UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CALIDAD DEL SUELO DE TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL CASERIO RIO NEGRO, TINGO MARIA

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

PIERO JULIAN JUSTO RODRIGUEZ

Tingo María – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 112-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de octubre de 2025, a horas 4:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

"CALIDAD DEL SUELO DE TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL CASERIO RIO NEGRO, TINGO MARIA"

Presentado por el Bachiller: **JUSTO RODRIGUEZ, PIERO JULIAN** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **"MUY BUENA".**

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

Tingo María, 15 de octubre de 2025

Dr. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
PRESIDENTE

Ph. D. VICENTE SERAPIO POCOMUCHA POMA
MIEMBRO

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
MIEMBRO

Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
ASESOR

Ing. FRITS PALOMINO VERA
ASESOR

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 354 - 2025 - 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
CALIDAD DEL SUELO DE TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL CASERIO RIO NEGRO, TINGO MARIA	PIERO JULIAN JUSTO RODRIGUEZ	08 % Ocho	Menor a 20 %

Tingo María, 06 de noviembre de 2025.

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

C.C. Archivo

Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

INFORME DE TESIS

Título	:	Calidad del suelo de tres sistemas de uso de la tierra en el caserío Río Negro, Tingo María, Perú.
Área de investigación	:	Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología.
Línea de investigación	:	Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales, Bienes y servicios ecosistémicos.
Autor	:	Bach. Piero Julian Justo Rodríguez.
Asesor(es)	:	Ph. D. Luis Alberto Valdivia Espinoza. Ing. Frits Palomino Vera.
Lugar de ejecución	:	Caserío Río Negro.
Duración del trabajo	:	8 meses.
Financiamiento	:	S/ 4 530,60.
FEDU	:	No.
Propio	:	Si.
Otros	:	No.

V. B. a la tesis de Piero Julian Justo Rodríguez

Agosto, 2025

Tingo María – Perú

DEDICATORIA

A Dios, por sobre todas las cosas, por guiarme, cuidarme, protegerme y poder hacer esto posible en este momento tan importante en mi vida profesional.

A mi madre Elisa Ades Rodriguez Miguel, por ser un pilar fundamental en mi vida, por ayudarme a poder lograr mis metas paso a paso y nunca dejarme de apoyar ante las adversidades.

A mi hermana Celene Astrid Justo Rodriguez, por confiar y brindarme su apoyo y amor incondicional en el proceso de mi formación profesional.

A mi padre Julian Justo Chamorro, por ser parte del camino lleno de obstáculos y estar orgulloso de la persona que soy

A mi hijo Alessandro Matteo Justo Peralta, por ser el mejor regalo que papá Dios me pudo dar, por ser la motivación de seguir adelante y logar cumplir todas mis metas.

A papito Ignacio, tíos, tías, primos y demás familiares por el gran apoyo moral que me dieron para fomentar en mí el deseo de superación y perseverancia. A ellos todo el amor y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria La Selva, mi “Alma mater”, por brindarme las aulas de formación académica durante mis años de estudiante, tengo el orgullo de ser Unasino.

A mis queridos y prestigiosos docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por todos los conocimientos impartidos, por su paciencia y guiarnos siempre para convertirnos en los mejores profesionales.

Al Ph. Dr. Luis Alberto Valdivia Espinoza por el asesoramiento de este trabajo, quien con su experiencia en el rubro han brindado una brillante orientación, que fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su guía no solo me proporcionó claridad académica, sino también motivación para la culminación.

Al Ing. Frits Palomino Vera, agradezco profundamente por sus valiosos consejos y aportes, experiencias y conocimientos siendo de vital importancia en esta investigación cada crítica constructiva y cada palabra de aliento. Su influencia ha sido clave en mi desarrollo como investigador y como persona.

A mis amigos de la secundaria en especial a Jerson William Acosta Maíz, Armando Junior Rojas Rapre, Angie Gianelly Meza Simón, Vela Martínez Samanta Anny que fueron parte de una bonita etapa de mi vida y por el apoyo moral que me brindaron para poder seguir con mis metas.

A mis otros amigos en especial a Teddy Fernando Estrada Robles, Gerson Whiter Duran Tolentino, Yordan Alvino Rosas y Grover Cierto porque ellos me apoyaron en la ejecución de mi proyecto de tesis.

Finalmente extiendo mis agradecimientos a todas las personas que, de alguna u otra manera, han influido en mi vida académica y personal, gracias por su constante apoyo, por su confianza y por inspirarme a seguir siempre adelante. Este trabajo es el resultado del esfuerzo, la dedicación y el apoyo de todos ustedes. Mi más profundo agradecimiento, pues sin cada uno de ustedes, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE

Página

I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1. Marco teórico 3
2.1.1. Suelo 3
2.1.2. Factores de formación del suelo 3
2.1.3. Calidad del suelo 5
2.1.4. Indicadores de calidad del suelo 5
2.1.5. Indicadores físicos y químicos usados en la determinación de la calidad del suelo del presente estudio 6
2.1.6. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) 11
2.1.7. Degradación del suelo 12
2.1.8. Deterioro de la estructura edáfica 12
2.1.9. Pérdida de nutrientes en el suelo 12
2.1.10. Sistemas de usos de la Tierra 13
2.2. Estado del arte 14
2.2.1. Internacional 14
2.2.2. Nacional 16
III. MATERIALES Y MÉTODOS 25
3.1. Lugar de ejecución 25
3.1.1. Ubicación geográfica 25
3.1.2. Ubicación política 26
3.1.3. Características de los sistemas de uso de la tierra 26
3.1.4. Condiciones climáticas 26
3.1.5. Zona de vida 27
3.2. Material y métodos 27
3.2.1. Materiales y equipos 27
3.2.2. Metodología 28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
4.1. Propiedades físicas y químicas del suelo de un sistema agroforestal, un sistema forestal y un sistema silvopastoril 34

4.1.1. Propiedades físicas 34
4.1.2. Propiedades químicas 44
4.2. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra, mediante la aplicación del Subíndice Sustentable del Suelo (SUSS) 71
4.3. Comparación de la calidad del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra 73
V. CONCLUSIONES 75
VI. PROPUESTAS A FUTURO 76
VII. REFERENCIAS 77
Anexos 82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Página

1. Ubicación geográfica de los tres sistemas de usos de la tierra. 25
2. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual de los suelos. 31
3. Rangos interpretativos del SUSS. 32
4. Humedad del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 34
5. Densidad aparente del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 37
6. Contenido de arena del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 38
7. Contenido de arcilla del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 40
8. Contenido de limo del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 41
9. Nivel de conductividad eléctrica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 43
10. Nivel de pH del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 45
11. Nivel de materia orgánica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 47
12. Nivel de nitrógeno del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 49
13. Contenido de fósforo disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 50
14. Contenido de óxido de potasio disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 52
15. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 54
16. Contenido de calcio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 56
17. Contenido de magnesio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 57
18. Contenido de potasio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 59
19. Contenido de sodio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 61
20. Contenido de aluminio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 62
21. Contenido de hidrógeno cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 64

22. Contenido de la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 65
23. Contenido de la base cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 67
24. Contenido de la acidez cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra..... 68
25. Contenido de la saturación de aluminio del suelo en tres sistemas de uso de la tierra..... 70
26. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra. 72
27. Comparación de los Subíndice Sustentable del Suelo de los tres sistemas de uso de la tierra. 73
28. Valores normalizados de los indicadores de los suelos en los tres sistemas de uso..... 83
29. Promedios del valor de los parámetros normalizados en los tres sistemas de uso. 85
30. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 0 a 10 cm de profundidad. 85
31. ANVA para el subíndice Sustentable del Suelo entre 0 a 10 cm de profundidad en los sistemas de uso. 85
32. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 10 a 40 cm de profundidad. 86
33. ANVA para el subíndice sustentable del suelo entre 10 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso. 86
34. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 0 a 40 cm de profundidad. 86
35. ANVA para el subíndice sustentable del suelo entre 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso. 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Mapa de ubicación de los sistemas de uso de la tierra. 25
2. Diseño de la parcela para evaluación de calidad de suelo en los tres sistemas 29
3. Humedad del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 35
4. Densidad aparente del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 37
5. Contenido de arena del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 39
6. Contenido de arcilla del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 40
7. Contenido de limo del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 42
8. Nivel de conductividad eléctrica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 44
9. Nivel de pH del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 46
10. Nivel de materia orgánica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 47
11. Nivel de nitrógeno del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 49
12. Contenido de fósforo disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 51
13. Contenido de óxido de potasio disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 52
14. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 54
15. Contenido de calcio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 56
16. Contenido de magnesio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 58
17. Contenido de potasio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 59
18. Contenido de sodio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 61
19. Contenido de aluminio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 62
20. Contenido de hidrógeno cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 64
21. Contenido de la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en tres sistemas de uso de la tierra. 66
22. Contenido de la base cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra 67

23. Contenido de la acidez cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra..... 69
24. Contenido de la saturación de aluminio del suelo en tres sistemas de uso de la tierra..... 70
25. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra. 72
26. Apertura de calicata en el sistema forestal. 88
27. Obtención de muestras de suelos en el cilindro del sistema forestal..... 88
28. Profundidad de la calicata en el sistema agroforestal..... 89
29. Muestras de suelos obtenidos con sus respectivos rótulos. 89
30. Panel informativo sobre la tesis..... 90
31. Visita por parte del presidente del jurado calificador. 90
32. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema agroforestal..... 91
33. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema forestal..... 92
34. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema pastoril..... 93

RESUMEN

En el estudio se consideró como objetivo evaluar la calidad del suelo de tres sistemas de uso de la tierra en el caserío Río Negro, Tingo María, Perú. Se consideró como población de estudio al sistema forestal (SF), agroforestal (SA) y silvopastoril (SS) que se encontraba en un predio particular del caserío Río Negro, el estudio fue de tipo aplicada y prosiguió un diseño no experimental, realizando la toma de muestras de los suelos en 10 puntos distribuido en dos profundidades de muestreo (0 a 10 y 10 a 40 cm) por cada sistema de uso, determinándose las propiedades físicas y químicas de los suelos, además, los datos fueron determinados mediante el Subíndice Sustentable del Suelo y analizados mediante la estadística descriptiva. Entre los resultados se encontró que el suelo del SF muestreado entre 0 a 10 cm refleja mejores promedios de la humedad, densidad aparente, arena, limo, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y potasio cambiable; en el caso del SS a esta profundidad sobresalen los valores de arcilla, pH, fósforo, sodio cambiable y aluminio cambiable, este comportamiento fue similar en la profundidad de 10 a 40 cm para ambos sistemas de uso, mientras que el SA presentó lo valores más bajos. Se concluye que, los sistemas forestal y silvopastoril muestran suelos de calidad “sensible” frente al agroforestal que posee un suelo “marginal”, especialmente en la capa superficial, los mismos que son más adecuados para la conservación y sostenibilidad del suelo.

Palabras clave: Agroforestal, forestal, marginal, sensible, silvopastoril.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the soil quality of three land use systems in the Río Negro hamlet, Tingo María, Peru. The study population was considered to be the forestry (SF), agroforestry (SA) and silvopastoral (SS) system that was located in a particular property in the Río Negro hamlet. The study was of an applied type and followed a non-experimental design, taking soil samples at 10 points distributed in two sampling depths (0 to 10 and 10 to 40 cm) for each use system, determining the physical and chemical properties of the soils. In addition, the data were determined using the Sustainable Soil Subindex and analyzed using descriptive statistics. Among the results, it was found that the SF soil sampled between 0 to 10 cm reflects better averages of humidity, apparent density, sand, silt, electrical conductivity, organic matter, nitrogen, potassium, calcium, magnesium and exchangeable potassium; In the case of SS at this depth, the values of clay, pH, phosphorus, exchangeable sodium and exchangeable aluminum stand out. This behavior was similar at the depth of 10 to 40 cm for both use systems, while the SA presented the lowest values. It is concluded that the forestry and silvopastoral systems show soils of "sensitive" quality compared to the agroforestry that has a "marginal" soil, especially in the surface layer, which are more suitable for the conservation and sustainability of the soil.

Keywords: Agroforestry, forestry, marginal, sensitive, silvopastoral.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas mundial del suelo radica en su creciente deterioro debido a la intensificación de actividades humanas como la agricultura y el uso forestal inadecuado, que generan una pérdida significativa de su calidad física, química y biológica. Este fenómeno, exacerbado por el uso excesivo e insostenible, afecta a más del 20% de las tierras agrícolas, 30% de los bosques y 10% de los pastizales, impactando la productividad de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y la biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2008). La degradación del suelo está estrechamente ligada a los procesos de regresión ecológica, ocasionando desequilibrios ambientales y sociales que repercuten directamente en el desarrollo sostenible de las regiones afectadas (Blas, 2021).

En Perú, la degradación del suelo representa una problemática crítica debido a su uso intensivo y manejo inadecuado, que ha llevado a una disminución de su calidad y capacidad productiva, especialmente en áreas agrícolas y forestales. Esta situación se agrava por una relación hombre-suelo limitada, que restringe la productividad de alimentos y genera conflictos de uso del territorio. Además, la falta de una adecuada zonificación económica y ecológica ha contribuido al deterioro de los ecosistemas, afectando no solo la biodiversidad, sino también el equilibrio social y ambiental del país (Álvarez, 2018).

Los cambios en el uso de la tierra, especialmente de áreas en barbecho a cultivos, han deteriorado significativamente la calidad del suelo al alterar su estructura y reducir las reservas de nutrientes esenciales. Estos cambios, sumados a la influencia de la topografía, han intensificado procesos erosivos del tipo hídricos, aumentando el escurrimiento superficial y afectando la función reguladora del flujo hídrico. Esta situación compromete directamente la sostenibilidad de los ecosistemas y la capacidad productiva del suelo en el país. En este entorno se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la calidad del suelo de tres sistemas de uso de la tierra en el caserío Río Negro, Tingo María, Perú?

La evaluación de la calidad del suelo en el caserío Río Negro, resulta fundamental en analizar cómo estas prácticas impactan la calidad del suelo y su capacidad para recuperarse, permitiendo una comprensión más profunda de la efectividad de las estrategias actuales de restauración y su potencial para ser replicadas y escaladas en otras regiones afectadas por la degradación. En un contexto donde la relación hombre-suelo es limitada, estudiar estos sistemas permite comprender el impacto de las prácticas locales en la calidad del suelo, contribuyendo a generar información clave para el manejo sostenible de los recursos terrestres y la preservación de los ecosistemas en la región.

En este sentido, el presente estudio se centra en evaluar las características edáficas y su relación con las prácticas agrícolas y forestales locales. Se analizaron diversos parámetros físicos y químicos del suelo, identificando variaciones significativas en la fertilidad y estructura según el tipo de uso, lo que permite comprender cómo estas prácticas impactan la sostenibilidad del ecosistema. Además, se busca establecer recomendaciones para mejorar la gestión del suelo, promoviendo un uso más eficiente y sostenible que contribuya al desarrollo económico de la zona y a la conservación ambiental.

Por ello, en el contexto de la presente investigación se ratifica la hipótesis concerniente a que, la calidad del suelo es estadísticamente diferente en los tres sistemas de uso de la tierra en el caserío Río Negro, Tingo María, Perú.

1.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del suelo de tres sistemas de uso de la tierra en el caserío Río Negro, Tingo María, Perú.

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo de un sistema agroforestal, un sistema forestal y un sistema silvopastoril.
- Determinar la calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra, mediante la aplicación del Subíndice Sustentable del Suelo (SUSS).
- Comparar la calidad del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Suelo

El suelo constituye un sistema complejo y en constante transformación, que desempeña funciones fundamentales en el equilibrio de la superficie terrestre. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura (MINAG, 2011), puede entenderse como una cobertura continua que recubre la corteza terrestre, en la cual se desarrollan interacciones físicas, químicas y biológicas a diferentes profundidades. Su relevancia se sustenta en el suministro de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, además de proveer un hábitat que alberga una amplia diversidad de organismos, considerada una de las mayores expresiones de biodiversidad del planeta (Ruz, 2018).

El suelo no debe concebirse únicamente como un sustrato para el crecimiento de las plantas, sino como un sistema estructuralmente complejo que integra diversos componentes e interacciones. Tal como sostiene Rivera (2023), su conformación básica se compone de cuatro elementos principales: el aire, el agua en estado disuelto, la materia orgánica en distintos grados de descomposición y los minerales o fragmentos de roca. Estos constituyentes, al organizarse en una matriz sólida y en un entramado de poros, permiten procesos dinámicos de intercambio físico, químico y biológico que aseguran la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema edáfico. De esta manera, el suelo adquiere una multifuncionalidad que no solo garantiza la sustentación de la vegetación, sino que también incide en la regulación hídrica, el reciclaje de nutrientes, el almacenamiento de carbono y la provisión de hábitats para una amplia diversidad de organismos (Chávez, 2023).

2.1.2. Factores de formación del suelo

De acuerdo con Martínez (2021), los factores de formación de suelos, denominados formadores de suelo son cinco:

- **Material parental**

El material parental, también denominado roca madre, constituye el sustrato inicial a partir del cual se origina el suelo. Dicho material experimenta procesos de meteorización física, química y biológica, los cuales favorecen su desintegración y la consecuente liberación de minerales esenciales que se incorporan a la matriz sólida del suelo. La naturaleza litológica del material parental (su composición mineralógica y su estructura) ejerce una influencia determinante sobre las propiedades edáficas, condicionando aspectos como la textura, la fertilidad y las características químicas del suelo en formación. En este

sentido, la calidad y el comportamiento de los suelos se encuentran muy estrechamente vinculados a las características intrínsecas de la roca madre de la cual ellos se derivan (Rivera, 2023).

- **El clima**

El clima constituye un factor determinante en la génesis y evolución del suelo, debido a que variables como la temperatura y el régimen de precipitaciones condicionan la intensidad y la velocidad de los procesos de meteorización y descomposición. En regiones de clima cálido y húmedo, la elevada disponibilidad de agua y las altas temperaturas favorecen una rápida descomposición de la materia orgánica, lo que da lugar a suelos con una dinámica biogeoquímica más activa. Por el contrario, en zonas de clima frío o árido, las bajas temperaturas o la limitada disponibilidad hídrica ralentizan dichos procesos, generando suelos con propiedades físicas y químicas particulares que reflejan la influencia directa de las condiciones climáticas en su formación (Figueroa, 2018).

- **La topografía**

La topografía, entendida como el relieve del terreno, desempeña un papel fundamental en los procesos de formación y evolución del suelo, dado que regula el movimiento del agua, los sedimentos y los nutrientes en el paisaje. En áreas de relieve plano o ligeramente ondulado, la acumulación de agua y materia orgánica es más frecuente, lo que favorece el desarrollo de suelos más profundos y con mayor capacidad de retención de nutrientes. En contraste, en zonas de pendiente pronunciada, la escorrentía superficial y la erosión hídrica tienden a remover las capas superiores del perfil edáfico, limitando la acumulación de materia orgánica y reduciendo el espesor del horizonte fértil. De esta manera, la topografía condiciona tanto la fertilidad como la estabilidad del suelo, actuando como un factor clave en su calidad y productividad (Bravo, 2023).

- **Los organismos vivos**

La biota edáfica, que se encuentran conformadas por el recuro flora, la fauna y los microorganismos, constituye un factor esencial en la formación y evolución del suelo. Las plantas, a través de sus raíces, intervienen en la desintegración mecánica y química de las rocas, acelerando los procesos de meteorización. De manera complementaria, los microorganismos y otros organismos descomponen la materia orgánica, liberando nutrientes indispensables para el sostenimiento de los ecosistemas. Asimismo, los animales que excavan y movilizan partículas del suelo favorecen su aireación, redistribución y mezcla, lo que contribuye significativamente a mejorar la estructura y la funcionalidad del perfil edáfico (Rivera, 2023).

- **El tiempo**

El tiempo actúa como un factor acumulativo, ya que los procesos de formación del suelo son lentos y requieren cientos o incluso miles de años. A medida que pasa el tiempo, los otros factores interactúan y transforman la roca inicial en un suelo desarrollado, con horizontes bien definidos y propiedades físicas, químicas y biológicas adaptadas a las condiciones locales (Figueroa, 2018).

2.1.3. Calidad del suelo

La calidad del suelo se define como la capacidad que este posee para desempeñar adecuadamente sus funciones esenciales dentro de un ecosistema, entre ellas, sostener la productividad vegetal, regular el ciclo hidrológico, conservar la biodiversidad y aportar a la sostenibilidad ambiental. Este atributo está determinado por la interacción de propiedades físicas como la textura y la estructura, propiedades químicas como la fertilidad y el pH y las propiedades biológicas como la actividad de los microorganismos, cuya interrelación condiciona tanto la funcionalidad del suelo como su respuesta frente a distintos usos agrícolas, ambientales o de conservación. En este sentido, un suelo considerado de alta calidad es aquel que logra mantener un equilibrio entre la capacidad productiva y la preservación de los recursos naturales (Blas, 2023).

La calidad del suelo puede entenderse como la capacidad de este recurso para cumplir de manera sostenible sus funciones, tanto en ecosistemas naturales como en aquellos sujetos a la intervención humana. De acuerdo con Aquino et al. (2020), dicha capacidad comprende el sostenimiento y mejora de la productividad de plantas y animales, la regulación de los procesos ambientales y la contribución a la salud y bienestar de las poblaciones humanas. En complemento, Blas (2007) plantea que la calidad del suelo se vincula con su aptitud para generar beneficios y ser aprovechado sin experimentar procesos de degradación, garantizando la preservación de sus funciones ecológicas. En síntesis, ambos enfoques coinciden en resaltar la necesidad de un manejo sostenible del suelo, orientado a conservar su funcionalidad y asegurar su viabilidad a largo plazo (Blas, 2023).

2.1.4. Indicadores de calidad del suelo

Según Rengifo (2019), se consideran variables o parámetros que permiten evaluar y monitorear el estado y funcionamiento del suelo en relación con sus características físicas, químicas y biológicas. Estos indicadores proporcionan información sobre cómo el suelo responde a diferentes prácticas de manejo, cambios en el uso de la tierra o variaciones ambientales. Su propósito es facilitar la interpretación de la calidad del suelo y medir su capacidad para cumplir funciones esenciales, como la producción agrícola, el

mantenimiento de la biodiversidad, la regulación del ciclo del agua y la preservación de la calidad ambiental (Morel y Acosta, 2022).

Bravo (2023), sostienen que la calidad del suelo depende de características físicas, químicas y biológicas que presentan variaciones temporales y espaciales. Estos cambios pueden influir en su vulnerabilidad frente al uso y manejo de la tierra, además de reflejar diferencias entre distintos sistemas de manejo. Estas variaciones a menudo dificultan la interpretación de sus efectos, pero pueden ser evaluadas a través de indicadores de calidad, que son herramientas prácticas y útiles para identificar y monitorear las transformaciones en el suelo de forma sencilla y aplicable.

Castillo et al. (2023) sostienen que el índice de calidad del suelo constituye una herramienta cuantitativa destinada a evaluar, en un momento determinado, las propiedades y procesos que caracterizan a este recurso. Su aplicación permite obtener información relevante para el seguimiento de los efectos que generan las prácticas de manejo sobre las funciones edáficas, aportando así una visión integral del estado actual del suelo. Asimismo, dicho índice facilita la identificación de posibles cambios o transformaciones en el largo plazo, lo que lo convierte en un instrumento valioso para orientar estrategias de conservación y uso sostenible del suelo.

Huamán (2021) enfatiza la relevancia de los indicadores de calidad del suelo como un elemento fundamental para el diseño de estrategias de gestión sostenible y de ordenamiento territorial. Estos indicadores constituyen herramientas clave para anticipar escenarios futuros, respaldar la toma de decisiones por parte de agricultores y ganaderos, así como para orientar la formulación de políticas destinadas a la protección de los recursos edáficos. En este sentido, su aplicación resulta indispensable para promover un uso responsable del suelo y asegurar su conservación como recurso vital para el equilibrio ambiental y el bienestar humano.

2.1.5. Indicadores físicos y químicos usados en la determinación de la calidad del suelo del presente estudio

Son parámetros que describen las propiedades estructurales y mecánicas del suelo, reflejando su capacidad para sostener plantas, permitir el flujo de agua y aire, y resistir procesos de degradación como la erosión o la compactación (Bravo, 2023). Entre los principales indicadores físicos se encuentran la textura, estructura, densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua y estabilidad de los agregados (De La Cruz, 2019). Por otro lado, los comportamientos del suelo se refieren a cómo estas propiedades afectan su funcionamiento,

incluyendo aspectos como la capacidad de retener agua, el coeficiente de humedad, la aireación, la porosidad y la permeabilidad, entre otros (Aquino et al., 2020).

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones químicas del suelo que influyen directamente en la relación entre el suelo y las plantas, como la capacidad amortiguadora del agua, la calidad y disponibilidad de nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento óptimo de las plantas. Entre estos indicadores químicos se incluyen el carbono orgánico del suelo, el pH, la disponibilidad de nutrientes, la conductividad eléctrica, la absorción de fosfatos, la materia orgánica y el nitrógeno (Ramírez, 2013).

- **Densidad aparente (Dap)**

Es una medida que relaciona la masa de suelo seco con su volumen total, incluyendo tanto los sólidos como los espacios porosos. Es un indicador clave de la compactación del suelo y afecta propiedades como la capacidad de retención de agua, la aireación y el desarrollo de las raíces. Su valor depende de factores como la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo (Huamán, 2021).

Aquino et al. (2008) señalan que la densidad aparente constituye un parámetro empleado para evaluar el grado de resistencia que el suelo ofrece al crecimiento radicular. Asimismo, cumple una función práctica al facilitar la conversión de datos expresados en términos de masa y volumen, lo que resulta esencial para los análisis de productividad y la estimación de rendimientos agrícolas. Este indicador presenta variaciones en función de las propiedades superficiales del suelo y de su contenido de materia orgánica; además, puede verse influenciado por factores como el tipo de cultivo y el nivel de humedad, particularmente en suelos con alto contenido de arcillas.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012) considera a la densidad aparente como una de las propiedades fundamentales para la evaluación de la calidad del suelo, al constituir un indicador de su estructura, de su resistencia mecánica y del grado de cohesión de sus partículas. Las variaciones en este parámetro reflejan cambios en la organización estructural del suelo, estrechamente vinculados con la proporción y distribución de poros. Esta condición incide de manera directa en el desarrollo vegetal, dado que la porosidad y la resistencia física determinan la capacidad de penetración y expansión de las raíces. A medida que la densidad aparente se incrementa, aumenta también la resistencia mecánica y se reduce la porosidad, lo que puede limitar el crecimiento radicular hasta alcanzar niveles críticos. Cabe señalar que el intervalo óptimo de densidad aparente para permitir un adecuado desarrollo de las raíces está condicionado por la textura del suelo y por las características propias de cada especie vegetal.

