaptera | Da (g/cm ³) | | |
| Dermaptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Dictióptera | pH | -0.323 | 0.677 |
| Dictióptera | MO (%) | -0.314 | 0.686 |
| Dictióptera | N (%) | -0.206 | 0.794 |
| Dictióptera | P (ppm) | -0.514 | 0.486 |
| Dictióptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.443 | 0.557 |

| | | | |
|-------------|---------------------------|--------|-------|
| Dictióptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.357 | 0.643 |
| Dictióptera | Da (g/cm ³) | | |
| Dictióptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Diplopoda | pH | 0.563 | 0.437 |
| Diplopoda | MO (%) | -0.995 | 0.005 |
| Diplopoda | N (%) | -0.950 | 0.050 |
| Diplopoda | P (ppm) | -0.641 | 0.359 |
| Diplopoda | K (kg K ₂ O/ha | -0.888 | 0.112 |
| Diplopoda | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.980 | 0.020 |
| Diplopoda | Da (g/cm ³) | | |
| Diplopoda | RPS (kg/cm ²) | | |
| Díptera | pH | 0.826 | 0.174 |
| Díptera | MO (%) | -0.834 | 0.166 |
| Díptera | N (%) | -0.916 | 0.084 |
| Díptera | P (ppm) | -0.053 | 0.947 |
| Díptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.966 | 0.034 |
| Díptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.888 | 0.112 |
| Díptera | Da (g/cm ³) | | |
| Díptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Haplotaxida | pH | -0.408 | 0.592 |
| Haplotaxida | MO (%) | 0.245 | 0.755 |
| Haplotaxida | N (%) | 0.360 | 0.640 |
| Haplotaxida | P (ppm) | -0.387 | 0.613 |
| Haplotaxida | K (kg K ₂ O/ha | 0.610 | 0.390 |
| Haplotaxida | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.357 | 0.643 |
| Haplotaxida | Da (g/cm ³) | | |
| Haplotaxida | RPS (kg/cm ²) | | |
| Hemíptera | pH | 0.810 | 0.190 |
| Hemíptera | MO (%) | -0.934 | 0.066 |
| Hemíptera | N (%) | -0.982 | 0.018 |
| Hemíptera | P (ppm) | -0.240 | 0.760 |
| Hemíptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.979 | 0.021 |

| | | | |
|-------------|---------------------------|--------|-------|
| Hemíptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.964 | 0.036 |
| Hemíptera | Da (g/cm ³) | | |
| Hemíptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Himenóptera | pH | 0.719 | 0.281 |
| Himenóptera | MO (%) | -0.987 | 0.013 |
| Himenóptera | N (%) | -0.980 | 0.020 |
| Himenóptera | P (ppm) | -0.499 | 0.501 |
| Himenóptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.877 | 0.123 |
| Himenóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.972 | 0.028 |
| Himenóptera | Da (g/cm ³) | | |
| Himenóptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Isópoda | pH | 0.682 | 0.318 |
| Isópoda | MO (%) | -0.078 | 0.922 |
| Isópoda | N (%) | -0.278 | 0.722 |
| Isópoda | P (ppm) | 0.762 | 0.238 |
| Isópoda | K (kg K ₂ O/ha | -0.392 | 0.608 |
| Isópoda | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.172 | 0.828 |
| Isópoda | Da (g/cm ³) | | |
| Isópoda | RPS (kg/cm ²) | | |
| Isóptera | pH | -0.451 | 0.549 |
| Isóptera | MO (%) | 0.966 | 0.034 |
| Isóptera | N (%) | 0.906 | 0.094 |
| Isóptera | P (ppm) | 0.674 | 0.326 |
| Isóptera | K (kg K ₂ O/ha | 0.905 | 0.095 |
| Isóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.965 | 0.035 |
| Isóptera | Da (g/cm ³) | | |
| Isóptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Lepidóptera | pH | -0.601 | 0.399 |
| Lepidóptera | MO (%) | 0.972 | 0.028 |
| Lepidóptera | N (%) | 0.930 | 0.070 |
| Lepidóptera | P (ppm) | 0.635 | 0.365 |
| Lepidóptera | K (kg K ₂ O/ha | 0.801 | 0.199 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|--------|-------|
| Lepidóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.939 | 0.061 |
| Lepidóptera | Da (g/cm ³) | | |
| Lepidóptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Orthóptera | pH | 0.374 | 0.626 |
| Orthóptera | MO (%) | -0.950 | 0.050 |
| Orthóptera | N (%) | -0.862 | 0.138 |
| Orthóptera | P (ppm) | -0.783 | 0.217 |
| Orthóptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.813 | 0.187 |
| Orthóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.926 | 0.074 |
| Orthóptera | Da (g/cm ³) | | |
| Orthóptera | RPS (kg/cm ²) | | |
| Paurápodos | pH | -0.253 | 0.747 |
| Paurápodos | MO (%) | -0.141 | 0.859 |
| Paurápodos | N (%) | -0.099 | 0.901 |
| Paurápodos | P (ppm) | -0.167 | 0.833 |
| Paurápodos | K (kg K ₂ O/ha | -0.400 | 0.600 |
| Paurápodos | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.219 | 0.781 |
| Paurápodos | Da (g/cm ³) | | |
| Paurápodos | RPS (kg/cm ²) | | |
| Stylommatóphora | pH | -0.302 | 0.698 |
| Stylommatóphora | MO (%) | -0.337 | 0.663 |
| Stylommatóphora | N (%) | -0.230 | 0.770 |
| Stylommatóphora | P (ppm) | -0.521 | 0.479 |
| Stylommatóphora | K (kg K ₂ O/ha | -0.464 | 0.536 |
| Stylommatóphora | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.379 | 0.621 |
| Stylommatóphora | Da (g/cm ³) | | |
| Stylommatóphora | RPS (kg/cm ²) | | |