- **pH**

Medida de su acidez o alcalinidad, expresada en una escala de 0 a 14, donde valores menores a 7 indican acidez, 7 es neutro y valores mayores a 7 reflejan alcalinidad. Este indicador químico es crucial para el desarrollo de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales, la actividad microbiana y los procesos químicos del suelo. Factores como la composición mineral, la materia orgánica y las prácticas de manejo agrícola influyen en el pH del suelo.

De acuerdo con la FAO (2020), el pH del suelo constituye un parámetro fundamental que refleja el grado de acidez o alcalinidad del medio edáfico, en función de la capacidad de sus partículas para adsorber iones de hidrógeno (H^+). Este indicador no solo caracteriza la reacción química del suelo, sino que también regula la solubilidad y movilidad de los nutrientes, de los componentes minerales y de ciertos contaminantes inorgánicos presentes en el perfil edáfico. En consecuencia, el pH ejerce una influencia directa sobre la calidad del suelo, al determinar en gran medida su capacidad para sostener el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El pH del suelo constituye un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, así como en el desarrollo de procesos biológicos clave, entre ellos la nitrificación y la mineralización de la materia orgánica. En suelos ácidos, con valores de pH entre 4,0 y 6,5, característicos de regiones con elevada pluviosidad, la solubilidad de elementos como el aluminio y el manganeso puede alcanzar niveles tóxicos para las especies vegetales. En contraste, los suelos alcalinos, con pH entre 7,0 y 8,5, propios de zonas áridas o semiáridas, presentan una baja solubilidad del fósforo, lo que limita su disponibilidad y reduce la fertilidad edáfica. Por su parte, los suelos con valores cercanos a la neutralidad tienden a favorecer la actividad bacteriana, mientras que los hongos muestran una mayor tolerancia y adaptación a un rango más amplio de condiciones de pH (SAGARPA, 2012).

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Blas (2021) señala que la conductividad eléctrica constituye el parámetro más empleado para la estimación de la salinidad del suelo. Este procedimiento se fundamenta en la medición de la capacidad de una solución salina para conducir la corriente eléctrica, cuya intensidad es directamente proporcional a la concentración de sales disueltas en el medio. En este sentido, la conductividad se convierte en un indicador eficiente para diagnosticar el nivel de salinidad y, por ende, para evaluar posibles restricciones en la productividad agrícola asociadas a esta condición.

SAGARPA (2012), explica que la salinidad afecta los procesos fisiológicos de las plantas a través de efectos osmóticos, nutritivos y tóxicos. Mientras que los primeros dos son secundarios al estrés salino, la toxicidad es una consecuencia primaria directamente causada por las sales. Altos niveles de sodio (Na^+), cloro (Cl^-) y magnesio (Mg^{2+}) pueden provocar deficiencias de iones esenciales como potasio (K^+), dihidrógeno fosfato ($H_2PO_4^-$) o nitrato (NO_3^-). Los efectos tóxicos pueden ser inmediatos, dañando las membranas en minutos u horas, o indirectos, afectando los procesos metabólicos tras una exposición prolongada.

- **Materia orgánica (MO)**

La materia orgánica constituye un componente esencial en la calidad química del suelo, al desempeñar un papel central en la regulación de la disponibilidad de nutrientes a través de los procesos de descomposición y mineralización. Su presencia representa una importante reserva de carbono y nitrógeno, además de contribuir a incrementar la capacidad de intercambio catiónico y a mantener la estabilidad del pH, generando así un entorno químico propicio para el desarrollo vegetal. De igual manera, la materia orgánica favorece la retención de agua, promueve la formación y estabilidad de agregados y participa en la inmovilización o reducción de contaminantes, lo que en conjunto refuerza la fertilidad y la sostenibilidad del suelo a largo plazo (FAO, 2020).

La función más importante de la materia orgánica es promover el desarrollo de las plantas mediante su influencia en las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo. Desde el punto de vista nutricional, tiene efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, proporcionando energía para el nitrógeno, fósforo, azufre y microorganismos fijadores de nitrógeno. En términos físicos, mejora la estructura del suelo, favoreciendo la agricultura, la aireación y la retención de agua, al mismo tiempo que reduce la compactación, la erosión y mejora la capacidad de amortiguación (SAGARPA, 2012).

- **Nitrógeno (N) total**

El nitrógeno constituye un elemento esencial para el funcionamiento de los ecosistemas, cuya fuente principal es la atmósfera. No obstante, este gas solo puede ser aprovechado por las plantas a través de la fijación biológica llevada a cabo por determinados microorganismos especializados. En el suelo, la mayor proporción del nitrógeno se encuentra en formas orgánicas naturales, que son transformadas en compuestos disponibles para las plantas mediante procesos de mineralización. Las reservas terrestres de este nutriente están conformadas principalmente por materiales orgánicos de rápida descomposición, lo que facilita

su incorporación al ciclo edáfico y asegura su participación activa en la dinámica de nutrientes (Bravo, 2023).

SAGARPA (2012), manifiesta que la atmósfera es la principal fuente de nitrógeno (N), siendo este el gas más abundante en ella. El nitrógeno atmosférico se vuelve utilizable para las plantas a través del proceso de fijación biológica llevado a cabo por ciertos microorganismos. En el suelo, las mayores concentraciones de nitrógeno se encuentran en forma de compuestos orgánicos, los cuales se hacen disponibles para las plantas mediante el proceso de mineralización. Las reservas de nitrógeno en los suelos incluyen materia orgánica de descomposición rápida, compuestos húmicos que se mineralizan lentamente, y una pequeña proporción en forma inorgánica como amoniaco (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-).

- **Fósforo (P) disponible**

El fósforo en los suelos es relativamente estable, ya que no forma combinaciones inorgánicas volátiles o separables. Su alta estabilidad se debe a su baja solubilidad, lo que puede limitar su disponibilidad para las plantas, incluso cuando ocurre una mineralización constante de compuestos orgánicos en el suelo. Este comportamiento condiciona su liberación y uso eficiente en los ecosistemas (León et al., 2020).

SAGARPA (2012) y Castillo et al. (2023) subrayan que el fósforo (P) constituye un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas; sin embargo, su disponibilidad en el suelo es generalmente limitada. Este elemento se encuentra en forma de fosfatos orgánicos e inorgánicos, cuya accesibilidad depende tanto de la solubilidad como del tipo de suelo. En suelos con mayor contenido de materia orgánica suele incrementarse la fracción de fósforo disponible, mientras que en ambientes ácidos este tiende a fijarse en compuestos insolubles, lo que dificulta su absorción por las raíces. La escasa solubilidad del fósforo y el hecho de que las plantas lo asimilen principalmente en forma de fosfatos derivados del ácido fosfórico representan un desafío significativo para su aprovechamiento eficiente en los sistemas agrícolas.

- **Sodio (Na) intercambiable**

El sodio incide directamente en la calidad del suelo, en concentraciones moderadas participa en procesos metabólicos vegetales, pero su exceso provoca sodicidad, degradando la estructura del suelo al dispersar arcillas y reducir su permeabilidad. Esto eleva el pH (>8,5) y genera toxicidad para las plantas, limitando la absorción de nutrientes como potasio (K^+) y calcio (Ca^{2+}). Su manejo requiere enmiendas ya sea el yeso o azufre y lixiviación controlada, evaluándose mediante indicadores como la Relación de Adsorción de Sodio (RAS

>13) y conductividad eléctrica (CE <4 dS/m). Su equilibrio adecuado es clave para mantener la fertilidad y productividad del suelo.

Para SAGARPA (2012), menciona que, aunque no está demostrado que el sodio sea un nutriente esencial, en ciertos casos puede reemplazar al potasio. Muchas especies vegetales poseen mecanismos que limitan la absorción y el transporte de sodio hacia las hojas, evitando así síntomas de toxicidad, ya que este elemento tiende a acumularse en los tallos y las raíces.

- **Calcio (Ca) intercambiable**

Según SAGARPA (2012), el calcio es uno de los cationes intercambiables identificados como influentes en los cambios relacionados con la degradación del suelo, particularmente debido a los efectos negativos de la intrusión de agua salada. Este elemento es un componente abundante, especialmente en los suelos de regiones semiáridas, donde desempeña un papel clave en la química del suelo y su capacidad para sostener la productividad.

- **Magnesio (Mg) intercambiable**

El magnesio es un nutriente esencial, especialmente beneficioso para diversos cultivos, ya que forma parte de la molécula de clorofila y está directamente involucrado en el proceso de fotosíntesis. Sin embargo, en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), la disponibilidad de magnesio suele ser limitada, lo que puede afectar su aprovechamiento por las plantas (SAGARPA, 2012).

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Según la FAO (2001), la capacidad de intercambio catiónico es un indicador químico de gran relevancia, y muchos expertos lo consideran equivalente a la fertilidad del suelo. El mecanismo de intercambio catiónico ocurre entre los fragmentos más pequeños del suelo, como el humus y la arcilla mineral, que, en cierta medida, se disuelven en el agua del suelo formando complejos arcilla-humina. El CIC se define como la capacidad del suelo para almacenar y liberar nutrientes cargados positivamente, conocidos como cationes, que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario [INTI], 2001).

2.1.6. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS)

SAGARPA llevó a cabo en 2012 una investigación como parte de la Línea de Base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, cuyo objetivo fue generar datos para orientar la implementación del programa y evaluar sus efectos en el futuro. Como parte fundamental de este estudio, se realizó una evaluación inicial del estado del suelo

agrícola a través del SUSS, un sistema diseñado para medir la calidad del suelo mediante indicadores físicos y químicos. Para estimar el SUSS, se recopilaron muestras de aproximadamente 4 000 parcelas de cultivo agrícola en México, las cuales fueron sometidas a análisis fisicoquímicos. Con la información obtenida de estos análisis se creó un subíndice que permite evaluar la calidad del suelo.

2.1.7. Degradación del suelo

El proceso mediante el cual la calidad del suelo se deteriora, afectando su capacidad para sustentar la vida vegetal y otros usos productivos. Esto puede ser causado por diversas prácticas humanas y factores naturales, como la deforestación, la sobreexplotación agrícola, la contaminación, la erosión, la compactación, la salinización, y la pérdida de nutrientes o materia orgánica. La degradación resulta en la disminución de la fertilidad del suelo, la reducción de su capacidad de retención de agua y aire, y un impacto negativo en la biodiversidad y los ecosistemas (Rivera, 2023).

2.1.8. Deterioro de la estructura edáfica

La estructura del suelo hace referencia a la organización espacial, la forma y la distribución de las partículas minerales como arena, limo y arcilla, así como a la porosidad y al grado de agregación presentes en el perfil edáfico. Su clasificación se establece principalmente en función del nivel de estructuración, el tamaño y la morfología de los agregados. Diversos estudios señalan que el deterioro de la estructura del suelo se encuentra estrechamente vinculado con la pérdida de su calidad, lo que se traduce en una disminución de la capacidad de infiltración, una menor retención de agua, reducción del contenido de materia orgánica y limitaciones en la aireación. Estos procesos, en conjunto, repercuten de manera directa en el crecimiento y desarrollo radicular de las plantas (Rivera, 2023).

2.1.9. Pérdida de nutrientes en el suelo

Los suelos constituyen la principal reserva de macro y micronutrientes indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas, los cuales provienen fundamentalmente de los minerales, el agua y la materia orgánica. Elementos como el carbono, el oxígeno y el nitrógeno tienen su origen en el agua y en la atmósfera, mientras que nutrientes minerales tales como magnesio, calcio, sodio, potasio y fósforo derivan de la meteorización de rocas y minerales. En el caso del nitrógeno edáfico, este proviene mayoritariamente de la descomposición de la materia orgánica. Respecto a los micronutrientes, entre los que destacan el molibdeno, el zinc y el hierro, su presencia suele ser limitada e incluso ausente en determinados suelos; sin embargo, cumplen un rol esencial para el óptimo desarrollo de las

plantas y, en particular, para el mantenimiento de la productividad agrícola (Hazelton y Murphy, 2007).

2.1.10. Sistemas de usos de la Tierra

Son las diferentes formas en que la tierra se gestiona y se utiliza para satisfacer las necesidades humanas y naturales. Estos sistemas incluyen una variedad de actividades como la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la urbanización, la conservación de ecosistemas, y la minería, entre otras. Cada tipo de uso de la tierra tiene un impacto específico sobre el medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad. La clasificación de los usos de la tierra se realiza según el propósito de la actividad (Morel y Acosta, 2022).

2.1.10.1. Sistema forestal

El sistema forestal se define como un ecosistema dominado por árboles y vegetación característica del bosque, en el cual interactúan de manera dinámica diversos factores bióticos y abióticos, entre ellos el suelo, el agua, el clima y la fauna. Estos sistemas pueden presentarse en estado natural o bajo esquemas de manejo, y desempeñan múltiples funciones ecológicas esenciales, tales como la producción de oxígeno, la conservación y protección del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y la provisión de hábitats que sostienen la biodiversidad faunística (Rengifo et al., 2019).

2.1.10.2. Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad de manejo agroforestal que integra de manera planificada la producción de árboles, forrajes y ganado en una misma unidad de terreno, con el propósito de promover la sostenibilidad y optimizar el uso de los recursos disponibles. Este tipo de sistema combina especies arbóreas o arbustivas con praderas destinadas al pastoreo, generando múltiples beneficios, entre los que destacan la provisión de sombra y barreras contra el viento, la mejora de la calidad del suelo, la diversificación de productos y la contribución a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones de carbono (Rivera, 2023).

2.1.10.3. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales se definen como una estrategia de manejo del suelo en la que se combinan especies vegetales perennes con cultivos agrícolas y, en algunos casos, con la producción animal, con el propósito de diversificar y optimizar la productividad bajo un enfoque de sostenibilidad. Entre sus principales objetivos se encuentran la diversificación de la producción, la reducción de la presión sobre la agricultura migratoria, el incremento del contenido de materia orgánica en el suelo, la incorporación y fijación biológica del nitrógeno atmosférico, la mejora en los procesos de reciclaje de nutrientes, la

regulación del microclima y el aumento sostenible de la productividad del sistema en su conjunto (Rivera, 2023).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacional

Cruz-Roblero et al. (2024) llevaron a cabo un estudio sobre la calidad del suelo en tres municipios de la depresión central de Chiapas, México, con el propósito de evaluar su estado y su potencial para un uso agrícola sostenible. Para ello, aplicaron la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 como base de referencia en los análisis y clasificaron los suelos siguiendo el sistema internacional World Reference Base (WRB), versión 2014. Además, emplearon el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) como herramienta principal para determinar la calidad del suelo. En total, se recolectaron y analizaron 144 muestras distribuidas en 21 perfiles de suelo. Los resultados revelaron que la mayoría de los perfiles, específicamente 17, presentan una calidad deficiente, lo que indica un estado de degradación o limitaciones importantes para un uso agrícola eficaz. Solo dos perfiles fueron clasificados como de calidad sensible, uno mostró una calidad aceptable y únicamente uno destacó por tener buena calidad. En términos de fertilidad, únicamente dos grupos de suelo —los Vertisoles y los Phaeozems— demostraron poseer características favorables, lo que implica una mayor capacidad para sostener la producción agrícola de forma sostenible en esta región. Estos hallazgos evidencian la necesidad de implementar prácticas de manejo adecuadas para mejorar o mantener la calidad del suelo, especialmente en aquellas áreas donde las condiciones actuales podrían comprometer la productividad agrícola y el equilibrio ecológico a largo plazo.

Reyes-Chávez et al. (2024) realizaron un estudio orientado a evaluar la calidad del suelo en áreas con y sin pastoreo, tomando en cuenta propiedades físicas y químicas del suelo, así como el conocimiento tradicional de los ganaderos locales. Para ello, recolectaron muestras de suelos en sitios donde se practica el pastoreo y en zonas que han sido preservadas sin la presencia de ganado. En total, se analizaron 14 variables fisicoquímicas, además de recopilar información cualitativa mediante entrevistas con los ganaderos, quienes identificaron tres clases de tierra: Barro, Charanda y Tierra Café. El estudio incorporó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar diferencias significativas entre tipos de suelo y usos, así como un análisis de componentes principales (ACP) para identificar las variables más representativas. Posteriormente, se aplicó un análisis de agrupamiento con base en similitudes entre los sitios muestreados. También se utilizó el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) como herramienta para evaluar la calidad del suelo. Los resultados revelaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en variables clave como el calcio, magnesio, fósforo, materia orgánica, densidad

aparente y la capacidad de intercambio catiónico. A partir del análisis multivariado, los suelos fueron clasificados en tres niveles de calidad: marginal, sensible y aceptable. Dentro de estas categorías, la Tierra Café destacó como el tipo de suelo con mejor calidad, siendo además el más utilizado de forma continua para la actividad ganadera, lo que sugiere un potencial de uso sostenible bajo manejo adecuado.

Castillo et al. (2023) llevaron a cabo un estudio en el estado de Campeche con el objetivo de evaluar cómo los distintos agroecosistemas influyen en la macrofauna del suelo y en sus propiedades físico-químicas. La investigación comparó diversos sistemas de uso de la tierra, encontrando diferencias significativas en la calidad del suelo según el tipo de manejo agrícola. Entre los agroecosistemas analizados, el Pastizal de Palizada destacó por presentar las condiciones edáficas más favorables. Este sitio registró un pH cercano a la neutralidad (7,29), un contenido moderado de fósforo (1,31 mg kg^{-1}), alta materia orgánica (5,05%) y un buen nivel de nitrógeno total (0,31%), lo que indica una estructura del suelo sana y una mayor capacidad para sostener la vida edáfica. En cambio, los suelos de los cultivos intensivos ubicados en Hopelchén reflejaron un deterioro de la calidad edáfica. Estos suelos presentaron un pH moderadamente ácido (6,44), una concentración excesiva de fósforo (33,42 mg kg^{-1}), una reducción en el contenido de materia orgánica (2,59%) y un nivel de nitrógeno total ligeramente más bajo (0,23%). Estos resultados sugieren que los sistemas agrícolas intensivos pueden afectar negativamente tanto la fertilidad del suelo como la diversidad biológica que este alberga. El estudio resalta la importancia de considerar prácticas de manejo sostenible en los agroecosistemas para preservar la calidad del suelo, mantener su funcionalidad ecológica y asegurar su capacidad productiva a largo plazo.

Contreras et al. (2023) llevaron a cabo una investigación centrada en la evaluación del Índice de Calidad del Suelo (ICS) en diversos sistemas agropecuarios del Caribe colombiano, con el propósito de proponer estrategias que favorezcan la conservación y rehabilitación de los suelos en esa región. El estudio comparó cuatro tipos de uso de la tierra: sistemas forestales comerciales, praderas utilizadas para ganadería tradicional, sistemas agroforestales con cacao y sistemas silvopastoriles. Para ello, se analizaron variables físicas, químicas y biológicas del suelo. Los hallazgos mostraron que los sistemas silvopastoriles presentaron ventajas importantes, como una mayor acumulación de materia orgánica y un incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), con mejoras de entre el 25,0 % y el 29,0 % respecto a los suelos en sistemas forestales y de pastizales ganaderos. Además, se observó que la diversidad biológica del suelo aumentó significativamente en los sistemas que incluían especies arbóreas. En cuanto al ICS, el sistema agroforestal con cacao obtuvo el valor

más alto (0,77), seguido por los sistemas silvopastoriles (0,66), lo cual refleja una mejor calidad del suelo en estos usos. También se registró un aumento superior al 19,0 % en la captura de carbono en los sistemas silvopastoriles, lo que resalta su potencial en términos de sostenibilidad ambiental. En conclusión, el estudio demuestra que la integración de árboles en los sistemas productivos no solo mejora la calidad edáfica, sino que también contribuye a mitigar el cambio climático mediante una mayor captura de carbono.

Toledo et al. (2018) realizaron un estudio en la provincia de Misiones, Argentina, con el objetivo de identificar indicadores biológicos de la calidad del suelo y desarrollar índices funcionales capaces de detectar alteraciones provocadas por el uso forestal. Su investigación se centró en suelos rojos previamente desmontados y luego reforestados con especies de *Pinus* durante un periodo de 20 años. Para ello, evaluaron parámetros como el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), la materia orgánica total (MO), la materia orgánica particulada (MOP) y el nitrógeno total (Nt), junto con índices funcionales vinculados al funcionamiento del suelo. Los resultados revelaron correlaciones positivas y significativas entre estos indicadores en todas las profundidades analizadas, lo que confirma su utilidad para evaluar cambios en la calidad del suelo. Sin embargo, también se evidenció que el uso forestal tuvo efectos negativos en los suelos originalmente vírgenes. En la capa superficial (0-0,10 m), se observó una reducción del 37,0 % en la MO, 41,0 % en la MOP, 52,0 % en el Nt y 70,0 % en el NPM. Asimismo, los índices funcionales, como la relación MOP/respiración del suelo (RES) y NPM/RES, mostraron alteraciones en el funcionamiento del sistema edáfico, reflejando un deterioro en su calidad. En conclusión, el estudio destaca que las actividades de desmonte y forestación con *Pinus* pueden causar desequilibrios importantes en el suelo, afectando tanto su fertilidad como su capacidad para mantener procesos biológicos esenciales, lo que subraya la necesidad de prácticas de manejo sostenibles.

2.2.2. Nacional

Gonzales (2025) llevó a cabo una evaluación detallada de la calidad del suelo en la Isla Soto, ubicada en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado. El estudio se centró en la determinación del número de calicatas y muestras necesarias para analizar distintos indicadores físicos y químicos del suelo, utilizando como herramienta principal el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS). Los perfiles modales encontrados en las unidades de suelo de la isla mostraron entre dos y cinco horizontes bien definidos, con un material parental compuesto por cantos rodados. Las características físicas incluyen permeabilidad superficial, escorrentía ligera, profundidad de la napa freática entre 0,46 m y 1,30 m, drenaje excesivo y una pendiente del 6,0 %, en una fisiografía de terraza plana

inundable. El microrrelieve es plano, sin pedregosidad, y se observó presencia de raíces en al menos una de las calicatas. Los suelos presentan texturas Franco Arenosa, Franca y Franca Limosa, consistencia suelta, estructura granular y colores que varían entre marrón, marrón rojizo, grisáceo y marrón amarillento oscuro. La densidad aparente fue adecuada, con infiltración de moderadamente rápida a muy rápida. En cuanto a propiedades químicas, los suelos van de moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos, con bajos niveles de materia orgánica, nitrógeno, potasio y capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo de muy bajo a normal, calcio de medio a alto y magnesio de medio a bajo. Finalmente, se concluyó que la calidad del suelo varía entre Marginal, Sensible y Aceptable, según el tipo de unidad analizada.

Fernández (2024) llevó a cabo un estudio en el distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento de San Martín, con el objetivo de analizar las propiedades fisicoquímicas, la diversidad de macrofauna del suelo y la relación entre las características físicas, químicas y biológicas en tres sistemas de uso del suelo: agroforestal, excocal y bosque primario. Para ello, se aplicaron herramientas de estadística descriptiva para validar los datos obtenidos. En cuanto a las propiedades físicas, el suelo del caserío Cajatambo presentó textura franco arcillosa, siendo el bosque primario el que mostró mejores valores de densidad aparente (1,45 g/cm³) y resistencia a la penetración (1,64 kg/cm²). En las propiedades químicas, también el bosque primario sobresalió con mayores valores de pH (5,97), nitrógeno (0,07 %), materia orgánica (1,25 %) y capacidad de intercambio catiónico (7,17 Cmol(+)/kg). Por otro lado, los niveles más altos de fósforo (24,68 ppm) y potasio disponible (76,32 kg K_2O/ha) se encontraron en el sistema agroforestal. En cuanto a la macrofauna, se identificaron 15 órdenes, predominando *Isóptera* y *Haplotaxida* en el sistema agroforestal, con 382 y 250 individuos/m² respectivamente. Sin embargo, la mayor diversidad, según el índice de Shannon-Wiener (0,91), se registró en el bosque primario. Se identificaron correlaciones positivas medias entre variables biológicas y físicas, como la densidad aparente en el sistema excocal (0,51) y la resistencia a la penetración en el agroforestal (0,49). Además, el potasio mostró una correlación media con la macrofauna en el bosque primario (0,51). En general, se concluye que existen diferencias significativas entre los sistemas analizados.

Vega (2024) desarrolló una investigación en un bosque premontano de Tingo María, Perú, con el propósito de evaluar cómo los rasgos funcionales de especies arbóreas influyen en la fijación de carbono y en la calidad del suelo. El estudio fue de tipo no experimental, descriptivo y transversal, utilizando un diseño completamente al azar, análisis de componentes principales y correlación de Pearson. Se analizaron rasgos funcionales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de copa (DC), altura total (HT)

y densidad de madera (DM), así como variables relacionadas con biomasa aérea (AGBest), biomasa arbórea total (AGB), carbono almacenado en la biomasa (CBt), carbono orgánico del suelo (COS) e índice de calidad del suelo (ICS). Los datos fueron recolectados en una parcela permanente de medición (PPM 1) de 10 000 m², dividida en 25 subparcelas. Los resultados evidenciaron alta variabilidad en los rasgos funcionales, destacando la densidad de madera (DM) como el rasgo de mayor contribución al carbono almacenado (CBt), con un 89,55 %. La biomasa arbórea (AGB) fue de 195,91 t/ha y el carbono almacenado (CBt) alcanzó 97,95 t/ha. En cuanto al carbono orgánico del suelo (COS), este osciló entre 18,47 y 64,86 t/ha, con un promedio de 40,70 t/ha. El índice de calidad del suelo fue clasificado como "Marginal". Se identificaron correlaciones significativas entre el DAP, AB y HT con la calidad del suelo y el carbono, lo que demuestra la influencia de los rasgos arbóreos sobre la funcionalidad edáfica y ambiental del ecosistema.

Guisado (2024) llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar la calidad del suelo en sistemas agroforestales conformados por *Coffea arabica* e *Inga macrophylla*, considerando diferentes gradientes altitudinales. Se analizaron indicadores fisicoquímicos del suelo y se aplicó el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) para determinar su calidad. En cada sistema agroforestal se establecieron 10 puntos de muestreo, recolectando un total de 60 muestras, distribuidas en dos profundidades (0–10 cm y 10–40 cm) por cada una de las tres gradientes altitudinales. Para comparar los indicadores fisicoquímicos entre altitudes, se utilizó un análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Duncan; para comparar entre profundidades, se aplicó una prueba t. La calidad del suelo fue evaluada mediante el SUSS en cada gradiente y se contrastaron hipótesis de correlación para analizar su relación con la altitud. Los resultados revelaron que la mayoría de los indicadores fisicoquímicos mostraron mejores valores en altitudes y profundidades menores, salvo el pH, fósforo (P), magnesio (Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), que presentaron valores más bajos. La calidad del suelo, según el SUSS, disminuyó con la profundidad y la altitud: la gradiente altitudinal 1 fue clasificada como de calidad marginal, mientras que las gradientes 2 y 3 presentaron calidad pobre. Finalmente, se concluyó que no existe una relación estadísticamente significativa entre el SUSS y las gradientes altitudinales, lo que sugiere que otros factores podrían estar influyendo en la variabilidad de la calidad del suelo en estos sistemas agroforestales.

Espinoza (2024) llevó a cabo una evaluación de la calidad del suelo en plantaciones forestales coetáneas ubicadas en los departamentos de San Martín y Huánuco, Perú. El estudio se centró en cuatro especies arbóreas de cuatro años de edad: *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Eucalyptus torreliana* (eucalipto tropical), *Colubrina glandulosa*

(shaina) y *Cedrelinga cateniformis* (tornillo). Para cada especie se seleccionaron dos parcelas distribuidas entre ambos departamentos, donde se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0–10 cm y 10–40 cm). Estas muestras fueron analizadas para determinar propiedades fisicoquímicas y calcular el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS). Los resultados mostraron que, en la capa superficial del suelo (0–10 cm), los suelos bajo estas especies presentaron mejores promedios en indicadores como densidad aparente, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, sodio y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Sin embargo, solo la materia orgánica, el nitrógeno y el sodio presentaron diferencias estadísticamente significativas. Según el SUSS, los suelos bajo *C. spruceanum* y *E. torreliana* fueron clasificados como marginales, mientras que los suelos bajo *C. glandulosa* y *C. cateniformis* fueron considerados de calidad pobre. Además, se encontró una correlación entre el SUSS y variables como pH, conductividad eléctrica, fósforo, magnesio, sodio y CIC, en ambas profundidades analizadas. En conclusión, aunque se observaron ciertas variaciones entre especies, la corta edad de las plantaciones no permite establecer aún una influencia clara de las especies forestales sobre la calidad del suelo medida mediante el SUSS.

Verastegui (2024) realizó un estudio en una isla situada en el sector Ventenjebe, a 10 km de la ciudad de Tocache, en el departamento de San Martín, con el objetivo de representar cartográficamente la distribución espacial de los indicadores fisicoquímicos que inciden en la calidad del suelo. Se evaluaron propiedades físicas y químicas del suelo, así como su calidad mediante el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS). Para el análisis estadístico se aplicaron pruebas no paramétricas de varianza de una sola vía. Además, se generó una cartografía que muestra la variación espacial de la calidad del suelo. Las muestras se tomaron de cuatro calicatas (C_1, C_2, C_3 y C_4), las cuales presentaron distintas texturas: franco, franco, franco limosa y franco arcillo-limosa, respectivamente. La densidad aparente más alta se observó en C_2 (1,65 g/cm³), la mayor temperatura en C_4 (30,60 °C), y la resistencia a la penetración más elevada en C_3 (1,90 kg/cm²). En cuanto a las propiedades químicas, C1 mostró el mayor contenido de materia orgánica (0,95 %), un pH moderadamente alcalino en todas las calicatas, bajo contenido de nitrógeno, fósforo de medio a alto, potasio bajo, y una CIC que varía entre muy baja y baja. El calcio varió de bajo a medio y el magnesio se mantuvo en niveles bajos. Según el SUSS, C_1 fue clasificada con calidad de suelo Aceptable, mientras que C_2, C_3 y C_4 fueron consideradas como de calidad Sensible. En términos cartográficos, el área total presentó un 89,57 % de suelo aceptable y un 10,14 % de suelo sensible.

Bravo (2023) llevó a cabo un estudio en el centro poblado de Pumahuasi, sector Mercedes, con el objetivo de evaluar la calidad del suelo en áreas cultivadas con

Theobroma cacao (cacao) de diferentes edades. El análisis se enfocó en determinar indicadores físicos (textura, densidad aparente y temperatura), químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y capacidad de intercambio catiónico – CIC), y en aplicar el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) para calificar la calidad del suelo. Además, se elaboró una representación cartográfica de la distribución espacial de dicha calidad en una superficie total de 7,95 hectáreas. Las muestras de suelo fueron tomadas y analizadas para identificar variaciones fisicoquímicas entre las parcelas. En cuanto a las propiedades físicas, se identificaron texturas variadas, como franco arcillo limoso, arenoso, franco y franco arcilloso. La densidad aparente se encontró dentro de rangos ideales, y la temperatura fue adecuada para el desarrollo de las plantas de *T. cacao*. En las propiedades químicas, el pH varió de moderadamente ácido a moderadamente alcalino, mientras que los niveles de materia orgánica y nitrógeno fueron bajos. El fósforo presentó valores entre bajos y moderados, y tanto el potasio como la CIC mostraron niveles bajos. De acuerdo con el SUSS, la calidad del suelo varió entre marginal, sensible y buena. La cartografía generada evidenció una distribución espacial heterogénea de la calidad del suelo, clasificándolo en categorías que van desde pobre hasta bueno, reflejando así las diferencias según la edad del cultivo de cacao y las condiciones edáficas del área evaluada.

Oré et al. (2022) realizaron un estudio en el distrito de Cora Cora, provincia de Leoncio Prado, con el objetivo de evaluar la calidad del suelo en tres sistemas de uso: agroforestal, cultivo de coca y bosque secundario. Para ello, analizaron indicadores físicos y químicos del suelo y aplicaron el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) como herramienta de evaluación. Además, representaron cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo en un área de 3,61 hectáreas. Los resultados mostraron que, en cuanto a las propiedades físicas, el sistema de coca presentó una textura franco arcillo limosa, mientras que los sistemas agroforestal y de bosque secundario mostraron textura franco arcillosa. En todos los casos, la densidad aparente se mantuvo dentro de rangos considerados ideales, y la temperatura del suelo fue adecuada para el desarrollo normal de los cultivos. Respecto a las propiedades químicas, se observaron niveles de pH que variaron de fuertemente ácido a neutro. Además, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el potasio y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se encontraron en niveles bajos en los tres sistemas evaluados. La calidad del suelo, según el SUSS, fue clasificada como “sensible” en el sistema agroforestal, mientras que tanto el cultivo de coca como el bosque secundario fueron considerados de calidad “pobre”. La cartografía generada reflejó una distribución espacial en la que predominó la calidad pobre del

suelo en todos los sistemas de uso, evidenciando la necesidad de estrategias de manejo y recuperación de suelos.

Encarnación (2022) llevó a cabo un estudio en la región Ucayali, específicamente en Padre Abad, con el objetivo de evaluar el impacto del manejo convencional del cultivo de *Erythroxylum coca* (Coca) sobre la calidad del suelo. El enfoque metodológico fue descriptivo y comparativo, utilizando un diseño completamente aleatorizado (DCA). Se consideraron cuatro tratamientos: cultivo de E. coca con manejo convencional de 2 años (CO_2) y 15 años (CO_{15}), una zona de ex cultivo de coca con nueve años de regeneración natural (EC_9) y un bosque secundario (BS) como referencia. Para evaluar la calidad del suelo, se analizaron diversos indicadores fisicoquímicos y se aplicó el Índice de Calidad del Suelo (ICS). Los resultados mostraron diferencias significativas en la textura del suelo (arena, arcilla y limo) y en la resistencia a la penetración (Rp), observándose un incremento progresivo de esta última. En cuanto a los indicadores químicos, hubo variaciones en casi todos los elementos, salvo el potasio. Inicialmente, el manejo de coca a corto plazo (CO_2) tuvo efectos positivos sobre parámetros como el pH, la materia orgánica (MO), el nitrógeno (N), el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}) y el potasio (K^{+}), junto con una reducción de aluminio (Al^{3+}), acidez cambiable (%AC) y saturación por aluminio (%SAl). No obstante, con el tiempo, se observaron efectos negativos, incluyendo la pérdida de nutrientes esenciales y un aumento de la acidez. En conclusión, el manejo prolongado del cultivo de coca deteriora significativamente la calidad del suelo, mientras que la regeneración natural muestra una recuperación moderada tras nueve años.

Sarmiento et al. (2022) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de tres tipos de labranza sobre la fertilidad de un suelo clasificado como Entisol, ubicado en una zona árida. La investigación se centró en analizar cómo estos sistemas influyen en las propiedades físicas y químicas del suelo, especialmente en su estructura y fertilidad. Los resultados indicaron que, independientemente del sistema utilizado, todos promovieron la formación de estructuras edáficas tipo bloque angular, con agregados de tamaño fino y un grado de agregación que varió entre débil y moderado, lo cual favorece ciertas características físicas del suelo. En cuanto a los indicadores químicos, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos respecto a la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el pH del suelo. No obstante, se destacó que el sistema de labranza horizontal generó efectos positivos específicos, ya que favoreció un mayor contenido de potasio disponible y una mejora en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), elementos clave para la fertilidad. Además, este sistema contribuyó a reducir la acumulación de sales en el suelo, lo

cual es especialmente relevante en condiciones áridas donde la salinización puede representar una amenaza para la productividad agrícola. En conclusión, aunque la mayoría de los parámetros no mostraron diferencias sustanciales entre tratamientos, la labranza horizontal demostró ventajas agronómicas puntuales al mejorar ciertos indicadores de fertilidad, posicionándose como una alternativa favorable para el manejo sostenible de suelos en zonas áridas.

Panaifo-Gómez et al. (2021) realizaron un estudio comparativo con el fin de evaluar la calidad y el uso sustentable del suelo en dos tipos de sistemas: un sistema agroforestal (SAF) y un terreno abandonado anteriormente utilizado para el cultivo de coca, conocido como ex cocal, caracterizado por su alta acidez. La investigación se desarrolló en el Valle del Monzón, ubicado en la región Huánuco, Perú. Para medir la calidad del suelo, se analizaron diversos indicadores físicos y químicos, incluyendo la textura del suelo, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, calcio y magnesio intercambiables, así como la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La calidad del suelo fue evaluada utilizando el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), el cual clasificó el suelo del SAF como de “calidad buena”, mientras que el del ex cocal fue catalogado como de “calidad marginal”. Estos resultados reflejan una clara diferencia entre ambos sistemas de uso. El suelo del SAF mostró condiciones edáficas significativamente más favorables, lo cual lo convierte en una opción más viable para el desarrollo de actividades agrícolas sostenibles. Por el contrario, el ex cocal, debido a su acidez y bajos niveles de fertilidad, presenta limitaciones importantes para el cultivo. Se concluye que, el estudio evidencia que el manejo agroforestal contribuye de manera positiva a la conservación y mejora de la calidad del suelo, mientras que el abandono de suelos degradados como los ex cocales exige estrategias de recuperación para lograr su uso sustentable.

Blas (2021) llevó a cabo una investigación en la zona de San Alejandro, distrito de Irazola, región Ucayali, caracterizada por el bosque húmedo tropical, con el objetivo de evaluar la calidad del suelo según el tipo de uso que se le da. El estudio fue de tipo aplicado, con nivel descriptivo-comparativo y diseño no experimental. Se consideraron distintos usos del suelo en la zona y se analizaron propiedades físicas, químicas y biológicas. Entre las propiedades físicas evaluadas estuvieron la textura, densidad aparente, velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua, profundidad efectiva, temperatura y humedad. Las propiedades químicas incluyeron materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables. En cuanto a las propiedades biológicas, se midieron la biomasa y respiración

microbiana, además del número de lombrices. La calidad del suelo se determinó mediante el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS). Los resultados indicaron que los suelos bajo siembra directa y pastizales presentaron valores de SUSS de 0,59 y 0,63, clasificándose como de calidad "marginal". En cambio, los suelos bajo purma baja y bosque natural fueron catalogados como de calidad "sensible". Se concluyó que es necesario mejorar la fertilidad del suelo en las zonas de uso intensivo mediante la incorporación de enmiendas orgánicas como humus, compost, vermicompost y bocashi. Asimismo, se recomienda implementar sistemas silvopastoriles con leguminosas y árboles, que proporcionen sombra, mejoren la fertilidad y favorezcan la actividad de organismos beneficiosos como las lombrices.

Aquino et al. (2020) realizaron un estudio en la localidad de Río Espino, en el Valle del Monzón (Huánuco, Perú), con el objetivo de evaluar y comparar la calidad del suelo bajo distintos sistemas de uso mediante la aplicación del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS). Se analizaron tres tipos de cobertura: sistema agroforestal (SAF), bosque secundario y áreas destinadas al cultivo de coca (cocal). Los resultados revelaron diferencias marcadas en la calidad del suelo entre los sistemas evaluados. El sistema agroforestal obtuvo una calificación de "aceptable", presentando el índice de calidad del suelo más alto entre los tres, aunque algunos indicadores individuales mostraron desviaciones ocasionales respecto a los rangos óptimos. El bosque secundario fue clasificado como de calidad "sensible", indicando un estado intermedio en cuanto a fertilidad y conservación. Por otro lado, el cocal mostró una calidad de suelo "marginal", con un índice bajo y múltiples indicadores alejados de los valores ideales, lo que sugiere un fuerte impacto negativo asociado al manejo intensivo de este tipo de cultivo. Este estudio evidencia que los sistemas de uso del suelo influyen significativamente en su calidad. En particular, el enfoque agroforestal se presenta como una alternativa más sostenible, al favorecer condiciones edáficas más equilibradas frente al uso intensivo del suelo en los cultivos de coca. Los hallazgos destacan la utilidad del SUSS como herramienta para orientar prácticas agrícolas que promuevan la conservación y recuperación de suelos en zonas con presión por el uso agrícola intensivo.

Rengifo et al. (2019) llevaron a cabo una investigación para evaluar el estado de degradación del suelo en el sector Nueva Esperanza Supte Chico, ubicado en el distrito de Rupa Rupa. El estudio se centró en tres diferentes sistemas de uso de la tierra: bosque secundario, cultivo de cítricos y cultivo de cacao, con el objetivo de analizar y comparar sus condiciones físicas y químicas del suelo. En cuanto a las propiedades físicas, se observó que la textura del suelo estuvo dominada por la fracción arenosa en los tres sistemas, con densidades que oscilaron entre 1,3 y 1,5 g/cm^3, y resistencia a la penetración que varió de 1,5 a 1,7 kg/cm^2,

indicando cierto grado de compactación del suelo. Desde el punto de vista químico, el pH de los suelos fue moderadamente a fuertemente ácido, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos. En cuanto al contenido de materia orgánica, se encontró un nivel alto en el bosque secundario (5,50 %), medio en el sistema de cacao, y bajo en el sistema de cítricos, lo cual refleja el grado de intervención y manejo en cada sistema. Adicionalmente, se reportaron niveles bajos a medios de nitrógeno, fósforo y potasio intercambiable en todos los sistemas. También se identificaron deficiencias en calcio (Ca) y magnesio (Mg), nutrientes fundamentales para el equilibrio químico del suelo. En conjunto, estos resultados indican un proceso de degradación edáfica más avanzado en los sistemas agrícolas frente al bosque secundario.

Dávila et al. (2009) llevaron a cabo un estudio sobre la calidad del suelo utilizando indicadores edáficos en dos sistemas silvopastoriles ubicados en la finca Judibana, perteneciente a la Universidad de los Andes, en Mérida (Venezuela). El análisis se realizó a dos profundidades del suelo y permitió evaluar el comportamiento de diferentes unidades de paisaje en función de su uso y manejo agropecuario. Los resultados mostraron que, en general, no se encontraron diferencias significativas en los atributos edáficos entre los dos periodos de evaluación. Entre las unidades analizadas, la denominada “napa de desborde 4” (ND4) destacó por presentar el mejor índice de calidad del suelo, tanto en el tratamiento testigo como en la asociación Leucaena-pasto. Por su parte, la unidad “napa de desborde sobre explayamiento” (NDEP) obtuvo los mejores valores de calidad del suelo bajo el sistema Gliricidia-pasto. En contraste, la unidad identificada como “dique colmatado” (DC) registró el índice de calidad más bajo, indicando un mayor grado de degradación o menor potencial productivo. En cuanto al comportamiento general del agroecosistema, los tratamientos que combinan la especie Leucaena con pasto en la ND4 durante 9 años (LPND4-9), y en la NDEP durante 12 años (LPNDEP-12), así como el sistema Gliricidia-pasto en la NDEP durante 9 años (GPNDEP-9), presentaron los mejores resultados, superando incluso al testigo (pasto en ND4 con 12 años de antigüedad). Estos hallazgos evidencian que la implementación adecuada de sistemas silvopastoriles puede mejorar significativamente la calidad del suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

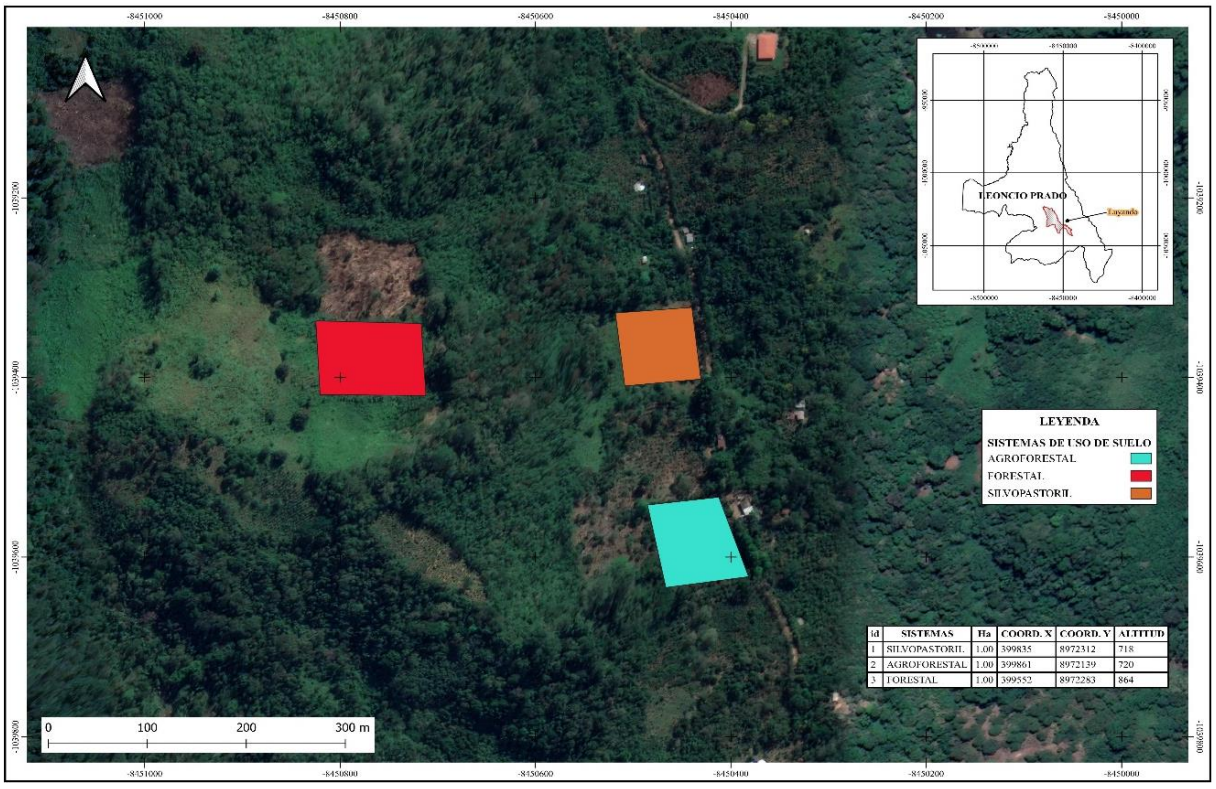
La investigación se desarrolló en tres sistemas de uso de la tierra que se encuentra en la margen izquierda del río Tulumayo, se accede por carretera recorriendo unos 15 km desde la capital del distrito Luyando, exactamente a un kilómetro desde el caserío Río Negro.

3.1.1. Ubicación geográfica

Los sistemas de uso del suelo se encuentran cercanas entre ella es por tal razón que la gradiente altitudinal no es muy variable entre ellos (**Tabla 1** y **Figura 1**).

Tabla 1. Ubicación geográfica de los tres sistemas de usos de la tierra.

Sistema de uso	Código	Ubicación geográfica		Altitud
		Este	Norte	(m s. n. m.)
Forestal	SF	399552	8972283	864
Agroforestal	SA	399861	8972139	720
Silvopastoril	SP	399835	8972312	718



Id	SISTEMAS	Ha	COORD. X	COORD. Y	ALTITUD
1	SILVOPASTORIL	1.00	399835	8972312	718
2	AGROFORESTAL	1.00	399861	8972139	720
3	FORESTAL	1.00	399552	8972283	864

Figura 1. Mapa de ubicación de los sistemas de uso de la tierra.

3.1.2. Ubicación política

Los tres sistemas de uso de la tierra donde se muestrearon los suelos se localizan políticamente es el caserío Río Negro, distrito de Luyando provincia de Leoncio Prado en la región de Huánuco (**Figura 1**).

3.1.3. Características de los sistemas de uso de la tierra

Sistema Forestal (SF). El sistema forestal corresponde a una plantación de *Guazuma crinita* (bolaina) con una edad de tres años. Esta fue establecida en una superficie de una hectárea, utilizando una densidad de siembra de 4 × 4 metros, bajo este arreglo, se distribuyen aproximadamente 625 plantas en todo el terreno. La plantación presenta un manejo orientado a la producción forestal, manteniendo una cobertura arbórea uniforme. Este sistema representa un uso exclusivo del suelo para fines maderables, con escasa intervención de otros cultivos o especies vegetales asociadas en el área evaluada; en este sistema no se utiliza ningún tipo de abono.

Sistema Agroforestal (SA). El sistema agroforestal está conformado por una asociación entre *Theobroma cacao* (cacao) y *Cedrela odorata* (cedro), con una antigüedad de ocho años. En una hectárea de superficie, el *T. cacao* fue establecido con una densidad de siembra de 3 × 3 metros, alcanzando un total de 1 111 plantas. Por su parte, el cedro fue sembrado a una densidad de 6 × 6 metros, representando 278 individuos. Este sistema refleja un uso integrado de la tierra, combinando producción agrícola y forestal, lo cual promueve una cobertura mixta y mayor diversidad estructural del suelo. En este sistema no se usó ningún tipo de abono, sin embargo, con los estudios realizados se uso posteriormente abonos como el NPK 20 por 20.

Sistema Silvopastoril (SP). El sistema silvopastoril se compone principalmente de cobertura herbácea, dominada por pastos (Brachiaria) utilizados para el pastoreo de ganado, ocupando una extensión de una hectárea. En el terreno también se observan algunas especies arbóreas dispersas, aunque en menor proporción. Este sistema representa un uso ganadero con un total de 6 cabezas de ganado vacuno con una rotación temporal cada 3 meses, donde el manejo está orientado a la alimentación animal, y la cobertura vegetal favorece la retención del suelo. La baja densidad arbórea y el pisoteo constante influyen en las propiedades físicas y químicas del suelo.

3.1.4. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas registradas durante el año 2024 en la estación meteorológica de Tingo María reflejan un clima tropical húmedo, típico de la selva alta peruana, con temperaturas cálidas durante todo el año, elevada humedad relativa y un régimen de

precipitaciones bien marcado. En términos de temperatura, se observa una relativa estabilidad anual. La temperatura media osciló entre 25,5 °C en julio y 27,4 °C en octubre, con un promedio anual cercano a los 26,4 °C. La temperatura máxima alcanzó valores más elevados entre septiembre y octubre (≈ 33,3 °C), coincidiendo con la disminución de las lluvias y una mayor radiación solar. Por su parte, las mínimas fueron más bajas en los meses de junio a agosto (≈ 20,2 °C), reflejando la influencia de los descensos térmicos estacionales asociados a la entrada de masas de aire más frías conocidas localmente como *friajes* (SENAMHI, 2025).

La humedad relativa se mantuvo elevada a lo largo del año, con valores entre 71,9 % (septiembre) y 85,7 % (noviembre), lo que indica una atmósfera permanentemente húmeda favorable para la actividad biológica del suelo y el crecimiento vegetal. Los descensos temporales de humedad (agosto–septiembre) coinciden con la estación de menor precipitación, periodo en el que la evapotranspiración puede intensificarse.

La precipitación total anual fue de 3279,3 mm, confirmando que se trata de una zona muy húmeda; sin embargo, existe una marcada variación estacional. El trimestre más lluvioso corresponde a enero–marzo, con acumulados superiores a 400 mm mensuales, destacando enero con 618,4 mm. Por el contrario, entre junio y septiembre se presenta la estación menos lluviosa, con mínimos en agosto (74,1 mm) y septiembre (42,4 mm), lo que define un periodo seco relativo, aunque no completamente árido. La precipitación vuelve a incrementarse a partir de octubre y alcanza un segundo pico en diciembre (543,9 mm), marcando la transición hacia el nuevo ciclo húmedo (SENAMHI, 2025).

3.1.5. Zona de vida

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida propuesta por Holdridge (2000) y con base en el análisis de los diagramas bioclimáticos, el área donde se desarrolló el presente estudio se ubica dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo Premontano Tropical (bh-PT). Esta clasificación se caracteriza por presentar condiciones climáticas cálidas y húmedas, con temperaturas medias anuales moderadas y una precipitación significativa a lo largo del año. Estas condiciones permiten una densa cobertura vegetal y favorecen una alta diversidad biológica. La presencia de este tipo de ecosistema influye directamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, razón por la cual su análisis resulta fundamental para evaluar la calidad del suelo en los diferentes sistemas de uso estudiados.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

La distribución de los puntos de muestreo y la recolección de muestras de suelo para el análisis de propiedades físicas y químicas se realizaron empleando diversos

materiales y se recolectaron las muestras en el mes de mayo donde las lluvias eran muy escasas. Se utilizó una pala recta para la extracción del suelo y bolsas de polietileno debidamente rotuladas para el almacenamiento de las muestras. Una wincha de 50 metros e hilo de rafia sirvieron para delimitar las parcelas y ubicar los puntos de muestreo. También se usaron cilindros de acero para colectar muestras y así determinar la densidad aparente, etiquetas para el registro de datos, un machete para el despeje del área de muestreo y un martillo para facilitar la inserción de cilindros o penetración en suelos compactos.