Tabla 27. Correlación de Pearson Top bioindicadores

| Orden | Atributo | r | p | Dirección |
|--------------|---------------------------|----------|----------|------------------|
| Dermaptera | K (kg K ₂ O/ha | 0.9948 | 0.0052 | positiva |
| Diplopoda | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.9804 | 0.0196 | negativa |
| Diplopoda | MO (%) | -0.9946 | 0.0054 | negativa |
| Díptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.966 | 0.034 | negativa |
| Hemíptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.9637 | 0.0363 | negativa |
| Hemíptera | K (kg K ₂ O/ha | -0.9794 | 0.0206 | negativa |
| Hemíptera | N (%) | -0.9821 | 0.0179 | negativa |
| Himenóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | -0.9718 | 0.0282 | negativa |
| Himenóptera | MO (%) | -0.9871 | 0.0129 | negativa |
| Himenóptera | N (%) | -0.98 | 0.02 | negativa |
| Isóptera | CIC (cmol(+) kg-1) | 0.9649 | 0.0351 | positiva |
| Isóptera | MO (%) | 0.9664 | 0.0336 | positiva |
| Lepidóptera | MO (%) | 0.9722 | 0.0278 | positiva |

Anexo 2. Panel fotográfico

Figura 18. Empadronamiento de los beneficiarios del proyecto



Figura 19. Visita de campo para verificar el sistema de uso con cacao



Figura 20. Reunión de los pobladores con las autoridades de la Municipalidad de Megantoni