Para el análisis físico y químico del suelo en laboratorio, se emplearon los siguientes materiales: tamices con aberturas de 5 mm, 2 mm y 0,25 mm; hidrómetro o densímetro de Bouyoucos para análisis granulométrico; cilindros graduados de 1000 cm^3; batidora eléctrica; émbolo de agitación (varilla de cobre); pipetas y espátulas; taras de aluminio para el secado de muestras; embudos de vidrio y papel filtro Whatman Nº 42; fiolas o balones aforados de 100 y 300 cm^3; tubos de ensayo; pipetas volumétricas de 2, 20 y 25 cm^3; vasos precipitados de 50 ml; buretas de 25 ml; tubos Klett; picetas; probetas de 200 y 1000 ml; desecador de cristal, y matraces.

Los equipos empleados en campo incluyeron un GPS marca GARMIN para la georreferenciación de las parcelas, un pH-metro portátil para medir la acidez del suelo in situ, un conductímetro para evaluar la conductividad eléctrica, un cronómetro para controlar tiempos de prueba y una cámara digital para el registro fotográfico del área de estudio y condiciones del muestreo.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Propiedades físicas y químicas del suelo de un sistema agroforestal, un sistema forestal y un sistema silvopastoril

Para evaluar la calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra, se aplicó el procedimiento de muestreo de suelos propuesto por Moscatelli et al. (2005), del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA). La determinación de las propiedades fisicoquímicas de las muestras se llevó a cabo siguiendo las metodologías recomendadas por el USDA (1999) y Bazán (1996).

Cada sistema de uso estuvo representado por una parcela de una hectárea (1 ha), dentro de la cual se establecieron diez puntos de muestreo distribuidos uniformemente mediante un diseño en forma de “Z” (**Figura 2**). En cada uno de estos puntos se extrajeron dos submuestras a distintas profundidades: 0–10 cm se obtuvo 10 muestras y 10–40 cm también se obtuvo 10 muestras. Esto permitió obtener un total de 20 muestras por sistema de uso, alcanzando un total general de 60 muestras para los tres sistemas.

Antes de la extracción del suelo, se procedió a remover cuidadosamente todo material orgánico superficial, como hojarasca, ramas, restos vegetales y otros residuos que pudieran alterar los resultados de los análisis. Asimismo, se evitó la toma de muestras en áreas no representativas, como zonas cercanas a drenajes, sectores anegados, entradas de potreros, construcciones o áreas con acumulación de residuos orgánicos o materiales extraños.

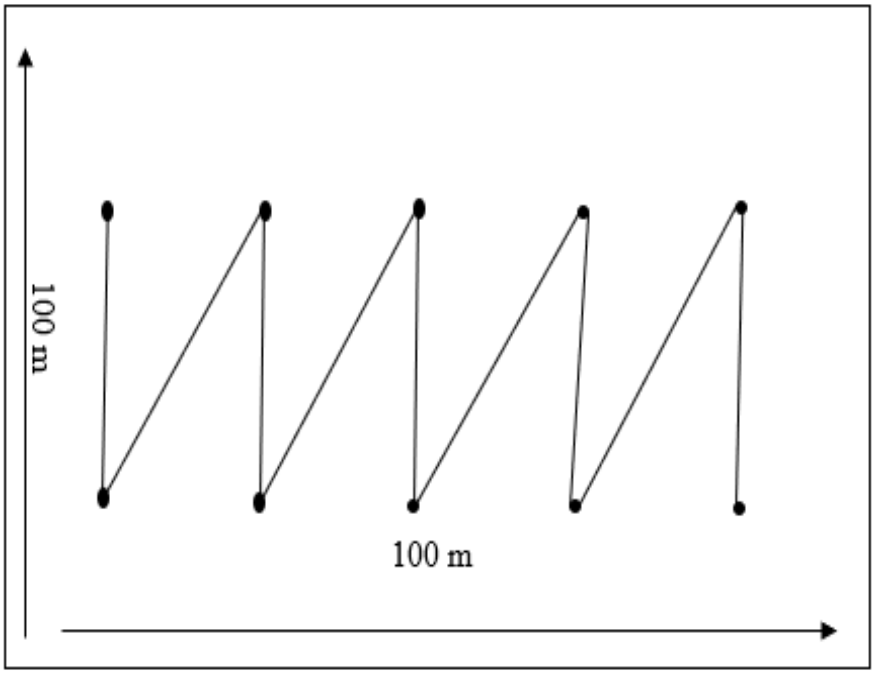


Figura 2. Diseño de la parcela para evaluación de calidad de suelo en los tres sistemas.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su análisis respectivo. Los indicadores fisicoquímicos evaluados en las muestras de suelo fueron analizados mediante técnicas reconocidas y estandarizadas, con base en la metodología de SAGARPA (2012). La densidad aparente (Dap) fue determinada utilizando el método de la probeta, mientras que el pH del suelo se midió mediante una suspensión suelo-agua en proporción 2:1. La conductividad eléctrica (CE) se evaluó a partir del extracto de saturación, lo que permitió estimar la salinidad del suelo. Para cuantificar la materia orgánica (MO), se aplicó el método de oxidación húmeda de Walkley y Black; el nitrógeno total (N) fue determinado mediante digestión húmeda seguida de destilación según el método Kjeldahl, que es ampliamente utilizado en análisis agronómicos. En cuanto al fósforo (P) disponible, se utilizó el método de Olsen para suelos con pH neutro a alcalino y el método de Bray en suelos ácidos,

dependiendo del nivel de acidez identificado. Los cationes intercambiables, como calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na), se extrajeron con acetato de amonio a pH 7,0 y se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica o flamometría, técnicas precisas para determinar concentraciones elementales. Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), un indicador clave de la fertilidad del suelo, fue calculada utilizando el método AS-12 con acetato de amonio. Estos procedimientos permitieron una caracterización integral de la calidad del suelo en los sistemas de uso analizados.

Los análisis estadísticos de las propiedades físicas y químicas del suelo se llevaron a cabo utilizando el software estadístico SPSS versión 27. En primera instancia, se calcularon los estadísticos descriptivos para cada variable evaluada, incluyendo los valores mínimos, máximos, promedios y el coeficiente de variación, con el fin de caracterizar la dispersión y comportamiento de los datos. Para evaluar las diferencias entre las propiedades fisicoquímicas del suelo en función de la profundidad, se aplicó una prueba t para muestras relacionadas, ya que las muestras fueron recolectadas a dos niveles: 0–10 cm y 10–40 cm, tratándose así de datos emparejados.

Por otro lado, para comparar los valores de los indicadores fisicoquímicos entre los tres sistemas de uso de la tierra, se utilizó el análisis de varianza (ANVA). En los casos donde se detectó significancia estadística ($p < 0,05$), se procedió con una prueba post hoc de comparación múltiple mediante el método de Duncan, lo cual permitió identificar con mayor precisión qué sistemas presentaban diferencias significativas entre sí. Los resultados de estas comparaciones se organizaron y presentaron en figura, donde se empleó una codificación para los sistemas evaluados, señalando de forma clara la existencia o ausencia de diferencias estadísticas significativas entre ellos.

3.2.2.2. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra, mediante la aplicación del Subíndice Sustentable del Suelo (SUSS)

Con el propósito de evaluar la condición del suelo a distintas profundidades (0–10 cm, 10–40 cm y el perfil completo de 0–40 cm) en tres sistemas de uso de la tierra, se aplicó el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), desarrollado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en el año 2012.

El SUSS se basó en la estandarización de estos indicadores como la densidad aparente, pH, materia orgánica, contenido de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico, para luego calcularse un valor promedio que representó el estado general del suelo en función de su sustentabilidad. Este enfoque facilitó la comparación entre diferentes sistemas

y profundidades, al proporcionar un valor numérico que resumió el grado de conservación o deterioro del recurso edáfico. La expresión utilizada fue:

$$SUSS=\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n}$$

Donde:

P : promedio del valor de los parámetros normalizados,

i : cada indicador o parámetro analizado, y

n : número total de parámetros analizados.

$$P=\frac{\sum_{j=1}^{m} Pn_j}{m}$$

Donde:

Rn : valor resultante del parámetro normalizado,

m : número de muestras de suelo analizadas, y

j : cada muestra de suelo.

Tabla 2. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual de los suelos.

Parámetro del suelo	Unidad	Rango/valor deseable (d)	Valor de corte (c)
Densidad aparente	g/cm^3	Dap < 1,1	1,47
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8,5
Conductividad eléctrica	dS/m	CE < 1	4,1
Materia orgánica	%	MO > 5	0,5
Nitrógeno (N) total	%	N > 0,2	0,05
Fósforo disponible	mg/kg	P > 5,5	0
Calcio intercambiable	$Cmol^{(+)}/kg$	Ca > 5	0
Magnesio intercambiable	$Cmol^{(+)}/kg$	Mg > 0,3	0
Sodio intercambiable	$Cmol^{(+)}/kg$	Na < 1	1,5
CIC	$Cmol^{(+)}/kg$	CIC > 15	5

Fuente: SAGARPA (2012).

La ecuación de cálculo de la normalización de los indicadores es:

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j}\right)$$

Donde:

Rn : resultado normalizado,

Vr : valor del parámetro fisicoquímico (indicador),

d : valor deseable en el indicador (**Tabla 3**),

c : valor de corte en el indicador (**Tabla 3**), y

j : cada muestra de suelo.

El análisis del índice se llevó a cabo siguiendo la categorización establecida en la **Tabla 4.**

Tabla 3. Rangos interpretativos del SUSS.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno (0,95 < SUSS ≤ 1,0)	Las condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable (0,80 < SUSS ≤ 0,95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0,65 < SUSS ≤ 0,78)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 < SUSS ≤ 0,65)	Los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.
Pobre (0 < SUSS ≤ 0,45)	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012).

3.2.2.3. Comparación de la calidad del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra

Teniendo en consideración la cantidad de repeticiones de las muestras de suelos obtenidas por cada sistema de uso de la tierra se determinó el valor del Subíndice Sustentable del Suelo para cada punto de muestreo (**Tabla 28** del Anexo) con fines de encontrar la variabilidad de los datos; con dichos datos se realizó los supuestos de normalidad para cada profundidad de muestreo para luego someter a un análisis de la varianza con su respectivo comparación de medias mediante la prueba Duncan con fines de poder comparar cada sistema de uso del suelo, dicha comparación se realizó entre los 0 a 10 cm, 10 a 40 cm así como la profundidad total entre 0 a 40 cm para lo cual se utilizó promedios de los resultados obtenidos para cada parámetro del suelo.

3.2.2.4. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, descriptiva y cuantitativa, dado que se hizo uso de los conceptos sobre la calidad de los suelos, luego se realizó una descripción para cada uno de los parámetros de los suelos obtenidos en cada sistema de uso de la tierra, además, se hizo uso de la estadística.

3.2.2.5. Diseño de la investigación

Se trata de un diseño no experimental, ya que no hubo manipulación deliberada de la variable. El estudio consistió en una descripción de las características físicas y químicas de los suelos.

3.2.2.6. Variables de estudio

- Sistemas de usos de la tierra.
- Propiedades físicas y químicas del suelo, y la calidad del suelo.

3.2.2.7. Población y muestra

La población estuvo compuesta por tres sistemas agroforestales, cada uno con una extensión de 1,0 ha.

- Sistema forestal (1,0 ha).
- Sistema agroforestal (1,0 ha).
- Sistema silvopastoril (1,0 ha).

Dado que se trata de una población pequeña, no fue necesario definir un tamaño de muestra, por lo que se trabajó con la totalidad de las unidades de investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas y químicas del suelo de un sistema agroforestal, un sistema forestal y un sistema silvopastoril

4.1.1. Propiedades físicas

4.1.1.1. Humedad del suelo

En el **sistema forestal**, los valores son relativamente estables y homogéneos; en la parte más cercana a la superficie la humedad media alcanza 37,13 % con un coeficiente de variación de 12,36 %, mientras que a mayor profundidad que abarcó los 10 a 40 cm disminuye a 31,13 % con un coeficiente de variación del 11,90 % (**Tabla 4** y **Figura 3**). Esto refleja una buena retención de agua y una distribución uniforme, posiblemente asociada a la cobertura arbórea y la acumulación de materia orgánica.

En el sistema agroforestal, se observa que, entre los 0 a 10 cm la humedad media es de 36,99 %, muy similar a la de los demás sistemas, pero con un rango extremadamente amplio (19,02–123,67 %) y un coeficiente de variación muy alto reflejada en un 82,98 % (**Tabla 4** y **Figura 3**), lo que evidencia gran heterogeneidad en la retención de agua superficial, probablemente por diferencias en la cobertura dentro de la parcela que retienen humedad, el manejo del *T. cacao* y *C. odorata*, y la variabilidad microambiental. En cambio, entre los 10 a 40 cm de profundidad, la humedad se estabiliza en 23,85 % con un coeficiente de variación bajo por ser solo 11,70 %, mostrando mayor uniformidad en el subsuelo.

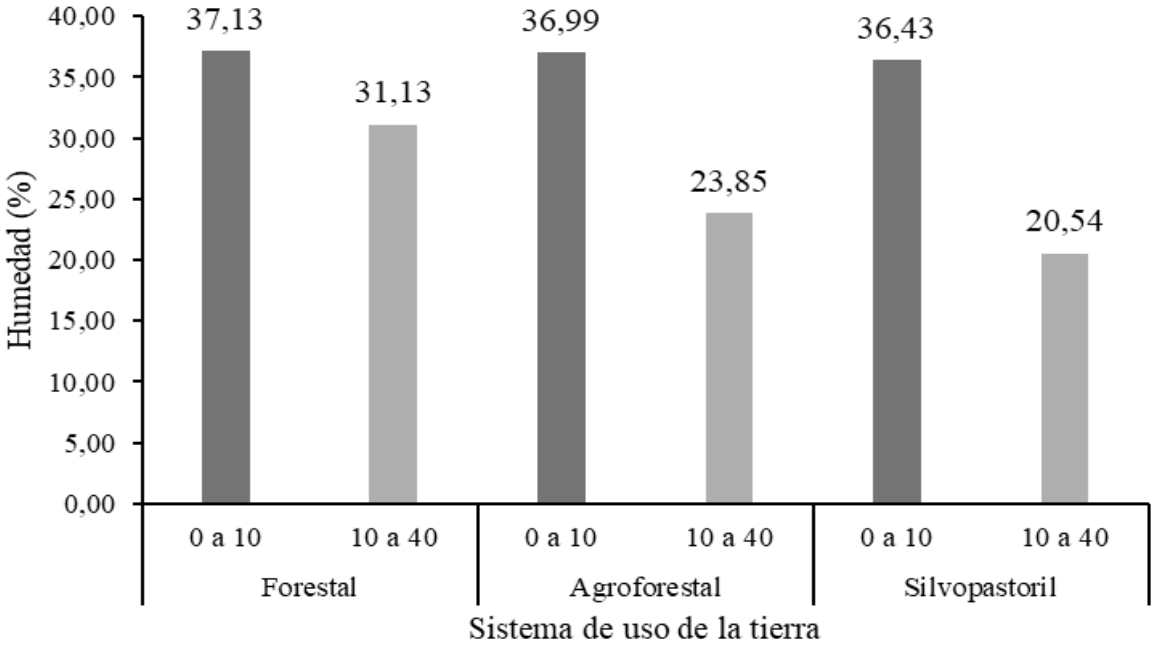
Tabla 4. Humedad del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	26,14	42,93	37,13	4,59	12,36
	10 a 40	10	24,27	36,84	31,13	3,71	11,90
Agroforestal	0 a 10	10	19,02	123,67	36,99	30,69	82,98
	10 a 40	10	17,77	28,61	23,85	2,79	11,70
Silvopastoril	0 a 10	10	25,56	48,68	36,43	7,79	21,38
	10 a 40	10	15,20	25,87	20,54	3,60	17,52

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

En el sistema silvopastoril, la humedad superficial entre los 0 a 10 cm presenta un valor medio de 36,43 %, cercano al sistema forestal, pero con mayor variabilidad debido a que el coeficiente de variación fue 21,38 %, atribuible a la compactación

por el pastoreo y la cobertura discontinua. Entre los 10 a 40 cm de profundidad, el valor promedio desciende a 20,54 %, el más bajo entre los sistemas, con un coeficiente de variación igual a 17,52 % (**Tabla 4** y **Figura 3**), reflejando limitaciones en la capacidad de retención hídrica en el subsuelo.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 3. Humedad del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

4.1.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo en el sistema forestal registró valores bajos y relativamente homogéneos, siendo entre 0 a 10 cm se obtuvo una media de 1,14 g/cm³ con un coeficiente de variación de 6,84 %, mientras que en 10 a 40 cm aumentó ligeramente a 1,20 g/cm³ con un coeficiente de variación de 6,37 % (**Tabla 5** y **Figura 4**), comportamiento en cierta medida contrario al estudio de plantaciones por parte de Espinoza (2024) porque el mayor valor de la densidad aparente se registró para la parte más superficial del suelo. Además, estos resultados reflejan un suelo con buena porosidad y menor compactación, favorecido por la cobertura continua de *G. crinita*, la acumulación de hojarasca y la escasa perturbación antrópica, comportamientos similares de la densidad aparente en un sistema de uso de bosque fue registrado por Fernández (2024) al compararlas con sistemas de uso agroforestal y excocal, ratificando que la perturbación por las personas incrementa los valores de la densidad aparente del suelo.

En el sistema agroforestal, los valores son estadísticamente más altos entre los sistemas analizados tanto en la parte más superficial y la parte más profunda, lo que indica mayor compactación, resaltando entre los 0 a 10 cm en promedio 1,34 g/cm³ con un coeficiente de variación de 10,22 %, mientras que entre 10 a 40 cm se eleva hasta una media de 1,52 g/cm³, siendo el máximo entre todos los sistemas evaluados (**Tabla 5** y **Figura 4**); esta condición puede relacionarse con la mayor densidad de siembra de *T. cacao* y *C. odorata*, labores de manejo (deshierbes, pisoteo humano) y menor acumulación de materia orgánica, que reducen la aireación y la capacidad de retención de agua del suelo. Comportamiento distinto lo reporta Guisado (2024) en sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla* ya que los suelos a mayor más superficiales registraron mayor densidad aparente respecto a los de mayor profundidad en los tres pisos altitudinales evaluados, siendo el rango desde 1,13 a 1,15 g/cm³ para la capa de los 0 a 10 cm y desde 1,08 hasta 1,11 g/cm³ al muestrear los suelos entre los 10 a 40 cm.

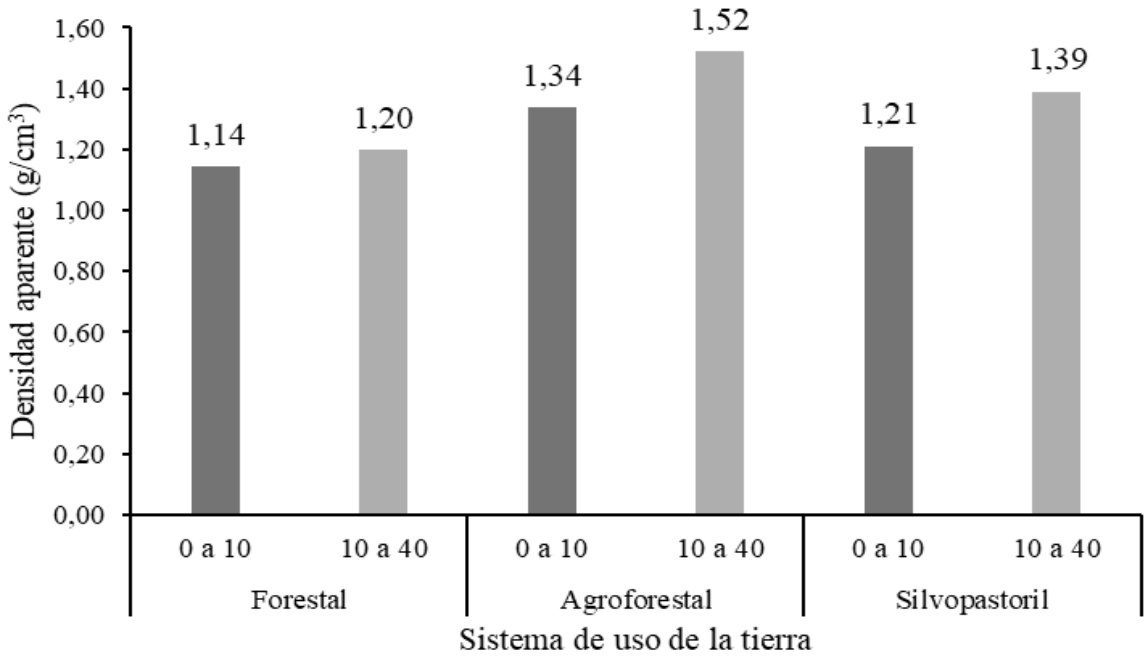
El sistema silvopastoril presenta valores intermedios, siendo observado entre los 0 a 10 cm una media de 1,21 g/cm³, pero con una variabilidad más alta determinada en un coeficiente de variación del 13,90 %, reflejando heterogeneidad de los datos posiblemente atribuido al efecto generado por el pastoreo del ganado vacuno que en algunos puntos se encuentra por un tiempo prolongado retenido por la sombra o en el caso de que descanse y suele maximizar la cantidad de pisoteo en un determinado área del suelo y la distribución de pastos que no es muy homogéneo en toda el área de este SUS. En la profundidad de 10 a 40 cm la densidad aparente asciende a 1,39 g/cm³ con coeficiente de variación de 9,34 % (**Tabla 5** y **Figura 4**), mostrando compactación asociada al recorrido y pisoteo del ganado, lo que restringe el desarrollo radicular en profundidad, se encuentra entre el límite de un suelo ideal y aceptable en base a la densidad aparente (SAGARPA, 2012).

El sistema forestal mantiene la mejor calidad física del suelo al conservar baja densidad aparente, el silvopastoril presenta compactación moderada, pero con alta variabilidad, y el agroforestal evidencia los niveles más críticos de compactación en ambas profundidades de muestreo de los suelos, lo que puede comprometer la sostenibilidad del sistema si no se aplican prácticas de manejo que mejoren la estructura del suelo. Al respecto Gonzales (2025) realizó el estudio en una isla donde encontró variabilidad de la densidad aparente en distintos puntos de muestreo, esto debido a que el manejo de los suelos que fueron sometidos por los agricultores eran diferentes ya que algunos realizaban cultivos anuales y otros cultivos temporales, resaltando la importancia de que las labores agrícolas determinan en cierta medida el valor de la densidad aparente de los suelos.

Tabla 5. Densidad aparente del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	1,04	1,31	1,14	0,08	6,84
	10 a 40	10	1,09	1,39	1,20	0,08	6,37
Agroforestal	0 a 10	10	1,17	1,58	1,34	0,14	10,22
	10 a 40	10	1,32	1,67	1,52	0,12	7,67
Silvopastoril	0 a 10	10	1,04	1,48	1,21	0,17	13,90
	10 a 40	10	1,24	1,56	1,39	0,13	9,34

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 4. Densidad aparente del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

4.1.1.3. Arena

En el sistema forestal, se registró los valores más altos entre los 0 a 10 cm con una media de 44,53 % y una variabilidad moderada (**Tabla 6** y **Figura 5**), lo que sugiere mayor presencia de partículas gruesas en los primeros 10 cm, lo cual es inferior a lo reportado por Vega (2024) al estudiar una parcela de bosque secundario donde reportó la media de 31% con datos más homogéneos; mientras que, en la profundidad de 10 a 40 cm el contenido de arena disminuye significativamente hasta 26,33 %, indicando un perfil con mayor proporción de fracciones finas en el subsuelo, lo cual favorece la retención de agua.

El sistema agroforestal presenta los valores más bajos en ambas profundidades de muestreo, registrando entre los 0 a10 cm el promedio es 30,33 %, mientras que entre 10 a 40 cm desciende a 19,13 % (**Tabla 6** y **Figura 5**), el valor más reducido entre todos los sistemas. Este comportamiento refleja suelos más finos (mayor proporción de limo y arcilla), lo cual puede mejorar la fertilidad y la retención de humedad, pero a la vez incrementar el riesgo de compactación y reducir la aireación. Esto también puede ocurrir debido a que la vegetación y el uso del suelo modifican la textura aparente superficial: raíces, hojarasca y actividad biológica tienden a retener partículas finas, mientras que áreas descubiertas o más erosionadas exponen horizontes arenosos.

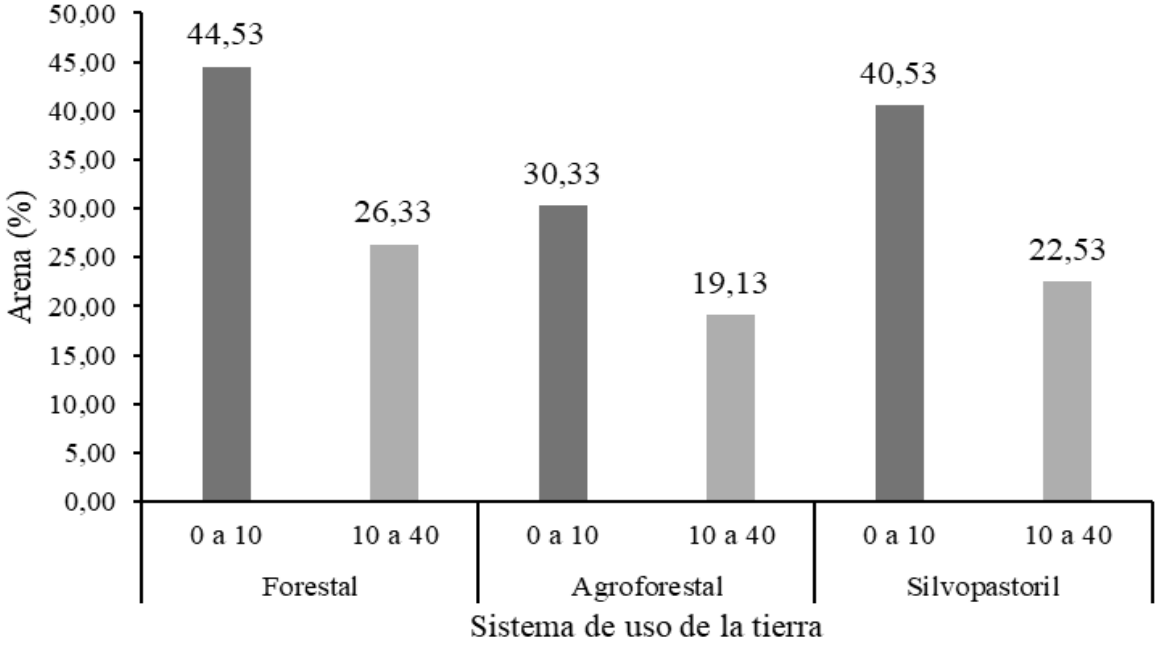
En el sistema silvopastoril, los valores son intermedios, siendo obtenida en la parte más superficial la media de 40,53 %, cercano al del sistema forestal, mientras que en mayor profundidad disminuye a 22,53 % (**Tabla 6** y **Figura 5**). Esto sugiere que la cobertura de pastos y el pisoteo del ganado han modificado la distribución de partículas, con mayor heterogeneidad en el subsuelo. Además, en los primeros 0–10 cm, predominan materiales orgánicos y partículas finas acumuladas por actividad biológica y deposición de hojarasca, mientras que a mayor profundidad (10–40 cm o más), se exponen horizontes más minerales, a menudo más arenosos si hubo lavado de finos (eluviación) o acumulación de arenas del material parental; por ello, el contenido de arena tiende a aumentar con la profundidad, aunque no siempre de forma uniforme.

El sistema forestal concentra más arena en superficie y menos en profundidad, lo que indica un perfil textural diferenciado; el agroforestal muestra los suelos más finos, lo que favorece la retención hídrica, pero puede comprometer la aireación; y el silvopastoril se ubica en una condición intermedia, con cierta heterogeneidad asociada al manejo y al uso ganadero.

Tabla 6. Contenido de arena del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	28,53	60,53	44,53	10,37	23,29
	10 a 40	10	22,53	36,53	26,33	5,61	21,32
Agroforestal	0 a 10	10	22,53	42,53	30,33	6,00	19,77
	10 a 40	10	14,53	22,53	19,13	3,27	17,11
Silvopastoril	0 a 10	10	26,53	48,53	40,53	8,06	19,88
	10 a 40	10	16,53	34,53	22,53	5,16	22,92

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 5. Contenido de arena del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

4.1.1.4. Arcilla

El sistema forestal en el estrato superficial entre los 0 a 10 cm presenta un contenido medio de 16,99 % para la arcilla (**Tabla 7** y **Figura 6**), lo que indica predominio de fracciones más gruesas en superficie, muy inferior a lo encontrado por Vega (2024) al estudiar una parcela de bosque secundario donde reportó la media de 48,12 % con datos muy homogéneos por tener un coeficiente de variación del 4,44 %. Sin embargo, en mayor profundidad desde 10 a 40 cm la proporción de arcilla se incrementa de forma clara hasta una media de 36,19 %, evidenciando un perfil textural más arcilloso en el subsuelo, que favorece la retención de agua y nutrientes.

En el sistema agroforestal, el contenido de arcilla es más elevado en superficie (22,79 %) que en el forestal y silvopastoril, con un rango relativamente amplio (14,39–32,39 %). En la profundidad de 10–40 cm, la arcilla se incrementa notablemente hasta 37,79 %, siendo el valor medio más alto entre todos los sistemas, aunque con una variabilidad considerable porque el coeficiente de variación fue 21,76 % (**Tabla 7** y **Figura 6**). Esto refleja un suelo más fino en general, lo que puede mejorar la fertilidad química, pero también incrementa el riesgo de compactación y drenaje deficiente.

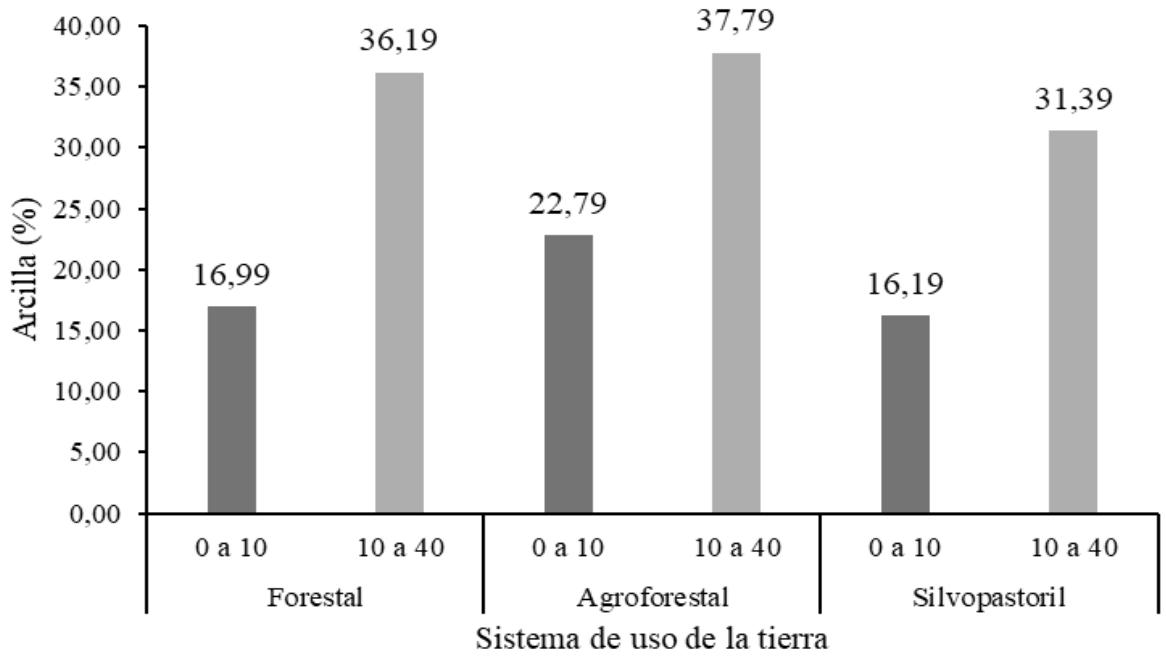
El sistema silvopastoril muestra el menor contenido superficial de arcilla con una media de 6,19 %, similar al sistema forestal, con predominio de texturas más

arenosas en los primeros centímetros. En la profundidad entre los 10 a 40 cm, el contenido aumenta hasta 31,39 % (**Tabla 7** y **Figura 6**), aunque se mantiene por debajo de los valores del forestal y agroforestal, lo que sugiere menor desarrollo de horizontes arcillosos en este sistema.

Tabla 7. Contenido de arcilla del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	8,39	26,39	16,99	4,90	28,86
	10 a 40	10	28,39	38,39	36,19	3,33	9,19
Agroforestal	0 a 10	10	14,39	32,39	22,79	6,10	26,74
	10 a 40	10	28,39	52,39	37,79	8,22	21,76
Silvopastoril	0 a 10	10	10,39	26,39	16,19	5,03	31,06
	10 a 40	10	24,39	38,39	31,39	4,55	14,48

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 6. Contenido de arcilla del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los tres sistemas de uso de la tierra muestran el mismo patrón, siendo bajo el contenido de arcilla en superficie y mayor cuando se muestrea el suelo a más profundidad, con diferencias en magnitud. El agroforestal se caracteriza por los suelos más arcillosos, el forestal ocupa una posición intermedia y el silvopastoril muestra los valores más

bajos, lo que repercute en la capacidad de retención hídrica, la aireación y la susceptibilidad a la compactación.

4.1.1.5. Limo

El contenido de limo en el sistema forestal alcanza un promedio de 38,48 % en la capa superficial y 37,48 % en la subsuperficial que se ha muestreado entre los 10 a 40 cm, siendo los datos de la capa más profunda muy homogéneos entre puntos de muestreo, mientras que en la capa más superficial los datos fueron más heterogéneos (**Tabla 8** y **Figura 7**), esto refleja un contenido estable de limo en ambos estratos, con ligera variabilidad en superficie, lo que indica un suelo de textura balanceada, con buena aireación y capacidad de retención hídrica moderada.

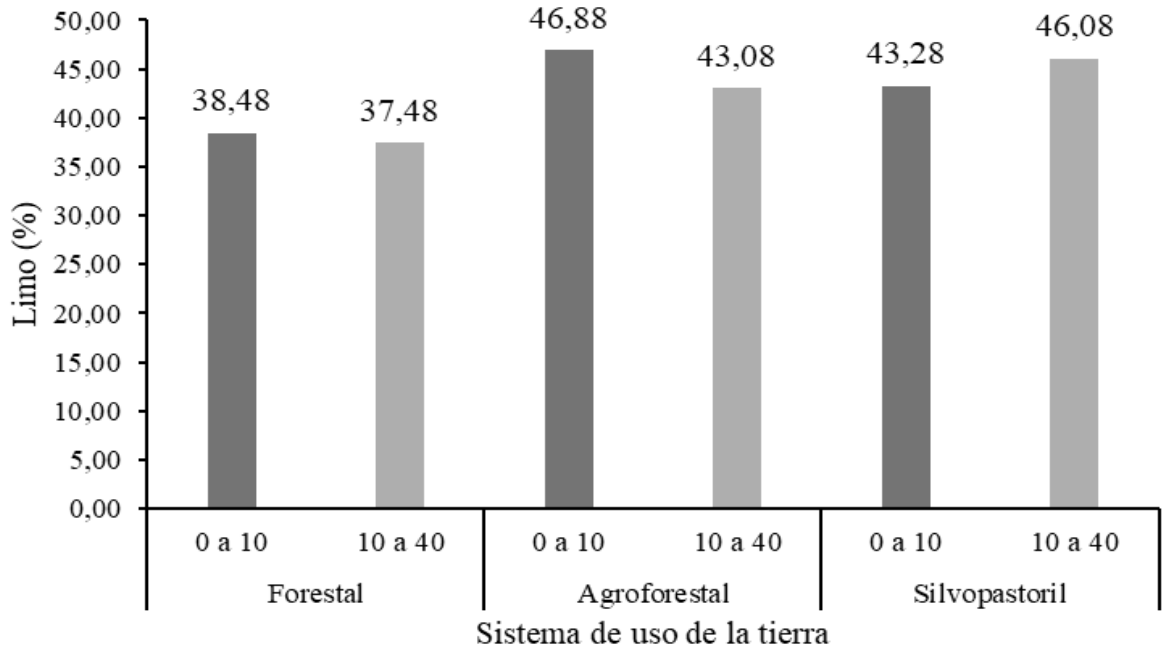
En el sistema agroforestal, el contenido de limo es el más alto en comparación con los otros usos, existiendo entre los 0 a 10 cm en promedio 46,88 %, con baja variabilidad (5,49 %) que se traduce en una homogeneidad en esta fracción. Entre los 10 a 40 cm de profundidad, el valor disminuye ligeramente a 43,08 %, manteniéndose elevado, aunque con mayor dispersión debido a que el coeficiente de variación fue 14,35 % (**Tabla 8** y **Figura 7**). Esto sugiere un suelo más fino, con predominio de partículas intermedias, lo que puede favorecer la retención de agua y nutrientes, pero con riesgo de compactación si se combina con altos contenidos de arcilla.

En el sistema silvopastoril, el limo también muestra valores altos, aunque intermedios respecto al agroforestal. Entre los 0 a 10 cm se registra una media de 43,28 %, mientras que entre los 10 a 40 cm aumenta ligeramente hasta 46,08 % (**Tabla 8** y **Figura 7**). Estos resultados indican suelos con alta proporción de limo, con tendencia a texturas francas, lo que les confiere buena fertilidad, pero también cierta susceptibilidad a la erosión y sellado superficial bajo intensas lluvias.

Tabla 8. Contenido de limo del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	27,08	47,08	38,48	7,24	18,83
	10 a 40	10	29,08	39,08	37,48	3,24	8,64
Agroforestal	0 a 10	10	43,08	49,08	46,88	2,57	5,49
	10 a 40	10	31,08	49,08	43,08	6,18	14,35
Silvopastoril	0 a 10	10	35,08	49,08	43,28	4,76	10,99
	10 a 40	10	41,08	53,08	46,08	3,43	7,45

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 7. Contenido de limo del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema forestal presenta los valores más bajos de limo y un perfil más equilibrado; el agroforestal muestra los mayores contenidos, sobre todo en superficie, lo que lo hace más susceptible a compactación; y el silvopastoril se mantiene en una condición intermedia pero con alto contenido en profundidad.

4.1.1.6. Conductividad eléctrica

Estadísticamente, en el sistema forestal la conductividad eléctrica fue la más alta en ambos estratos analizados, resaltando que, en la más superficial alcanzó una media de 0,53 dS/m, con un rango amplio (0,07–1,17) y elevada variabilidad, luego entre los 10 a 40 cm registró en promedio 0,41 dS/m manteniéndose la alta dispersión (**Tabla 9** y **Figura 8**), muy acorde a lo encontrado por Espinoza (2024) respecto a la heterogeneidad de los datos al estudiar ocho parcelas con plantaciones forestales. Estos valores reflejan mayor acumulación de sales, probablemente asociada a la descomposición de abundante materia orgánica y a la mineralización de nutrientes, sin llegar a niveles de salinidad que perjudiquen el desarrollo vegetal. Resultado inferior lo determinó Vega (2024) en el muestreo de suelos hasta una profundidad de 30 cm de un bosque secundario donde la media fue 0,14 dS/m con un coeficiente de variación del 28,18 %.

En el sistema agroforestal, la conductividad eléctrica presentó valores bajos, mostrando que entre los 0 a 10 cm se reportó un promedio de 0,10 dS/m, con

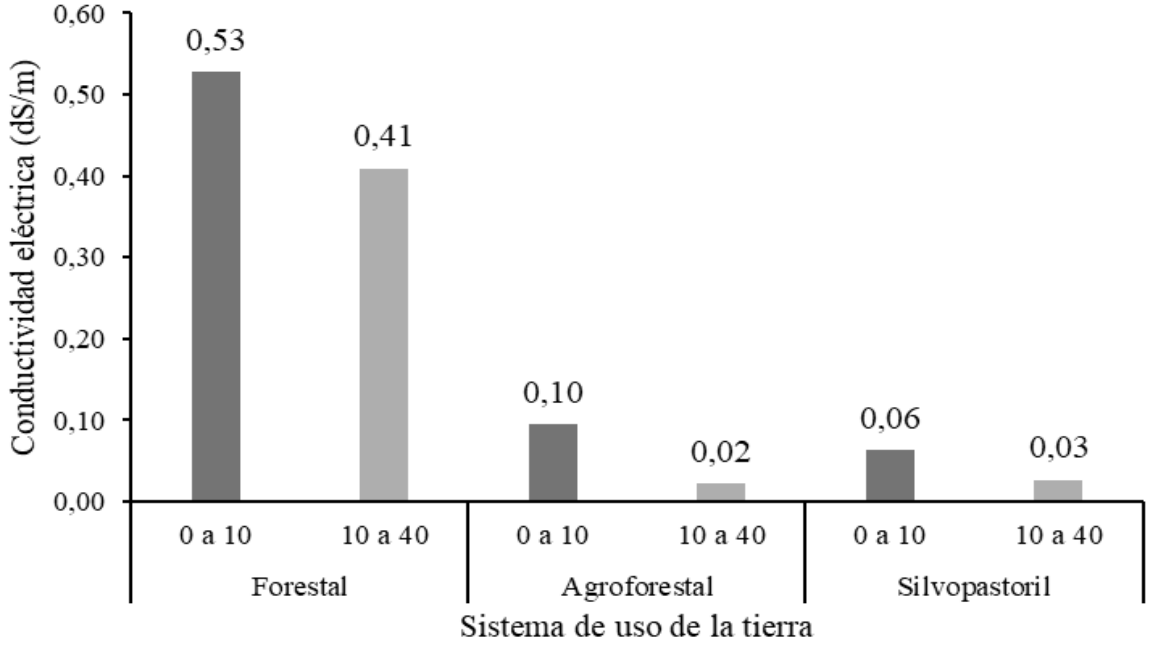
gran variabilidad relativa, comportamiento similar registró Guisado (2024) en suelos de sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla* en tres parcelas evaluadas; además en la profundidad entre los 10 a 40 cm, el valor medio desciende aún más a 0,02 dS/m, con menor dispersión (**Tabla 9** y **Figura 8**). Estos resultados sugieren suelos con baja concentración de sales disponibles, posiblemente por mayor extracción de nutrientes debido a la densidad de plantas de cacao y cedro, así como por el lavado de bases en condiciones de alta precipitación. Además, se muestran alta variabilidad de los datos, posiblemente atribuido a la distribución irregular de sales solubles, materia orgánica y humedad que ocasionan diferencias notables entre puntos de muestreo, ya que las plantas no lograr un aporte uniforme de materia orgánica en la superficie de los suelos, más bien son puntuales los que se encuentran debajo de la planta de *T. cacao* o también de bajo de la copa proyectada por parte de los árboles utilizados como sombra para el cultivo agrícola..

En el sistema silvopastoril se muestran valores intermedios, existiendo entre 0 a 10 en promedio 0,06 dS/m, y para la profundidad de muestreo entre los 10 a 40 cm se mantuvo baja siendo el promedio 0,03 dS/m pero con menor variabilidad (**Tabla 9** y **Figura 8**). La reducción de CE podría asociarse a la compactación por pastoreo, que limita la acumulación de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes fácilmente solubles. A pesar de ser menor el coeficiente de variación, sigue siendo elevado en términos generales, esto puede ser resultado de la actividad biológica intensa, la descomposición desigual de materia orgánica y la heterogeneidad del relieve (microdepresiones, pendientes) producen variaciones locales en humedad y acumulación de iones, más aun se eleva este valor en el caso de que se muestree en puntos donde anteriormente ya se pudo haber aportado más materia orgánica por parte del ganado vacuno al realizar deyecciones que se descompusieron y esto no es uniforme en todo el sistema de uso silvopastoril.

Tabla 9. Nivel de conductividad eléctrica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,07	1,17	0,53	0,46	86,19
	10 a 40	10	0,06	0,87	0,41	0,32	77,10
Agroforestal	0 a 10	10	0,03	0,34	0,10	0,09	95,90
	10 a 40	10	0,01	0,05	0,02	0,01	49,44
Silvopastoril	0 a 10	10	0,03	0,11	0,06	0,03	42,83
	10 a 40	10	0,01	0,05	0,03	0,01	40,12

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 8. Nivel de conductividad eléctrica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema forestal se distingue por mayor contenido de sales solubles y mejor disponibilidad de nutrientes, aunque con alta variabilidad espacial; el agroforestal presenta los valores más bajos, reflejando una condición de menor fertilidad química; y el silvopastoril se ubica en un nivel intermedio, con tendencia a baja CE en profundidad.

4.1.2. Propiedades químicas

4.1.2.1. Nivel de pH

En el sistema forestal, el pH se mantiene en rangos ácidos a moderadamente ácidos, existiendo entre 0 a 10 cm en promedio 5,63 calificado como moderadamente ácido, con valores entre 4,96 y 6,27; en el muestreo desde 10 a 40 cm desciende ligeramente a 5,40 que es clasificado como fuertemente ácido, manteniendo un rango similar y variabilidad baja (**Tabla 10** y **Figura 9**), muy similar a lo reportado por Espinoza (2024) en suelos con plantaciones forestales. Esto sugiere una acidez propia de suelos bajo cobertura forestal, asociada a la descomposición de hojarasca y acumulación de ácidos orgánicos, pero sin llegar a niveles extremos que limiten el desarrollo vegetal, este comportamiento fue ratificado en el estudio de Vega (2024) al muestrear los suelos de una parcela en un bosque secundario donde reportó la media de 4,24 con datos muy homogéneos debido a que su coeficiente de variación fue 4,34 %.

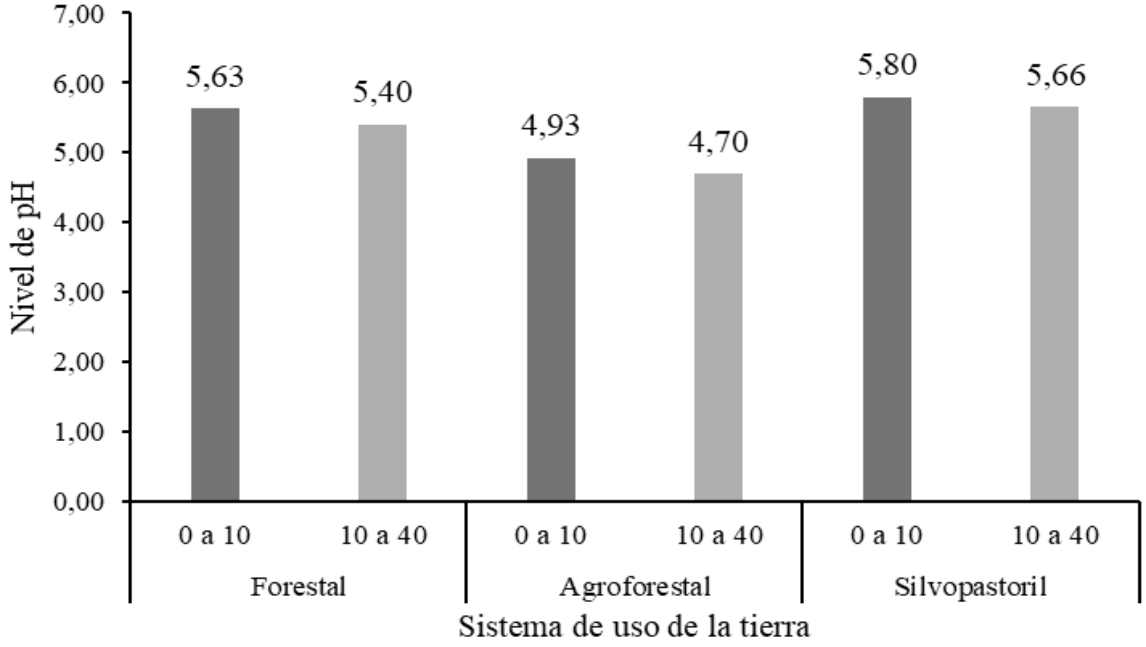
Estadísticamente, el sistema agroforestal presenta los valores de pH más bajos, en el caso del muestreo más superficial alcanzó un promedio de 4,93 que lo clasifican como fuertemente ácido, con mayor variabilidad y un rango que llega hasta valores muy ácidos (mínimo 4,22) o extremadamente ácido; en el caso de mayor profundidad de muestreo, el promedio baja aún más a 4,70 que es fuertemente ácido, aunque con menor dispersión (**Tabla 10** y **Figura 9**); esta acidez marcada podría relacionarse con la extracción de nutrientes por *T. cacao* y *C. odorata*, además de procesos de lixiviación de bases, lo que reduce la disponibilidad de nutrientes esenciales como calcio, magnesio y fósforo como lo reporta SAGARPA (2012), con valores del pH entre 4,0 y 6,5, característicos de regiones con elevada pluviosidad, la solubilidad de elementos como el aluminio y el manganeso puede alcanzar niveles tóxicos para las especies vegetales; resultados superiores lo reporta Fernández (2024) donde la media del pH fue 5,66 para un sistema agroforestal de *T. cacao* con especies forestales como *G. crinita*, *C. spruceanum*, *C. odorata* y *Swietenia macrophylla* (caoba), esta asociación pudo favorecer a que el pH no sea tan bajo.

En el sistema silvopastoril, el pH es más favorable, con valores cercanos a la neutralidad. En la capa más superficial, se registra un promedio de 5,80 o moderadamente ácido, con baja variabilidad, mientras que en el subsuelo se mantiene estable en 5,66 (**Tabla 10** y **Figura 9**) con la misma categoría de clasificación; comportamiento muy parecido encontró Guisado (2024) al evaluar la calidad del suelo en sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla*, notando diferencias ligeras del pH entre las muestras obtenidas de 0 a 10 cm con los obtenidos de la profundidad del suelo entre los 10 a 40 cm. Estos resultados sugieren menor acidificación, probablemente asociada a la influencia del pastoreo, el reciclaje de nutrientes a través de las excretas animales y una menor acumulación de materia orgánica ácida.

Tabla 10. Nivel de pH del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	4,96	6,27	5,63	0,43	7,59
	10 a 40	10	4,86	6,21	5,40	0,40	7,42
Agroforestal	0 a 10	10	4,22	6,19	4,93	0,69	14,01
	10 a 40	10	4,30	5,12	4,70	0,32	6,87
Silvopastoril	0 a 10	10	5,23	6,20	5,80	0,32	5,49
	10 a 40	10	5,10	6,30	5,66	0,35	6,21

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 9. Nivel de pH del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

En el sistema agroforestal se encontró mayor acidez, lo que pudiera estar trayendo limitaciones sobre la fertilidad de estos suelos en el caso de que de manera urgente se realicen acciones de corregir mediante encalado; el forestal mantiene un pH ácido moderado, natural en ecosistemas boscosos tropicales; mientras que el silvopastoril presenta condiciones menos ácidas y más estables, lo que podría ser ventajoso para la disponibilidad de nutrientes y productividad agrícola.