Figura 21. Firma de padrones por los beneficiarios del proyecto

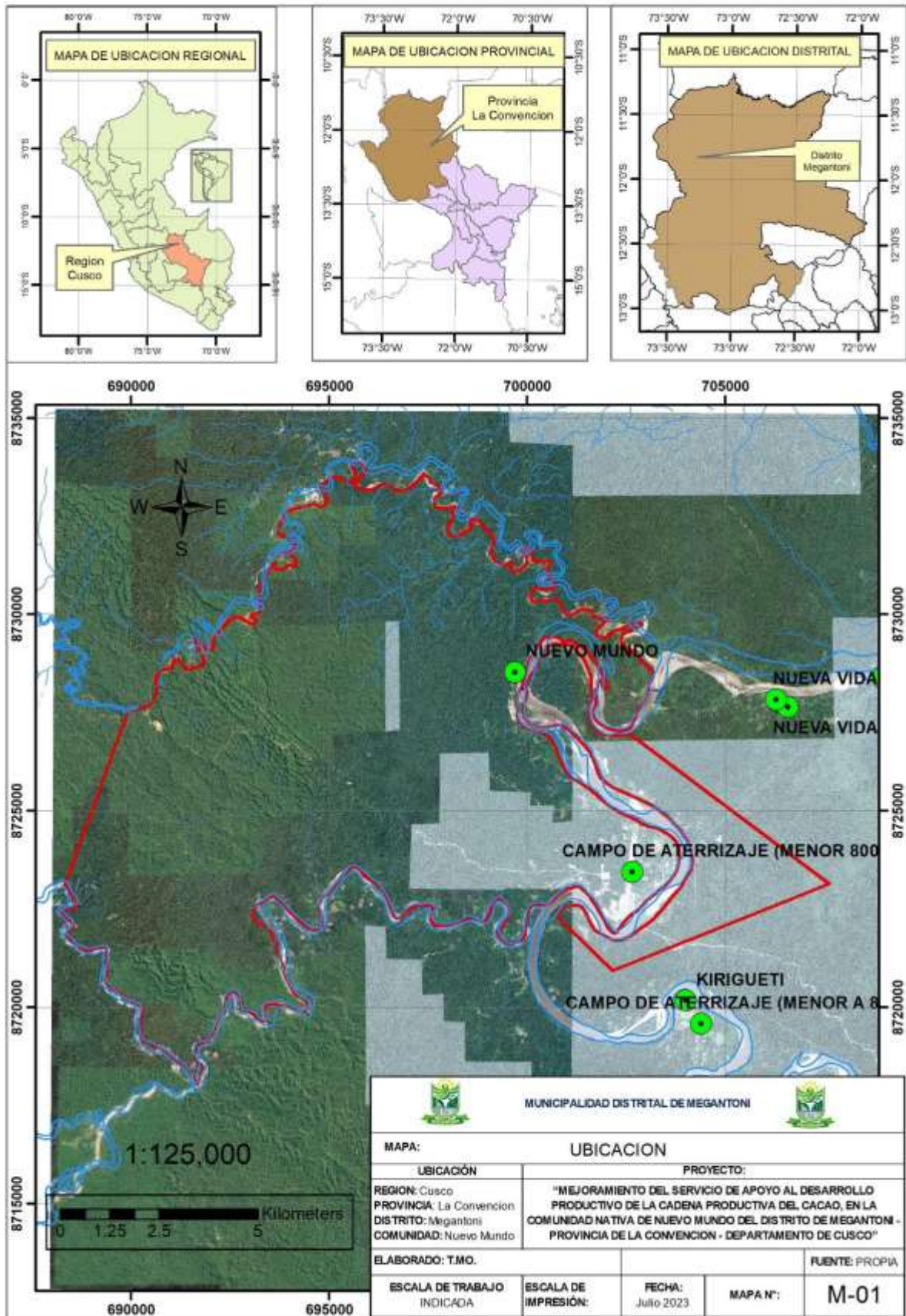


Figura 22. Mapa de ubicación de la comunidad nativa Nuevo Mundo



Figura 23. Recolección de muestra de suelo sistema de uso Sotobosque o purma



Figura 24. Recolección de muestra de suelo sistema de uso bosque primario



Figura 25. Toma de coordenada del muestreo de suelos profundidad de 0 – 30 cm



ANÁLISIS DE SUELOS



| | | | |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| SOLICITANTE: | LÍNARES GRANDES LEYDY MORELIA | FECHA DE REPORTE: | 12/8/2025 |
| PROCEDENCIA: | COMUNIDAD NATIVA NUEVO MUNDO | FECHA DE RECEPCIÓN: | 25/06/2025 |
| REFERENCIA: | TESIS | FECHA DE INICIO DE ENSAYOS: | 25/05/2025 |

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

| N° | DATOS | | | | | ANÁLISIS FÍSICO | | | | ANÁLISIS QUÍMICO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|------|------------------|-----|--------|------------------------|---------------|------------|------------------------|------------------|------------------|------|-------|-------|--------|---------|------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|------------------|------------------|------------------------|----------------|--------|
| | | | | | | Arena | Arcilla | Limo | CE | pH | Materia Orgánica | N | C | P | K2O | Ca | Mg | K | Na | Al | H | CICe | Bases Cambiables | Acidez Cambiable | Saturación de Aluminio | | |
| | | | | | | Ao | Arc | Lo | | | | | | | | | | | | | | | | | | Clase Textural | dSm |
| | | | | | | CODIGO DEL LABORATORIO | FISIOLOGRAFÍA | VEGETACION | CODIGO | PROF CM | % | % | % | 1:1 | 1:1 | % | % | % | ppm | ppm | CAMBIABLES Cmol(+)/kg | | | | | % | % |
| 1 | S25-1280-100 | CBLD | Cacao | M1 | 0 - 30 | 6 | 50 | 44 | Arcillo Limoso | 0.02 | 4.49 | 0.98 | 0.049 | 0.568 | 3.197 | 102.358 | ---- | 0.640 | 0.030 | 0.333 | 0.010 | 0.910 | 0.090 | 2.012 | 50.310 | 49.690 | 45.218 |
| 2 | S24-1280-33 | MA | Plátano | M12 | 0-40 | 70 | 8 | 22 | Franco Arenoso | 0.16 | 5.41 | 2.04 | 0.102 | 1.183 | 4.931 | 154.666 | ---- | 4.240 | 0.696 | 0.504 | 0.112 | 0.600 | 0.200 | 6.352 | 87.406 | 12.594 | 9.446 |
| 3 | S25-1280-102 | CBLD | Bosque primario | M10 | 0 - 30 | 66 | 20 | 14 | Franco Arcillo Arenoso | 0.50 | 3.33 | 1.69 | 0.085 | 0.980 | 12.799 | 165.187 | ---- | 2.010 | 0.249 | 0.535 | 0.054 | 1.000 | 0.100 | 3.948 | 72.137 | 27.863 | 25.330 |
| 4 | S24-1280-53 | TBI | Sotobosque Purma | M12 | 25-48 | 16 | 56 | 28 | Franco Arcilloso | 0.51 | 3.56 | 1.13 | 0.056 | 0.655 | 3.064 | 69.241 | ---- | 0.410 | 0.017 | 0.146 | 0.189 | 1.000 | 0.300 | 2.061 | 36.928 | 63.072 | 48.517 |

Figura 26. Análisis de suelos