4.1.2.2. Materia orgánica

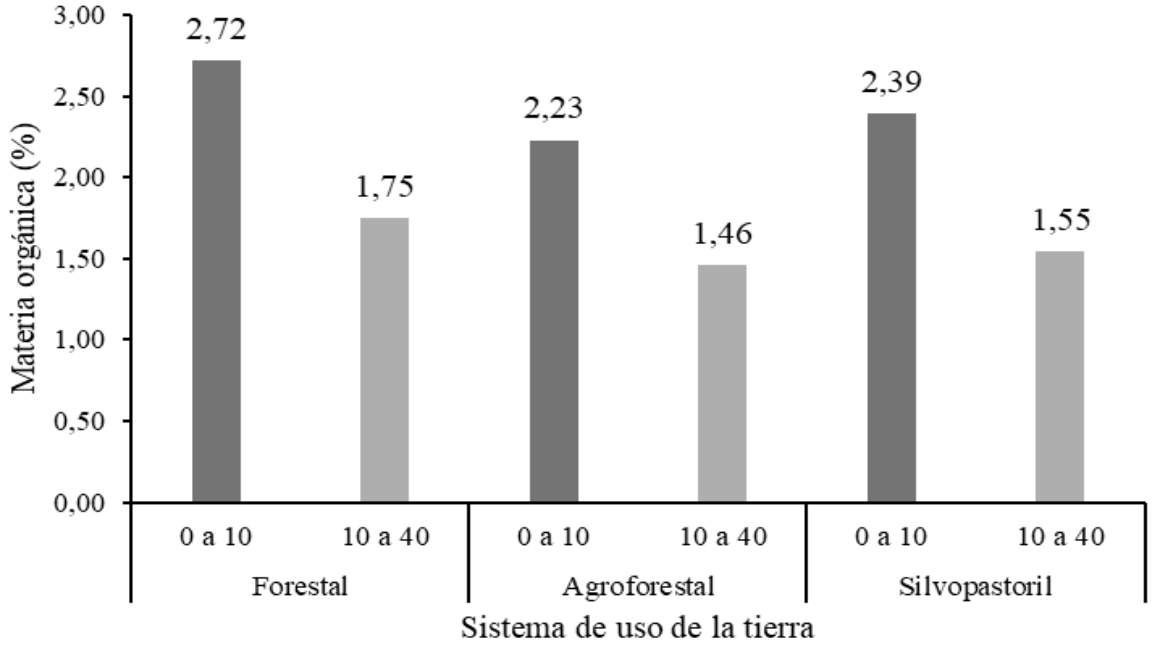
En el sistema forestal, los valores son los más altos de la materia orgánica, existiendo entre los 0 a 10 cm un promedio de 2,72 %, con variación moderada como lo registró Espinoza (2024) en plantaciones coetáneas que presentaron coeficientes de variación similares al presente estudio, mientras que entre los 10 a 40 cm disminuye hasta una media de 1,75 % (**Tabla 11** y **Figura 10**). Esto refleja el aporte constante de hojarasca, raíces y descomposición de biomasa, característico de ecosistemas forestales que favorecen la acumulación de carbono orgánico en la superficie y su progresiva incorporación al subsuelo, siendo respaldada este resultado por Vega (2024) al analizar en los cuadrantes de una parcela permanente de muestreo en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria – Tingo María, y encontrar diferencias estadísticas en el contenido de materia orgánica a pesar de realizar los muestreos en área de 400 m^2, esto refleja la heterogeneidad de los datos debido a

que el aporte de hojarasca en los suelos no es uniforme donde el rango de los promedios fue desde 1,08 % hasta 3,95 %.

Tabla 11. Nivel de materia orgánica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	1,72	3,33	2,72	0,58	21,23
	10 a 40	10	1,16	2,12	1,75	0,32	18,12
Agroforestal	0 a 10	10	1,72	2,76	2,23	0,39	17,72
	10 a 40	10	1,03	1,89	1,46	0,29	19,66
Silvopastoril	0 a 10	10	1,30	3,37	2,39	0,64	26,91
	10 a 40	10	1,02	2,13	1,55	0,39	24,96

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 10. Nivel de materia orgánica del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

En el sistema agroforestal, los niveles de materia orgánica son menores, mostrándose entre 0 a 10 cm la media de 2,23 %, mientras que entre 10 a 40 cm baja a una media de 1,46 %; la variabilidad es relativamente baja (**Tabla 11** y **Figura 10**), indicando cierta homogeneidad en el contenido. Estos valores sugieren un aporte orgánico moderado por la asociación *T. cacao – C. odorata*, aunque la extracción de nutrientes por el cultivo y las

labores de manejo reducen la acumulación de materia orgánica, especialmente en profundidad; resultados inferiores lo reporta Fernández (2024), posiblemente atribuido a las especies forestales asociadas que se encontraban en pleno crecimiento que poca materia orgánica aportaban hacia el suelo por medio de las hojarascas.

El sistema silvopastoril muestra valores intermedios, existiendo en la capa superficial una media de 2,39 %, con alta variabilidad, lo que refleja diferencias en el aporte de residuos de pastos y excretas animales según la intensidad de pastoreo. Entre los 10 a 40 cm, la materia orgánica desciende a 1,55 %, también con alta variabilidad (**Tabla 11** y **Figura 10**), posiblemente debido a la compactación del suelo que limita la incorporación de materia orgánica en el subsuelo.

4.1.2.3. Nitrógeno total

En el sistema forestal, los valores de nitrógeno son los más altos, existiendo entre 0 a 10 cm en promedio 0,14 %, mientras que en el subsuelo de 10 a 40 cm desciende a 0,09 % (**Tabla 12** y **Figura 11**). Este patrón indica una mayor acumulación en superficie, producto de la descomposición de hojarasca y raíces, con una disminución progresiva en profundidad; además, hay variabilidad de los datos, posiblemente debido a la distribución de los árboles, esto también se vio reflejada en el estudio de Vega (2024) al analizar un bosque secundario y en una hectárea de muestreo encontró elevada variabilidad de los resultados (15,98 %) entre los 25 cuadrantes de cada 400 m^2 muestreados.

En el sistema agroforestal, los valores son menores, encontrándose para 0 a 10 cm la media de 0,11 %, reduciéndose a 0,07 % entre 10 a 40 cm (**Tabla 12** y **Figura 11**). La variabilidad es baja, lo que refleja una distribución más homogénea pero con menores aportes de nitrógeno en comparación con el sistema forestal. La extracción de nutrientes por el *T. cacao* y el limitado retorno de residuos orgánicos explicarían esta tendencia, ya que Fernández (2024) en un sistema similar encontró una media de 0,05 %, aunque los resultados fueron más homogéneos por un coeficiente de variabilidad del 8,84 %, el valor inferior de la media pudo estar atribuido a la asociación de mayor número de especies forestales a lo encontrado en la parcela en estudio, debido a que los árboles necesitan más cantidad de años en crecer y se encuentran en constante extracción de nutrientes del suelo.

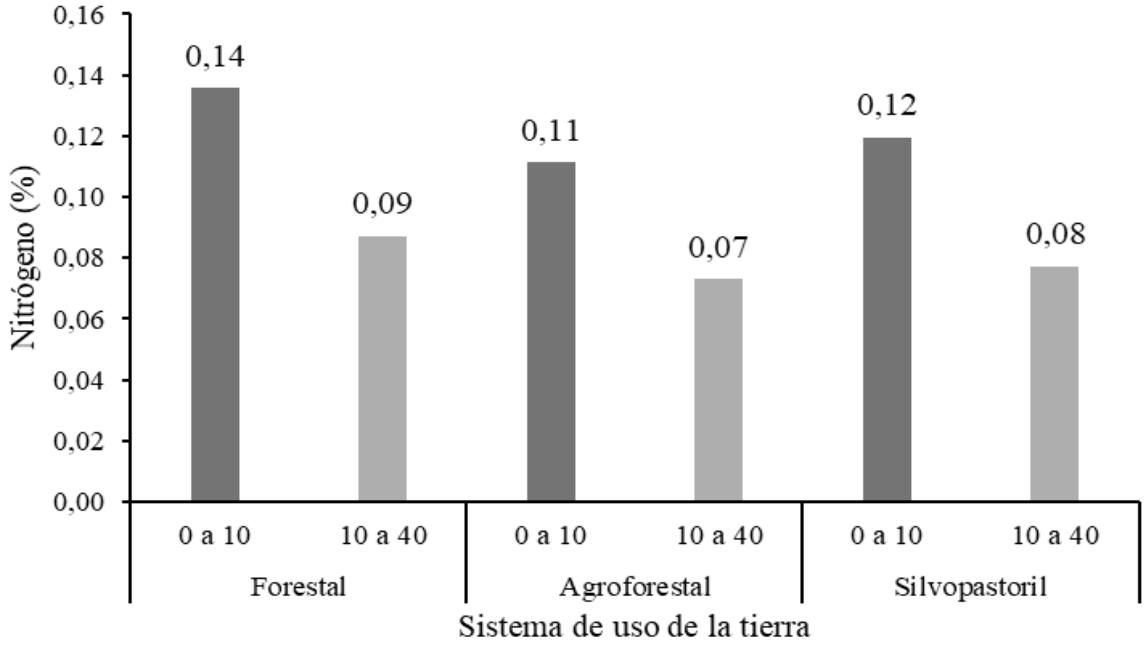
El sistema silvopastoril presenta valores intermedios donde al muestrear desde 0 a 10 cm se encontró una media de 0,12 %, con alta variabilidad, lo que indica diferencias en la deposición de estiércol y en la incorporación de residuos de pastos según el manejo del pastoreo, ya que para Hazelton y Murphy (2007), este elemento proviene mayoritariamente de

la descomposición de la materia orgánica. En el subsuelo comprendida desde 10 hasta 40 cm, el promedio se reduce a 0,08 %, también con alta variabilidad (**Tabla 12** y **Figura 11**).

Tabla 12. Nivel de nitrógeno del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,09	0,17	0,14	0,03	21,23
	10 a 40	10	0,06	0,11	0,09	0,02	18,12
Agroforestal	0 a 10	10	0,09	0,14	0,11	0,02	17,72
	10 a 40	10	0,05	0,09	0,07	0,01	19,66
Silvopastoril	0 a 10	10	0,07	0,17	0,12	0,03	26,91
	10 a 40	10	0,05	0,11	0,08	0,02	24,96

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 11. Nivel de nitrógeno del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema forestal muestra mayor capacidad de acumulación de nitrógeno, lo que lo convierte en el más favorable para la fertilidad del suelo. El silvopastoril ocupa una posición intermedia, aunque con mayor heterogeneidad espacial, mientras que el agroforestal presenta los valores más bajos, lo que podría limitar la disponibilidad de N para el cultivo si no se aplican prácticas de manejo como abonos orgánicos o la incorporación de leguminosas.

4.1.2.4. Fósforo disponible

En el sistema forestal, los valores de fósforo son bajos, existiendo entre los 0 a 10 cm de profundidad una media de 5,48 ppm, disminuyendo a 3,70 ppm entre los 10 a 40 cm (**Tabla 13** y **Figura 12**), resultados muy por debajo a lo que reportó Espinoza (2024) en plantaciones de *C. spruceanum* donde la media fue 7,83 y 5,87 ppm respectivamente para ambas profundidades analizadas. Además, se observa una alta variabilidad, lo que refleja una distribución muy heterogénea del fósforo, probablemente por la lenta descomposición de residuos y la fijación del nutriente en fracciones poco disponibles; promedio entre el rango de ambas profundidades lo reporta Vega (2024) en suelos de bosques secundarios donde la media fue 4,88 ppm pero los datos fueron muy variables debido a que el coeficiente de variación fue 36,02 %.

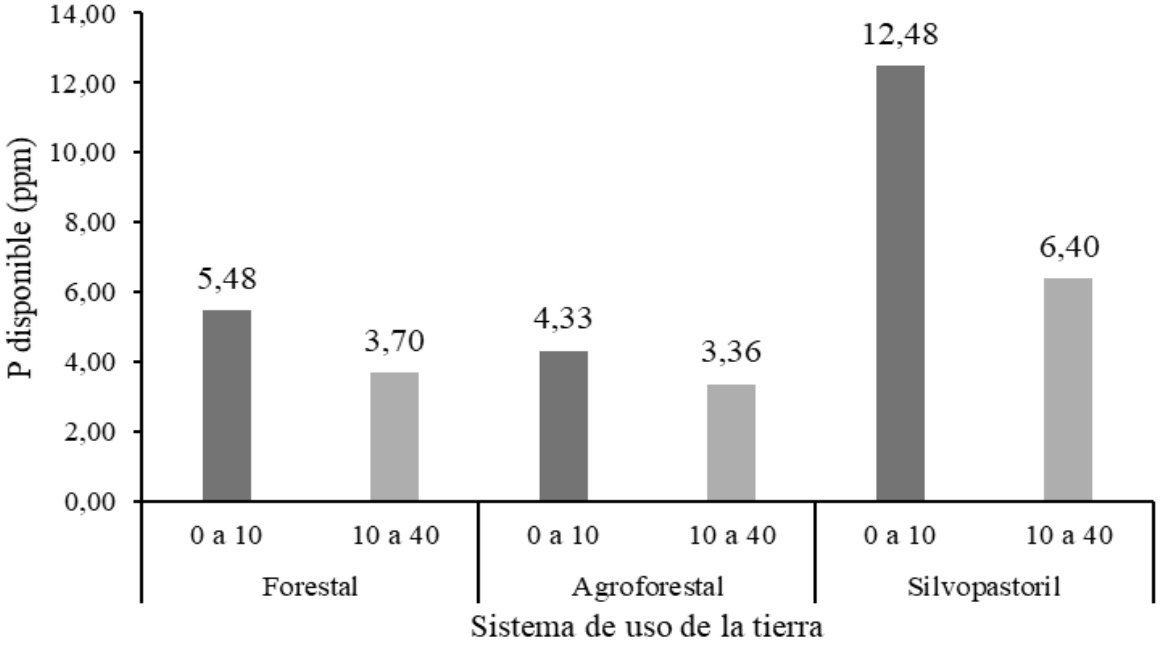
En el sistema agroforestal, los niveles son también bajos, con promedios de 4,33 ppm entre 0 a 10 cm y 3,36 ppm para una profundidad de muestreo de 10 a 40 cm (**Tabla 13** y **Figura 12**). La variabilidad es mucho menor, indicando una disponibilidad más uniforme; no obstante, los valores siguen estando en rangos considerados limitantes para la productividad agrícola, lo que puede deberse a la extracción continua de fósforo por el *T. cacao* y a una limitada reposición de nutrientes, valores superiores reportó Fernández (2024) en un sistema similar donde el rango fue desde 21,87 hasta 29,44 pm, justificándole el autor al aporte de fertilizantes fosfatados al sistema agroforestal.

El sistema silvopastoril presenta los valores más altos de fósforo, determinando para la capa superficial una media de 12,48 ppm, mientras que en el subsuelo alcanza 6,40 ppm (**Tabla 13** y **Figura 12**), aunque existe una variabilidad considerable, los niveles son superiores a los otros sistemas, lo que puede estar asociado a la deposición de estiércol y orina del ganado, así como a la mineralización acelerada de residuos vegetales.

Tabla 13. Contenido de fósforo disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	2,08	20,41	5,48	5,39	98,44
	10 a 40	10	1,51	13,66	3,70	3,57	96,42
Agroforestal	0 a 10	10	2,56	7,08	4,33	1,45	33,39
	10 a 40	10	1,91	4,92	3,36	1,13	33,56
Silvopastoril	0 a 10	10	3,92	20,80	12,48	5,97	47,86
	10 a 40	10	3,13	11,77	6,40	3,30	51,46

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 12. Contenido de fósforo disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El silvopastoril sobresale por su mayor contenido de fósforo disponible, lo que representa una ventaja en términos de fertilidad, aunque con distribución heterogénea. El forestal y agroforestal muestran bajos niveles, siendo necesario en el agroforestal implementar prácticas de manejo como fertilización orgánica o la asociación con especies fijadoras de fósforo.

4.1.2.5. Óxido de potasio disponible

En el sistema forestal, los niveles de potasio son los más altos, encontrándose en la parte más superficial una media de 254,64 ppm, disminuyendo a 204,93 ppm en la capa entre 10 a 40 cm (**Tabla 14** y **Figura 13**). La variabilidad es moderada, lo que indica una distribución relativamente uniforme, esto sugiere que la acumulación de hojarasca y residuos orgánicos en descomposición contribuye a mantener altos niveles de potasio en este sistema; resultado con menor promedio lo plasmó Vega (2024) al estudiar una parcela de bosque secundario donde reportó 60,14 pmm con datos más heterogéneos debido a que el coeficiente de variación fue 28,98 %.

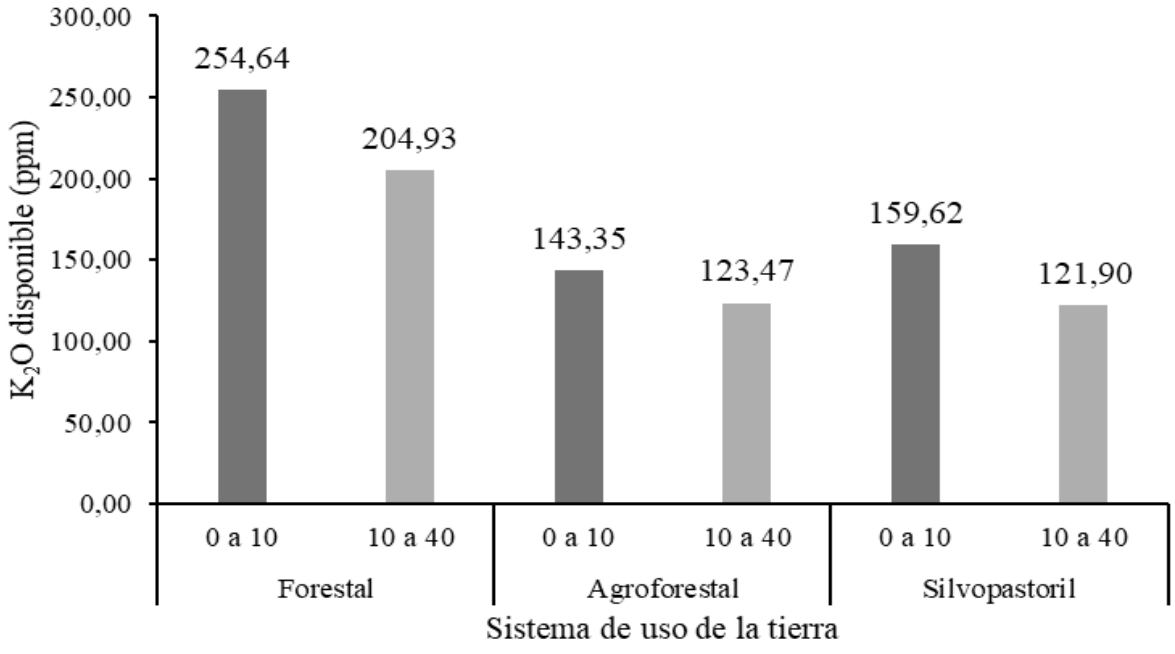
En el sistema agroforestal, el potasio disponible es considerablemente menor, con promedios de 143,35 ppm en 0 a 10 cm y 123,47 ppm en 10 a 40 cm (**Tabla 14** y **Figura 13**). La variabilidad es baja, lo que refleja mayor homogeneidad en la distribución, aunque con niveles que pueden ser limitantes para el rendimiento de *T. cacao* y

otros cultivos asociados si no se compensa con prácticas de fertilización, a pesar de esto, hay otros sistemas similares en donde aun es más bajo el contenido de potasio, esto lo determinó Fernández (2024) en un sistema agroforestal en el caserío Cajatambo (San Martín) donde la media fue 76,32 ppm.

Tabla 14. Contenido de óxido de potasio disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	197,64	375,40	254,64	53,75	21,11
	10 a 40	10	144,62	265,73	204,93	35,97	17,55
Agroforestal	0 a 10	10	116,90	180,17	143,35	23,65	16,50
	10 a 40	10	105,45	150,04	123,47	15,04	12,18
Silvopastoril	0 a 10	10	88,58	260,31	159,62	53,88	33,76
	10 a 40	10	80,74	185,29	121,90	29,86	24,50

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 13. Contenido de óxido de potasio disponible del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema silvopastoril presenta valores intermedios del potasio disponible, con 159,62 ppm en la parte más superficial y 121,90 ppm en el muestreo más

profundo (**Tabla 14** y **Figura 13**). Sin embargo, exhibe una alta variabilidad, probablemente debido a la deposición irregular de estiércol del ganado y a diferencias en la cobertura vegetal. Estos valores sugieren un aporte orgánico significativo, aunque distribuido de manera heterogénea.

El forestal muestra los mayores niveles de potasio, beneficiado por el reciclaje natural de nutrientes vía hojarasca; el sistema agroforestal presenta los niveles más bajos y más uniformes, lo que evidencia posible deficiencia de potasio a mediano plazo si no se aplican enmiendas o fertilización potásica. En el caso del sistema silvopastoril, mantienen valores intermedios, pero con gran variabilidad, reflejando un aporte irregular de nutrientes por el manejo pecuario.

4.1.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

En el sistema forestal, los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se ubican en un rango moderado, con promedios de 8,06 cmol(+)/kg en la capa superficial de 0 a 10 cm, y 7,12 cmol(+)/kg en la franja de 10 a 40 cm de profundidad (**Tabla 15** y **Figura 14**). La variabilidad observada es de nivel medio, lo cual indica la existencia de cierta heterogeneidad en la composición del suelo. Este comportamiento coincide con lo señalado por Espinoza (2024), quien en su investigación sobre plantaciones forestales de cuatro años de establecimiento también reportó un grado similar de variabilidad en la CIC. Los valores obtenidos ponen en evidencia que este sistema presenta una adecuada capacidad de retención de nutrientes, favorecida principalmente por la presencia constante de cobertura vegetal y por la acumulación de materia orgánica en las capas superficiales, factores que contribuyen a mejorar la fertilidad y la estabilidad del suelo. Por otro lado, Vega (2024) registró resultados más elevados en un bosque secundario, donde el promedio alcanzó 9,02 cmol(+)/kg, acompañado de un coeficiente de variación de 11,72 %. Esta diferencia refleja que, si bien el sistema forestal en estudio mantiene condiciones aceptables de fertilidad, los suelos de bosques secundarios pueden ofrecer un mayor potencial de intercambio catiónico.

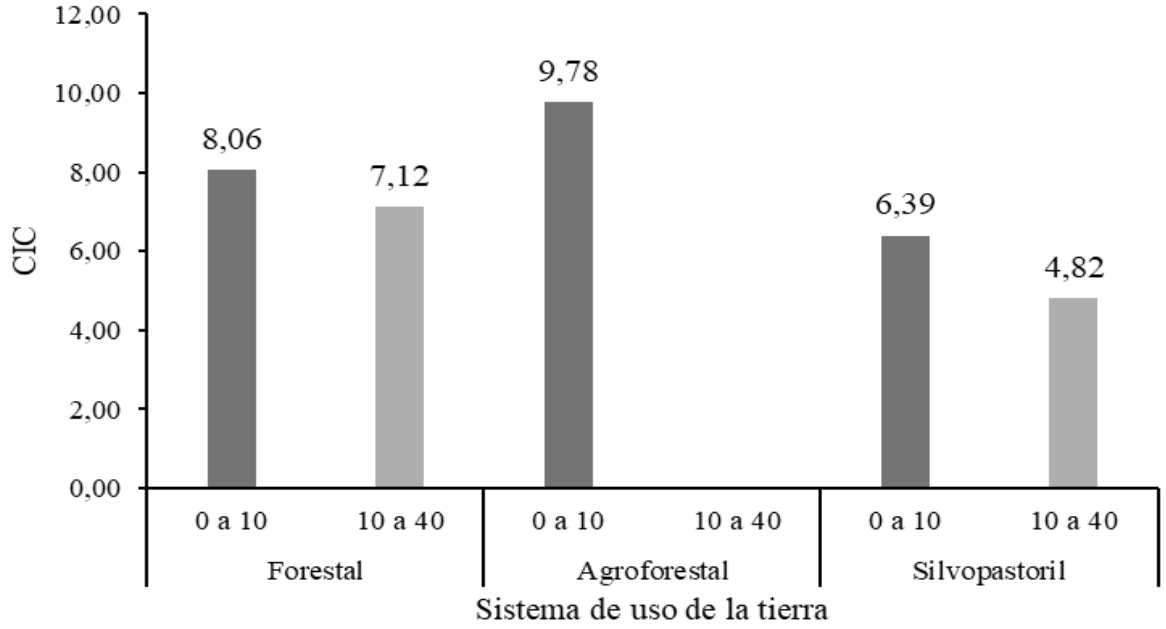
En el sistema agroforestal, la capa superficial presenta el promedio más alto como es 9,78 cmol(+)/kg, con baja a moderada variabilidad (**Tabla 15** y **Figura 14**), este valor indica un buen potencial de fertilidad, probablemente asociado a la combinación de aportes orgánicos (hojarasca, residuos de cacao u otros cultivos asociados) y mayor diversidad biológica en la superficie, este resultado es muy cercano a lo reportado por Guisado (2024) al evaluar la calidad del suelo en sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla* donde la media en la parte superficial fue 9,19 cmol(+)/kg. Además, no hubo datos disponibles para la profundidad 10 a 40 cm, limitando la comparación completa.

En el sistema silvopastoril, los valores de la capacidad de intercambio catiónico son los más bajos en promedio, con 6,39 cmol(+)/kg en 0 a 10 cm y 4,82 cmol(+)/kg en 10 a 40 cm (**Tabla 15** y **Figura 14**). Además, presentan la mayor variabilidad, lo que refleja condiciones desiguales del suelo posiblemente debido al pisoteo del ganado, la compactación y la distribución irregular de estiércol. Esto sugiere una menor capacidad del suelo para retener nutrientes, lo que puede afectar la productividad a largo plazo, resultados más alentadores se observan en sistemas de uso de bosque en donde la media es 7,17 cmol(+)/kg, aunque al compararlas con sistemas de uso agroforestal y excocal los valores disminuyen a 7,07 y 6,99 cmol(+)/kg respectivamente, comportamiento atribuido a la actividad antrópica (Fernández, 2024).

Tabla 15. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	4	5,97	10,29	8,06	1,95	24,16
	10 a 40	4	5,44	8,42	7,12	1,42	19,89
Agroforestal	0 a 10	3	8,10	11,84	9,78	1,90	19,41
	10 a 40	0					----
Silvopastoril	0 a 10	8	3,10	8,91	6,39	1,99	31,09
	10 a 40	8	2,57	8,41	4,82	2,06	42,77

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 14. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema agroforestal posee mayor capacidad de intercambio catiónico, indicando un suelo con buena fertilidad y retención de nutrientes, en el caso del sistema forestal, posee valores intermedios estables, con un balance adecuado entre nutrientes y materia orgánica. En el caso del sistema silvopastoril los valores son más bajos y muy variables, evidenciando limitaciones para la fertilidad del suelo y necesidad de un manejo más sostenible.

4.1.2.7. Calcio cambiable

En el sistema forestal se registraron los valores más estables y altos del calcio, con un promedio de 5,76 cmol(+)/kg en la capa superficial y 5,24 cmol(+)/kg en el subsuelo entre 10 a 40 cm (**Tabla 16** y **Figura 15**). La baja variabilidad observada indica que este sistema mantiene un suministro relativamente homogéneo de calcio en el perfil del suelo, lo cual se explica por el aporte constante de hojarasca y el reciclaje de nutrientes propio de la cobertura arbórea densa; reportes por debajo de la media señalada encontró Vega (2024) al muestrear una parcela de bosque secundario donde reportó la media de 2,60 cmol(+)/kg con datos homogéneos porque el coeficiente de variación fue 13,21 %. Pero en el caso de otros reportes como Espinoza (2024), se observa que este elemento suele tener variación numérica respecto a la profundidad de muestreo, así como también sobre la especie forestal que se encuentra establecida en el terreno siendo uno de los casos por ejemplo en plantaciones de *C. sprunceanum* el promedio es 5,70 cmol(+)/kg, *E. torreliana* registró 4,57 cmol(+)/kg, *C. cateniformis* 3,19 cmol(+)/kg y *C. glandulosa* 2,54 cmol(+)/kg, valores al muestreo suelos hasta una profundidad entre 0 a 10 cm.

En el sistema agroforestal, el calcio cambiable presentó promedios más bajos y una marcada heterogeneidad espacial. En la capa superficial se obtuvo un valor medio de 4,24 cmol(+)/kg, mientras que en el subsuelo descendió a 2,97 cmol(+)/kg (**Tabla 16** y **Figura 15**). Sin embargo, los coeficientes de variación fueron extremadamente altos (72–73 %), lo que refleja una gran dispersión en los datos, como también encontró Guisado (2024) al muestrear suelos de tres sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla* que ratificó la variación entre parcelas y también a nivel de profundidad de muestreo de los suelos. Esta condición puede deberse a diferencias en la composición y distribución de especies, así como a prácticas de manejo que generan zonas con mayor o menor acumulación de residuos orgánicos, ocasionando una fertilidad irregular dentro del sistema.

Por su parte, el sistema silvopastoril presentó valores intermedios de calcio, con promedios de 4,71 cmol(+)/kg en superficie y 3,58 cmol(+)/kg entre los 10 a 40 cm (**Tabla 16** y **Figura 15**). La variabilidad fue también elevada (entre 32 y 47 %),

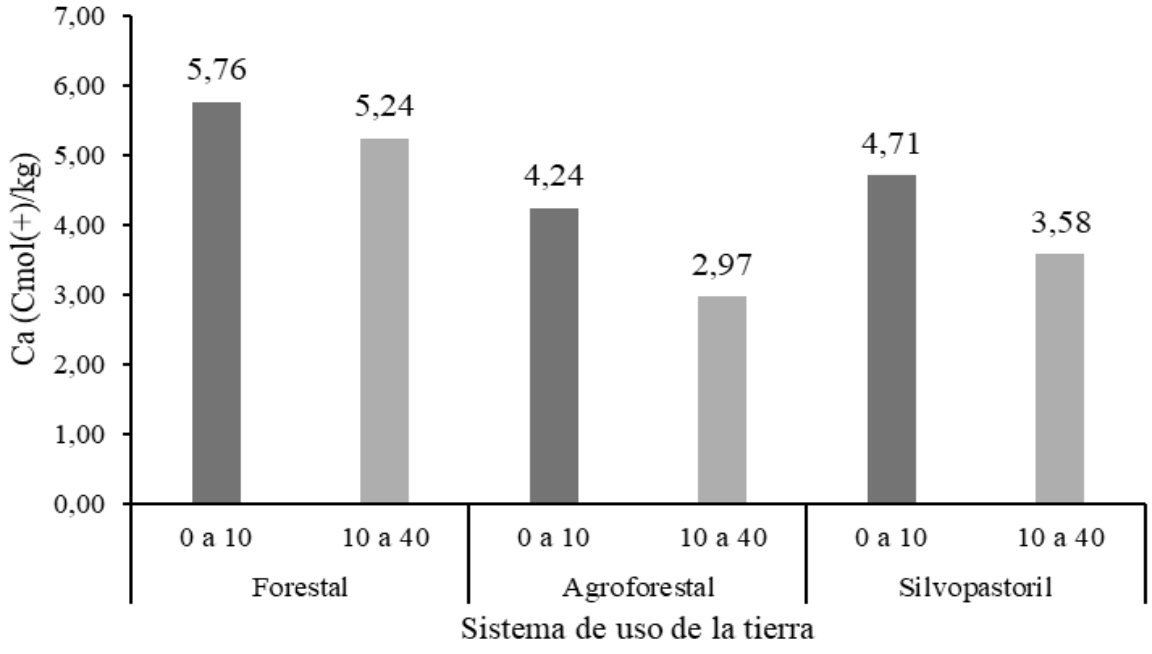
lo cual sugiere un aporte menos uniforme de este nutriente. Factores como el pastoreo, la compactación del suelo y la distribución heterogénea de estiércol probablemente explican la mayor inestabilidad observada.

Los resultados evidencian que el sistema forestal conserva de mejor manera los niveles de calcio cambiable en el suelo (**Tabla 16** y **Figura 15**), mientras que los sistemas agroforestal y silvopastoril requieren estrategias de manejo más eficientes para garantizar una disponibilidad equilibrada de este nutriente esencial para la fertilidad y la estabilidad estructural del suelo.

Tabla 16. Contenido de calcio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	4,11	8,08	5,76	1,30	22,54
	10 a 40	10	3,71	6,81	5,24	1,07	20,47
Agroforestal	0 a 10	10	1,18	9,74	4,24	3,06	72,13
	10 a 40	10	0,94	6,89	2,97	2,17	73,19
Silvopastoril	0 a 10	10	2,25	7,17	4,71	1,52	32,35
	10 a 40	10	1,76	7,02	3,58	1,68	46,79

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 15. Contenido de calcio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

4.1.2.8. Magnesio cambiable

En el sistema forestal se registraron los valores más altos y estables del magnesio, con promedios de 1,02 cmol(+)/kg en la capa de 0 a 10 cm y 0,78 cmol(+)/kg entre los 10 a 40 cm (**Tabla 17** y **Figura 16**). Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos (24 - 25 %), lo que evidencia una distribución homogénea de este nutriente, probablemente asociada al aporte constante de material orgánico y al menor grado de alteración en comparación con los otros sistemas; reportes más bajos lo encontró Vega (2024) al muestrear en el bosque reservado de la UNAS y determinar una media de 0,35 cmol(+)/kg con el coeficiente de variación del 14,67 %.

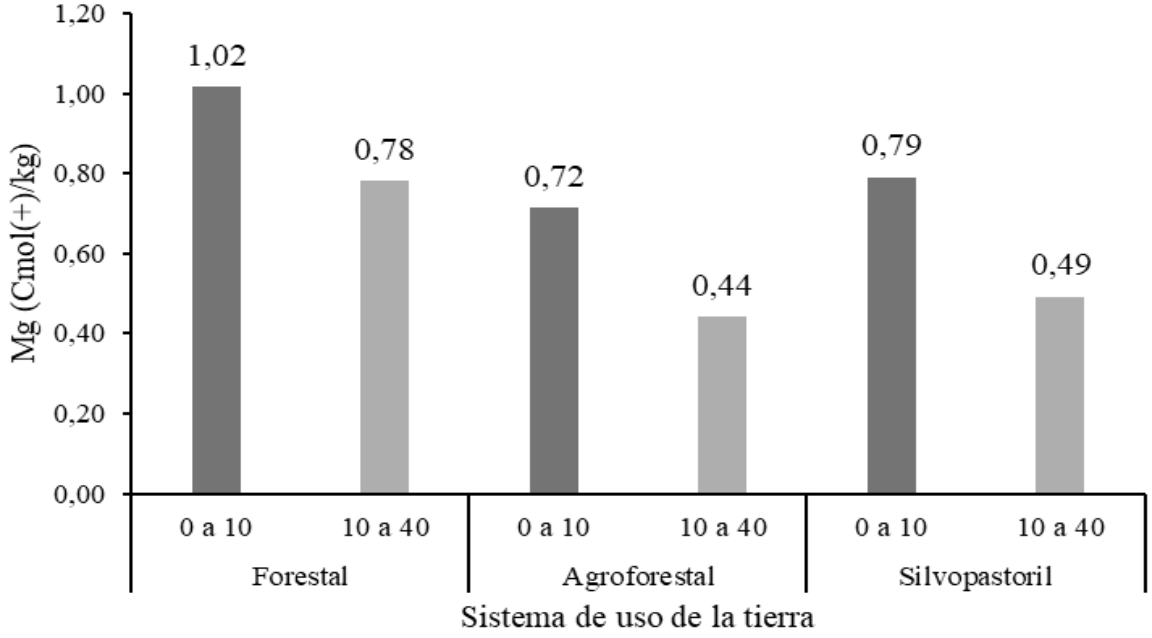
En el sistema agroforestal se observaron niveles inferiores de magnesio, acompañados de una marcada heterogeneidad espacial. En la superficie el valor promedio fue de 0,72 cmol(+)/kg, mientras que en el subsuelo descendió a 0,44 cmol(+)/kg (**Tabla 17** y **Figura 16**). No obstante, los coeficientes de variación fueron extremadamente altos (80–83 %), lo que indica una fuerte variabilidad en la disponibilidad de este nutriente, muy acorde a lo encontrado por Guisado (2024) en sistemas agroforestales de *C. arabica* e *I. macrophylla* ya que las medias en tres parcelas evaluadas de sistema similar arrojaron promedios entre 0,23, 0,46 y 0,98 cmol(+)/kg, ratificando la variabilidad indicada. Esto podría estar relacionado con diferencias en la distribución de especies y la calidad de los residuos aportados, que generan zonas con mayor o menor acumulación de magnesio.

El sistema silvopastoril presentó valores intermedios respecto a los otros usos; en la capa superficial el promedio alcanzó 0,79 cmol(+)/kg, mientras que en el subsuelo fue de 0,49 cmol(+)/kg (**Tabla 17** y **Figura 16**). La variabilidad fue moderada a alta, lo que sugiere que factores como la compactación por el pastoreo y la distribución irregular de estiércol influyen en la disponibilidad del magnesio cambiable.

Tabla 17. Contenido de magnesio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,58	1,45	1,02	0,26	25,44
	10 a 40	10	0,46	1,05	0,78	0,19	24,07
Agroforestal	0 a 10	10	0,16	1,64	0,72	0,58	80,74
	10 a 40	10	0,13	1,26	0,44	0,37	83,09
Silvopastoril	0 a 10	10	0,43	1,33	0,79	0,28	34,92
	10 a 40	10	0,25	0,94	0,49	0,23	46,63

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 16. Contenido de magnesio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los resultados muestran que el sistema forestal conserva mejor la estabilidad y disponibilidad de magnesio en el suelo, mientras que los sistemas agroforestal y silvopastoril presentan mayores fluctuaciones, lo cual puede afectar la fertilidad del suelo y la nutrición vegetal si no se aplican prácticas de manejo que promuevan una distribución más uniforme de este nutriente.

4.1.2.9. Potasio cambiable

El sistema forestal mostró los valores más altos y estables del potasio, con un promedio de 0,62 cmol(+)/kg en la capa más superficial y 0,51 cmol(+)/kg en la mayor profundidad de muestreo (**Tabla 18** y **Figura 17**). Los coeficientes de variación (19,8–20,7 %) fueron bajos a moderados, lo que indica una buena homogeneidad en la distribución del potasio, asociada a la descomposición continua de la hojarasca y al reciclaje natural de nutrientes en este sistema.

En el sistema agroforestal se observaron valores intermedios, aunque inferiores al forestal; en la capa de 0 a 10 cm el promedio fue de 0,36 cmol(+)/kg, mientras que en el subsuelo alcanzó 0,32 cmol(+)/kg (**Tabla 18** y **Figura 17**). La variabilidad fue baja (CV de 12–13 %), lo que sugiere una distribución más uniforme del potasio, probablemente debido a la mezcla de especies cultivadas y árboles de sombra que aportan residuos orgánicos de manera relativamente constante. Sin embargo, los niveles más bajos en

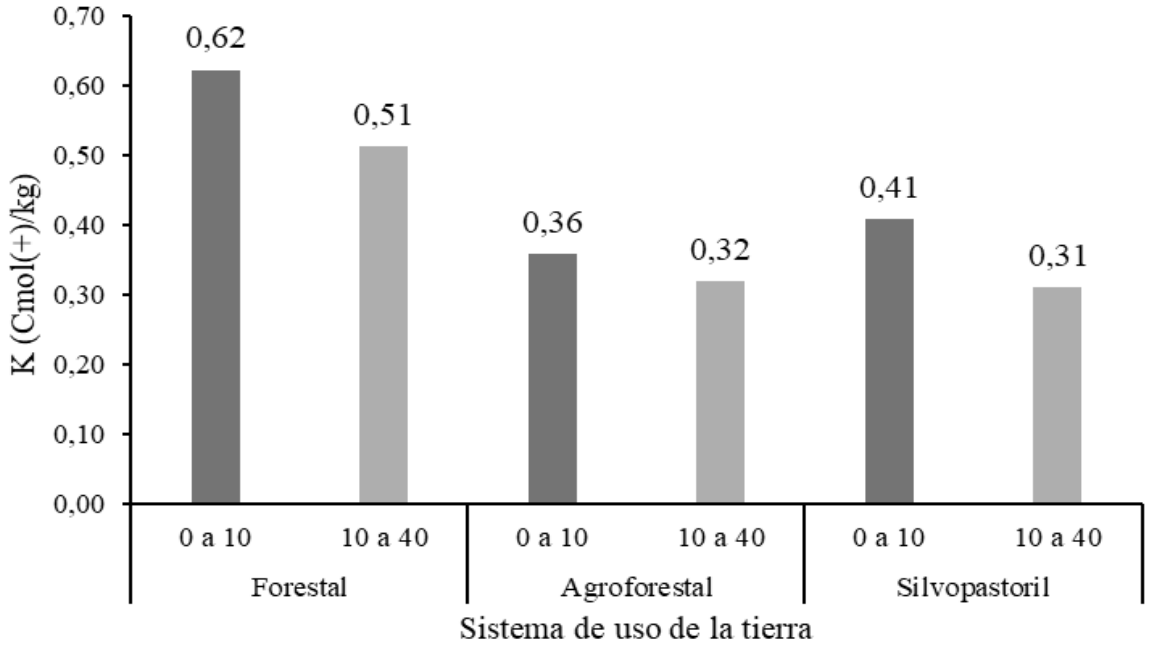
comparación con el bosque evidencian un menor aporte de biomasa y una extracción parcial del nutriente por el manejo agrícola.

El sistema silvopastoril registró los valores más reducidos y heterogéneos de potasio cambiable; en la superficie el promedio fue de 0,41 cmol(+)/kg y en el subsuelo descendió a 0,31 cmol(+)/kg, con coeficientes de variación elevados (**Tabla 18** y **Figura 17**). Esto refleja una distribución irregular del nutriente, posiblemente influenciada por el pastoreo, la compactación del suelo y la acumulación localizada de excretas del ganado, que generan parches de fertilidad desiguales.

Tabla 18. Contenido de potasio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,45	0,90	0,62	0,12	19,82
	10 a 40	10	0,36	0,75	0,51	0,11	20,69
Agroforestal	0 a 10	10	0,30	0,41	0,36	0,04	12,27
	10 a 40	10	0,27	0,40	0,32	0,04	13,16
Silvopastoril	0 a 10	10	0,25	0,65	0,41	0,13	31,94
	10 a 40	10	0,21	0,46	0,31	0,08	24,64

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 17. Contenido de potasio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los resultados respecto al potasio cambiable en los sistemas de usos de la tierra indican que, el sistema forestal conserva una mayor cantidad y estabilidad de potasio cambiable, seguido por el agroforestal con niveles moderados y homogéneos, mientras que el sistema silvopastoril presenta mayor variabilidad y los contenidos más bajos (**Tabla 18** y **Figura 17**), lo que puede comprometer la disponibilidad del nutriente para los cultivos a largo plazo.

4.1.2.10. Sodio cambiable

En el sistema forestal, los valores promedios del sodio cambiable fueron de 0,20 cmol(+)/kg en la capa de 0 a 10 cm y 0,16 cmol(+)/kg entre los 10 a 40 cm (**Tabla 19** y **Figura 18**). Sin embargo, mostró una variabilidad relativamente alta debido a los valores del coeficiente de variación entre los 28,76 % y 33,93 % respectivamente, lo que sugiere una distribución heterogénea del sodio, probablemente influenciada por la dinámica natural de lixiviación y retención en estos suelos. Este comportamiento de la elevada variabilidad también fue reportado por Espinoza (2024) en plantaciones de diferentes especies forestales, aunque esto también es provocado porque el promedio se encuentra muy cercano a cero y esto puede exagerar la variabilidad relativa, aunque en términos absolutos la variación de los datos no sea tan grande.

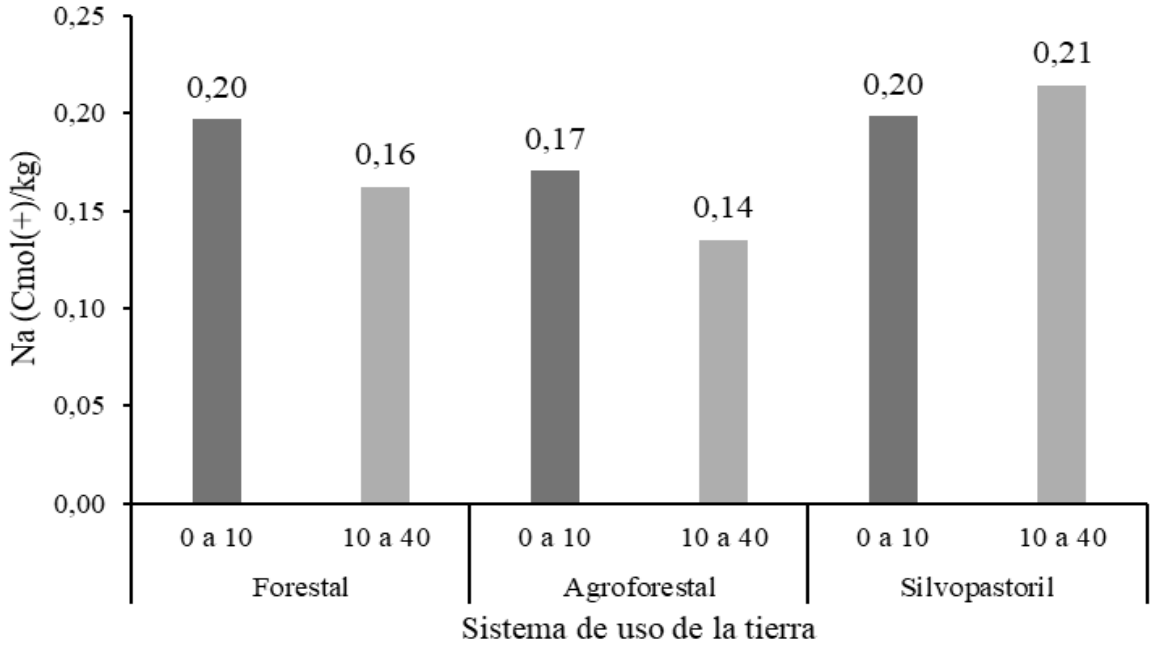
El sistema agroforestal registró contenidos intermedios y más homogéneos de sodio, con promedios de 0,17 cmol(+)/kg en superficie y 0,14 cmol(+)/kg en el subsuelo (**Tabla 19** y **Figura 18**). Los coeficientes de variación fueron los más bajos de los tres sistemas (17–22 %), lo que refleja una mayor estabilidad en la distribución del sodio. Esto puede deberse al manejo mixto de especies y a un balance relativamente equilibrado entre el aporte de materia orgánica y los procesos de lixiviación; resultados diferentes registró Guisado (2024) al estudiar los suelos de sistemas agroforestales conformados por *C. arabica* e *I. macrophylla*, donde los promedios de las parcelas fueron más bajos abarcando el rango desde los 0,02 hasta 0,07 cmol(+)/kg en la parte más superficial y disminuyó hasta el rango desde 0,01 hasta 0,06 en las profundidad de 10 a 40 cm.

En el sistema de uso de la tierra silvopastoril se observaron los valores más altos en el subsuelo, con un promedio de 0,21 cmol(+)/kg, mientras que en la superficie fue de 0,20 cmol(+)/kg (**Tabla 19** y **Figura 18**). La variabilidad fue baja a moderada con valores del coeficiente de variación de 16 % y 20 % respepctivamente, lo que indica una distribución más uniforme. Este comportamiento puede estar relacionado con la acumulación de sodio en el perfil debido al pisoteo del ganado y a la menor lixiviación, favorecida por una posible compactación del suelo.

Tabla 19. Contenido de sodio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,15	0,32	0,20	0,06	28,73
	10 a 40	10	0,11	0,26	0,16	0,06	33,93
Agroforestal	0 a 10	10	0,12	0,24	0,17	0,04	22,24
	10 a 40	10	0,10	0,18	0,14	0,02	17,11
Silvopastoril	0 a 10	10	0,14	0,27	0,20	0,04	20,40
	10 a 40	10	0,15	0,26	0,21	0,04	16,47

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 18. Contenido de sodio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los resultados muestran que, aunque los tres sistemas mantienen bajos niveles de sodio cambiable, el sistema forestal presenta mayor variabilidad, el agroforestal una distribución más homogénea y el silvopastoril tiende a concentrar ligeramente más sodio en el subsuelo, lo que a largo plazo podría generar riesgos de salinización localizada si no se controla el manejo.

4.1.2.11. Aluminio cambiable

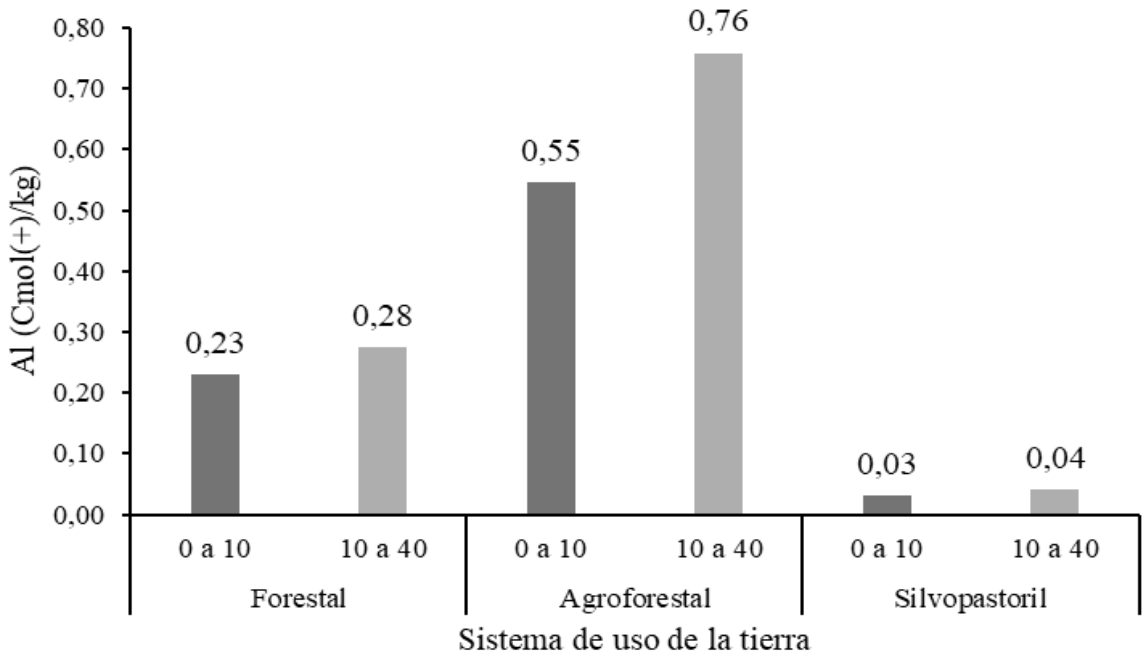
En el sistema forestal, los valores promedios del aluminio cambiable fueron bajos, con 0,23 cmol(+)/kg en la parte más superficial y 0,28 cmol(+)/kg entre

los 10 a 40 cm (**Tabla 20** y **Figura 19**). Sin embargo, la alta variabilidad (133 - 166 %) evidencia que, aunque en la mayoría de las muestras los niveles son bajos, existen puntos con acumulaciones puntuales de aluminio. Esto podría estar relacionado con procesos de lixiviación y la naturaleza ácida de los suelos, típicos en sistemas forestales.

Tabla 20. Contenido de aluminio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,00	1,16	0,23	0,38	165,60
	10 a 40	10	0,00	1,21	0,28	0,37	133,25
Agroforestal	0 a 10	10	0,00	1,13	0,55	0,46	83,98
	10 a 40	10	0,25	1,32	0,76	0,39	51,50
Silvopastoril	0 a 10	10	0,00	0,30	0,03	0,09	297,72
	10 a 40	10	0,00	0,28	0,04	0,09	231,35

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 19. Contenido de aluminio cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

En el agroforestal se observó una tendencia a mayores concentraciones de aluminio cambiable, especialmente en la parte más profunda, donde alcanzó un promedio de 0,76 cmol(+)/kg, frente a 0,55 cmol(+)/kg en la parte más superficial (**Tabla**

20 y **Figura 19**). La variabilidad fue menor que en el forestal (51 - 84 %), lo que indica una distribución más uniforme de este catión en el perfil. Estos resultados sugieren que la interacción de especies leñosas y cultivos podría estar favoreciendo una acidificación más marcada del suelo y, en consecuencia, la disponibilidad de aluminio en el complejo de cambio.

El sistema silvopastoril presentó los valores más bajos, con promedios cercanos a cero tanto en superficie (0,03 cmol(+)/kg) como en el subsuelo donde la media fue 0,04 cmol(+)/kg (**Tabla 20** y **Figura 19**). Aunque los coeficientes de variación fueron muy elevados (231 - 298 %), esto se debe a que la mayoría de las muestras no registraron presencia de aluminio cambiable, lo que refleja su escasa importancia en este sistema. La actividad del pasto y el efecto del pastoreo podrían estar contribuyendo a una menor acumulación de aluminio en el suelo.

Los resultados muestran que el sistema agroforestal es el que concentra mayores niveles de aluminio cambiable, lo cual podría tener implicancias en la acidez y en la disponibilidad de nutrientes sensibles a este factor. El sistema forestal mantiene valores bajos pero heterogéneos, mientras que el silvopastoril prácticamente carece de aluminio en formas cambiables, lo que resulta más favorable para la fertilidad del suelo.

4.1.2.12. Hidrógeno cambiable

En el sistema forestal se registraron valores promedios de 0,09 cmol(+)/kg para el hidrógeno cambiable en la capa más superficial y 0,11 cmol(+)/kg en la parte más profunda (**Tabla 21** y **Figura 20**), sin embargo, los coeficientes de variación fueron elevados (128–149 %), lo que indica una alta heterogeneidad espacial en la presencia de este catión, posiblemente asociada con la variabilidad natural en la acidez del suelo bajo cobertura forestal.

En el sistema agroforestal se observaron valores ligeramente superiores para el hidrógeno, con promedios de 0,16 cmol(+)/kg en la superficie y 0,19 cmol(+)/kg en mayor profundidad (**Tabla 21** y **Figura 20**). A diferencia del forestal, en este sistema la variabilidad fue más moderada en el subsuelo (CV de 47,49 %), lo que refleja una distribución más uniforme del hidrógeno en esa capa. Estos resultados sugieren que las interacciones entre los cultivos y los árboles podrían estar intensificando los procesos de acidificación, generando mayor presencia de hidrógeno en el complejo de cambio.

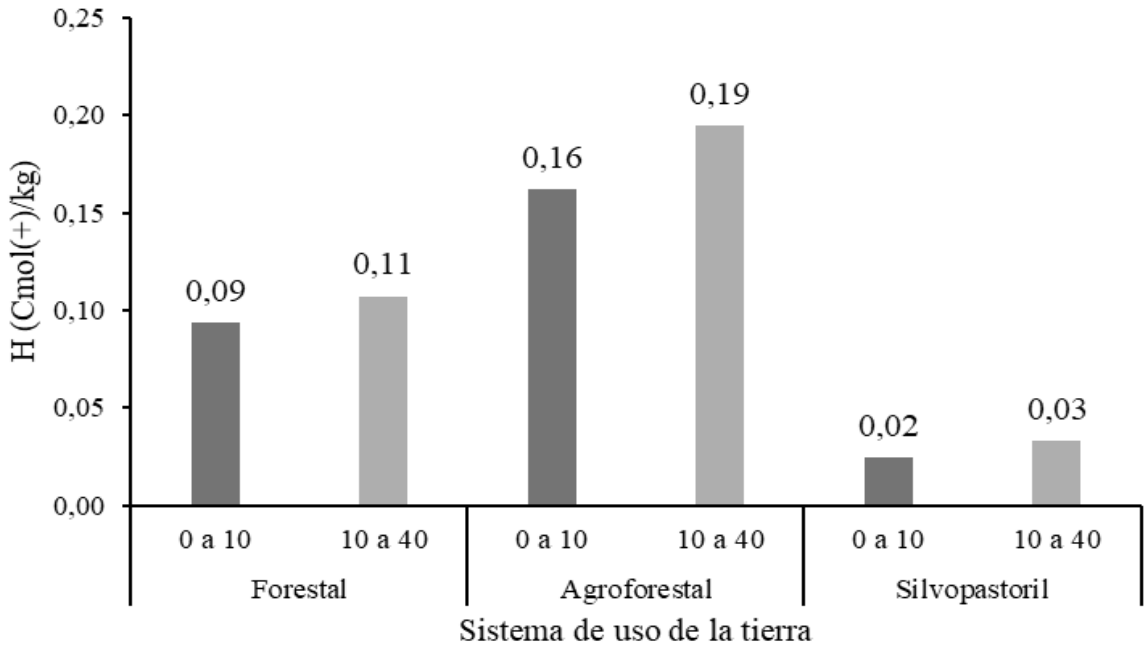
El sistema silvopastoril mostró los niveles más bajos de hidrógeno cambiable, con promedios de apenas 0,02 cmol(+)/kg en la parte más superficial y 0,03 cmol(+)/kg en las muestras de mayor profundidad (**Tabla 21** y **Figura 20**). Aunque los coeficientes de variación fueron muy elevados (234–252 %), esto se debe a que en la mayoría

de las muestras no se detectó hidrógeno cambiable, evidenciando que este catión tiene muy poca incidencia en dicho sistema.

Tabla 21. Contenido de hidrógeno cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,00	0,42	0,09	0,14	148,87
	10 a 40	10	0,00	0,44	0,11	0,14	128,15
Agroforestal	0 a 10	10	0,00	0,47	0,16	0,17	102,35
	10 a 40	10	0,10	0,42	0,19	0,09	47,49
Silvopastoril	0 a 10	10	0,00	0,20	0,02	0,06	252,06
	10 a 40	10	0,00	0,24	0,03	0,08	234,52

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 20. Contenido de hidrógeno cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los resultados indican que el agroforestal presenta la mayor acumulación de hidrógeno cambiable, lo que puede estar asociado a una mayor acidez y disponibilidad de cationes ácidos, mientras que el silvopastoril mantiene condiciones más favorables desde el punto de vista de la fertilidad del suelo al presentar niveles casi nulos de hidrógeno.

4.1.2.13. Capacidad de intercambio catiónico efectiva

En el sistema forestal se registraron los valores más altos y estables respecto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva, con promedios de 7,83 cmol(+)/kg en la capa más superficial y 7,06 cmol(+)/kg en los muestreos más profundos (**Tabla 22** y **Figura 21**). Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos (Espinoza, 2024), lo que indica una mayor homogeneidad en la disponibilidad de sitios de intercambio catiónico bajo cobertura forestal, condición favorable para la retención de nutrientes.

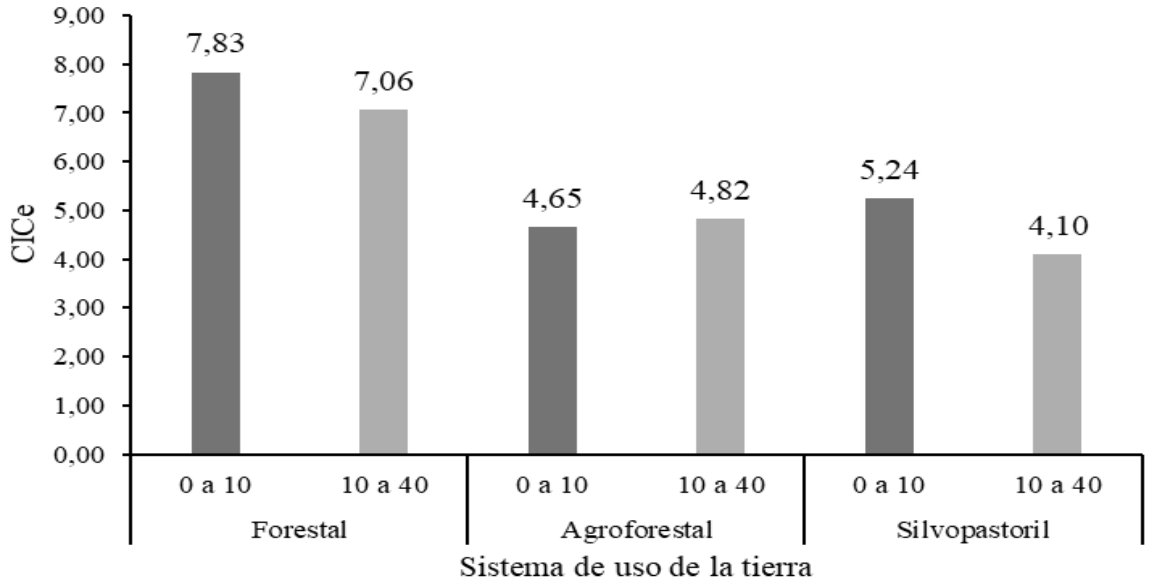
En el sistema agroforestal, los valores fueron menores y mucho más variables. La CICe presentó promedios de 4,65 cmol(+)/kg en la parte más superficial y 4,82 cmol(+)/kg en las muestras obtenidas desde los 10 a 40 cm, pero con coeficientes de variación elevados (**Tabla 22** y **Figura 21**), lo que evidencia una marcada heterogeneidad espacial en este sistema. Esta variabilidad podría estar relacionada con las diferencias en la composición y manejo de los cultivos asociados, así como con la influencia de la materia orgánica en zonas puntuales.

Por su parte, en el sistema de uso de la tierra silvopastoril se mostró valores intermedios de capacidad de intercambio catiónico equivalente, con un promedio de 5,24 cmol(+)/kg en los primeros 10 cm y 4,10 cmol(+)/kg en la capa de 10 a 40 cm (**Tabla 22** y **Figura 21**), a pesar de que el número de repeticiones fue reducido (n = 2), se observa que la variabilidad fue baja en la superficie (coeficiente de variación del 4,22 %) y moderada en el subsuelo (coeficiente de variación del 27,02 %). Esto sugiere que, aunque el sistema silvopastoril presenta menor capacidad de intercambio que el forestal, mantiene cierta estabilidad en la retención de cationes.

Tabla 22. Contenido de la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	6	6,41	9,34	7,83	1,01	12,84
	10 a 40	6	5,86	7,76	7,06	0,70	9,94
Agroforestal	0 a 10	7	2,95	8,17	4,65	2,04	43,90
	10 a 40	10	2,72	8,45	4,82	2,19	45,51
Silvopastoril	0 a 10	2	5,09	5,40	5,24	0,22	4,22
	10 a 40	2	3,32	4,89	4,10	1,11	27,02

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 21. Contenido de la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

Los resultados evidencian que el sistema forestal conserva mejores condiciones de fertilidad, al mantener una mayor CICe y menor variabilidad, mientras que el agroforestal refleja mayor heterogeneidad y el silvopastoril condiciones intermedias pero más consistentes.

4.1.2.14. Base cambiable

En el sistema forestal, los valores de la base cambiable se mantuvieron elevados y relativamente estables, con medias de 95,83 % en la capa superficial y 94,41 % en el subsuelo comprendida desde loa 10 hasta los 40 cm (**Tabla 23** y **Figura 22**). Los coeficientes de variación fueron bajos, lo que refleja una alta uniformidad en la saturación de bases, lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales y reduce los riesgos de acidez en este sistema.

El sistema agroforestal presentó valores inferiores y con mayor dispersión de la base cambiable. La saturación de bases alcanzó un promedio de 81,81 % en los primeros 10 cm y de 74,14 % en el subsuelo, con coeficientes de variación altos (**Tabla 23** y **Figura 22**). Esta amplia variabilidad indica heterogeneidad en la distribución de nutrientes, posiblemente asociada a la diversidad de especies cultivadas, el aporte desigual de materia orgánica y el manejo diferenciado de los suelos en este sistema.

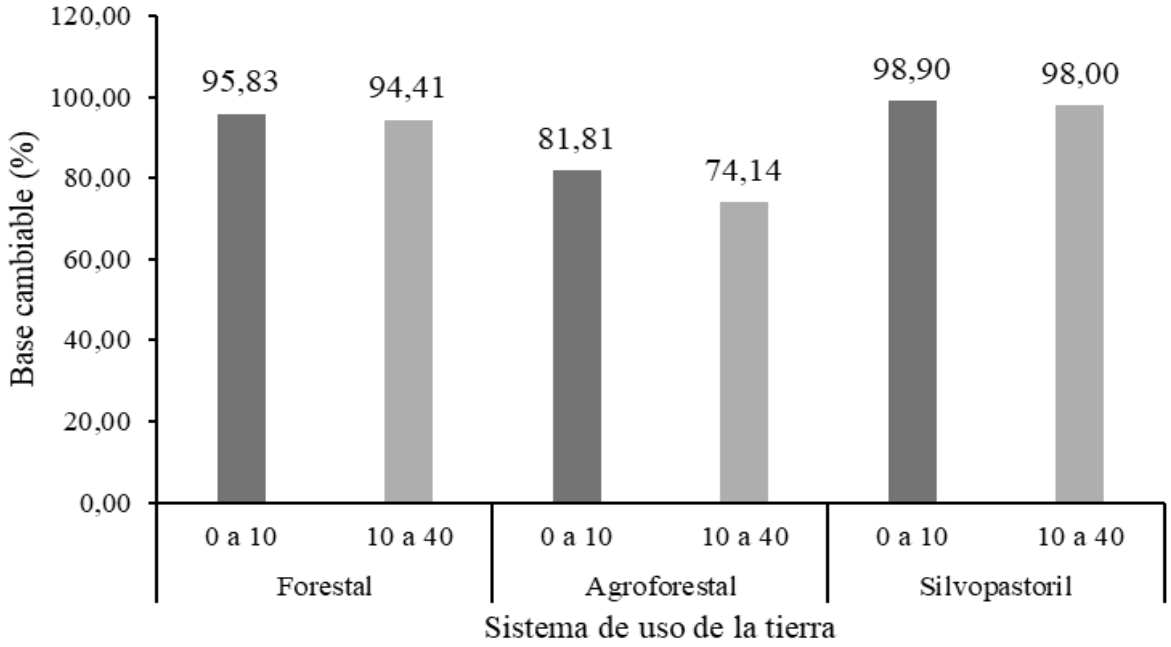
Por su parte, el sistema silvopastoril registró los valores más altos y consistentes, con promedios cercanos al 100 % tanto en la superficie (98,90 %) como en el subsuelo que obtuvo una media de 98,00 % (**Tabla 23** y **Figura 22**). Los coeficientes de

variación fueron muy bajos (3,08–5,08 %), lo que demuestra una notable estabilidad en la saturación de bases. Esta condición indica una fertilidad química favorable, con predominio de cationes básicos y escasa presencia de elementos acidificantes, lo que beneficia la productividad del sistema.

Tabla 23. Contenido de la base cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	77,87	100,00	95,83	6,98	7,28
	10 a 40	10	75,14	100,00	94,41	7,58	8,02
Agroforestal	0 a 10	10	58,78	100,00	81,81	16,53	20,20
	10 a 40	10	50,87	94,87	74,14	17,06	23,01
Silvopastoril	0 a 10	10	90,31	100,00	98,90	3,05	3,08
	10 a 40	10	84,38	100,00	98,00	4,98	5,08

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 22. Contenido de la base cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El sistema silvopastoril destacó por su mayor saturación de bases y estabilidad, seguido de cerca por el forestal, mientras que el agroforestal presentó las condiciones menos favorables debido a su mayor variabilidad y menores valores medios.

4.1.2.15. Acidez cambiable

En el sistema de uso de la tierra forestal, los valores promedio de la acidez cambiable fueron bajos, con 4,17 % en la capa superficial y 5,59 % entre los 10 a 40 cm (**Tabla 24** y **Figura 23**); sin embargo, los coeficientes de variación fueron extremadamente altos con valores que superaron los 150 %, lo que indica una marcada heterogeneidad en la distribución de la acidez dentro de los puntos de muestreo, probablemente relacionada con procesos locales de acumulación de materia orgánica, lixiviación o variaciones microambientales dentro del bosque.

En el sistema de uso de la tierra agroforestal se registraron los valores más elevados de acidez cambiable, alcanzando un promedio de 18,19 % en los primeros 10 cm y 25,86 % en el subsuelo (**Tabla 24** y **Figura 23**). Además, se observaron coeficientes de variación altos de 90,83 y 65,97 % respectivamente, lo que refleja una fuerte heterogeneidad en el suelo. Estos resultados sugieren que la mezcla de especies cultivadas y el manejo agroforestal favorecen procesos de acidificación, posiblemente asociados a la descomposición de residuos vegetales y al aporte diferencial de raíces que modifican la dinámica de cationes en el suelo.

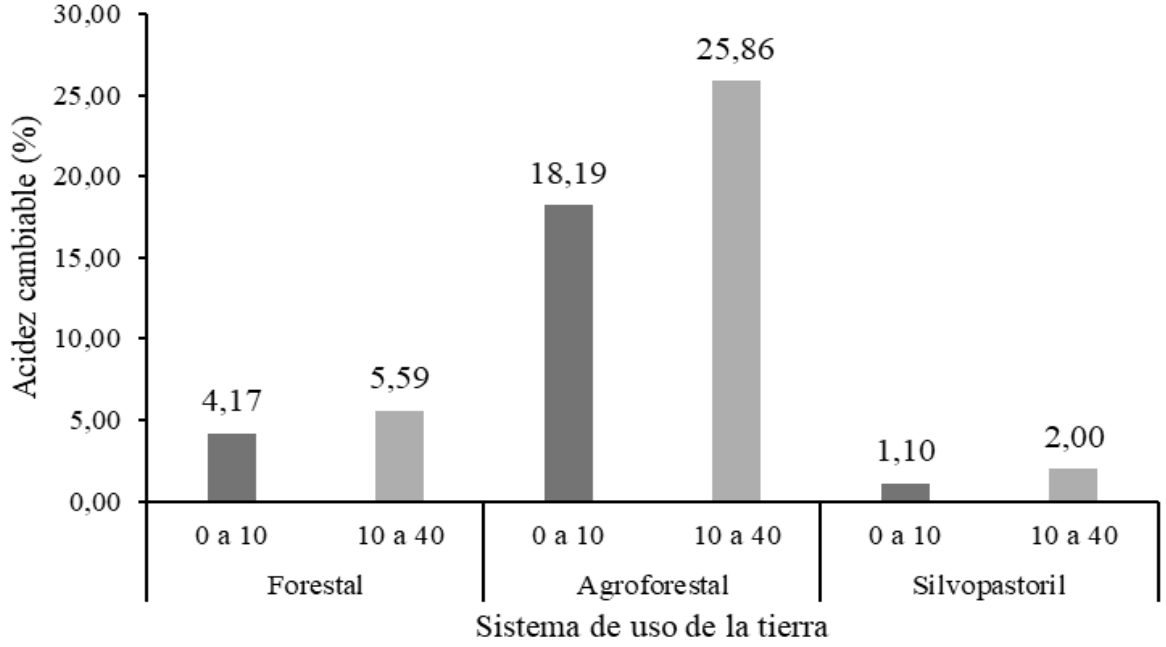
Por su parte, el sistema silvopastoril mostró los valores más bajos de acidez cambiable, con promedios de 1,10 % en la superficie y 2,00 % entre los 10 a 40 cm (**Tabla 24** y **Figura 23**). No obstante, presentó los coeficientes de variación más altos de todos los sistemas, lo que indica gran dispersión de los datos. Aunque la acidez en general es reducida, la fuerte variabilidad evidencia condiciones locales contrastantes, posiblemente vinculadas al manejo ganadero, compactación y distribución desigual de excretas animales que pueden modificar la química del suelo.

Tabla 24. Contenido de la acidez cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,00	22,13	4,17	6,98	167,10
	10 a 40	10	0,00	24,86	5,59	7,58	135,48
Agroforestal	0 a 10	10	0,00	41,22	18,19	16,53	90,83
	10 a 40	10	5,13	49,13	25,86	17,06	65,97
Silvopastoril	0 a 10	10	0,00	9,69	1,10	3,05	278,18
	10 a 40	10	0,00	15,62	2,00	4,98	249,30

N: Repeticiones

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 23. Contenido de la acidez cambiable del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

El SAF presentó los niveles más altos de acidez cambiable, el sistema forestal obtuvo valores intermedios y en el caso del sistema silvopastoril los valores fueron más bajos, aunque con una alta variabilidad en todos los casos. Esto resalta la influencia del uso de la tierra en la estabilidad química y en la susceptibilidad del suelo a la acidificación.

4.1.2.16. Saturación de aluminio

En el sistema forestal, los valores promedio de la saturación de aluminio fueron bajos, con 2,96 % en la capa superficial y 4,05 % en el subsuelo (**Tabla 25** y **Figura 24**); sin embargo, los coeficientes de variación fueron muy elevados, lo que indica una marcada heterogeneidad en la distribución del aluminio intercambiable. Esto sugiere que, aunque la saturación de aluminio no representa un problema generalizado en el bosque, existen sectores puntuales con mayor presencia de este elemento, posiblemente asociados a diferencias en la acumulación de materia orgánica y procesos de lixiviación.

En el sistema agroforestal se registraron los valores más altos de saturación de aluminio, con un promedio de 14,47 % en los primeros 10 cm y de 20,89 % en el subsuelo (**Tabla 25** y **Figura 24**); además, la variabilidad fue menor en comparación con el forestal y el silvopastoril (CV de 98,03–69,25 %), lo que evidencia una distribución más homogénea de la acidez en este sistema. Estos resultados sugieren que el manejo agroforestal, al integrar cultivos y especies leñosas, genera condiciones que favorecen la acidificación del

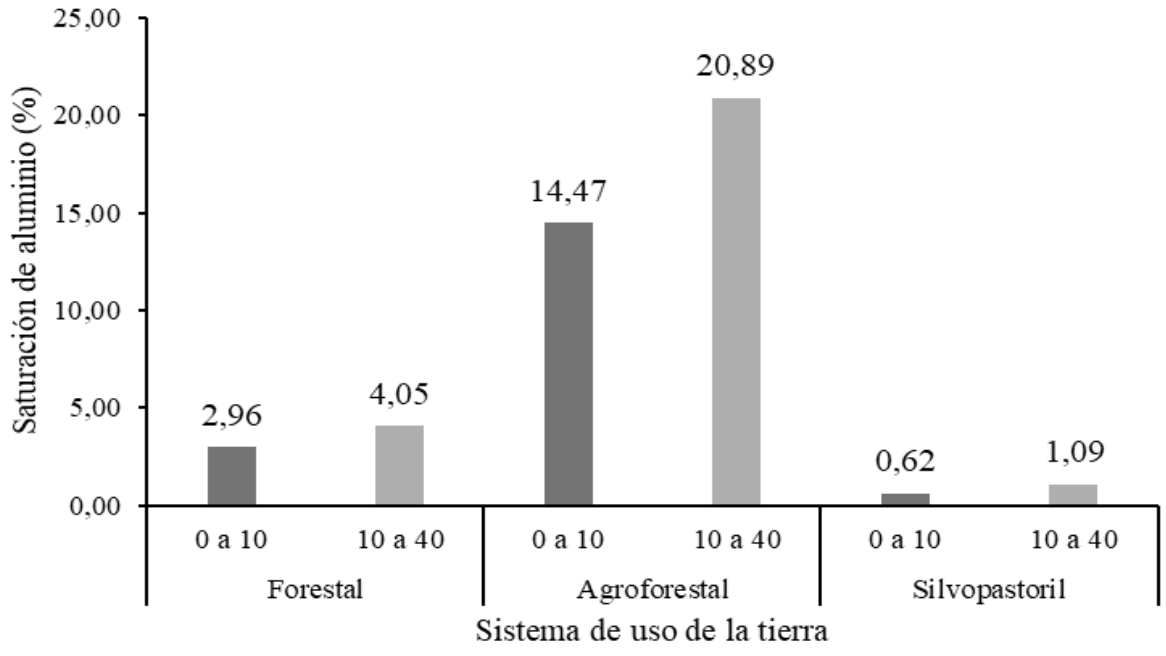
suelo y una mayor disponibilidad de aluminio, lo que podría tener implicaciones negativas sobre la fertilidad y la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos.

Por el contrario, el sistema silvopastoril presentó los valores más bajos de saturación de aluminio, con promedios de apenas 0,62 % en la superficie y 1,09 % en el subsuelo (**Tabla 25** y **Figura 24**). No obstante, los coeficientes de variación fueron extremadamente altos (298,71–247,82 %), lo que refleja una fuerte dispersión en los datos. Aunque la acidez en general es baja en este sistema, la alta variabilidad sugiere la presencia de microambientes contrastantes, posiblemente influenciados por la actividad ganadera, la compactación y la deposición irregular de materia orgánica.

Tabla 25. Contenido de la saturación de aluminio del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

SUT	Profundidad	N	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV (%)
Forestal	0 a 10	10	0,00	16,27	2,96	5,14	173,49
	10 a 40	10	0,00	18,20	4,05	5,58	137,82
Agroforestal	0 a 10	10	0,00	34,92	14,47	14,19	98,03
	10 a 40	10	3,22	43,51	20,89	14,47	69,25
Silvopastoril	0 a 10	10	0,00	5,85	0,62	1,84	298,71
	10 a 40	10	0,00	8,45	1,09	2,70	247,82

N: Repeticiones; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Letras diferentes demuestran significancia estadística entre niveles de profundidad.

Figura 24. Contenido de la saturación de aluminio del suelo en tres sistemas de uso de la tierra.

4.2. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra, mediante la aplicación del Subíndice Sustentable del Suelo (SUSS)

La calidad del suelo evaluada con el SUSS, varía entre sistemas y con la profundidad (**Tabla 26** y **Figura 25**). Bajo una perspectiva general, la capa superficial comprendida entre los 0 a 10 cm presenta mejores valores que la subsuperficial comprendida entre los 10 a 40 cm, lo cual es consistente con mayor aporte de hojarasca, raíces finas y actividad biológica en superficie, comportamiento similar encontró Guisado (2024) en sistemas de plantación de *C. arabica* e *I. macrophylla* donde en la parte más superficial la calidad fue marginal, mientras que a mayor profundidad el suelo recibe el calificativo de pobre. Asimismo, Espinoza (2024) registró similar comportamiento en plantaciones de *E. torreliana*, siendo el suelo marginal en la parte superficial y pasó a calificarse de pobre cuando el muestreo se realizó entre los 10 a 40 cm de profundidad.

Al integrar toda la profundidad de muestreo (0–40 cm), el sistema forestal alcanza el mayor valor del SUSS (0,69) categorizándole como un suelo de calidad "Sensible", seguido muy de cerca por el sistema silvopastoril (0,66) también considerado como un suelo "Sensible" (**Tabla 26** y **Figura 25**), resultados similares a lo encontrado en una isla del distrito Pueblo Nuevo por Gonzales (2025) donde de los cinco puntos de muestreo que se distribuyó en 61,15 ha obtuvo la calificación de calidad "Sensible" específicamente donde se tenían establecido el cultivo de plátano; mientras que el sistema agroforestal quedó más rezagado con un puntaje de 0,55, siendo clasificado su suelo como "Marginal", este comportamiento está directamente vinculado con el manejo asignado a dichos suelos y el antecedente de las plantaciones en estudio.

Al analizar por estratos, el sistema forestal muestra los mejores promedios entre los 0 a 10 cm (0,75) calificándolo como un suelo de calidad "Sensible" y entre los 10 a 40 cm (0,63) se le califica como un suelo; "Marginal"; la plantación de *G. crinita* a tres años, aun joven, ya genera cobertura, entrada de residuos y sombreamiento que favorecen estructura y actividad edáfica, especialmente en superficie. El sistema pastoril también obtiene un buen desempeño en 0 a10 cm (0,73) donde su suelo se clasifica como de calidad "Sensible", probablemente por el retorno de residuos de pastos y deposiciones animales; sin embargo, la compactación asociada al pisoteo explicaría el descenso entre los 10 a 40 cm (0,59) donde se le clasifica al suelo con calidad "Marginal".

En contraste, el sistema agroforestal presenta valores menores tanto entre 0 a10 cm (0,62) donde su suelo es de calidad "Marginal" como entre los 10 a 40 cm (0,49) donde el suelo mantiene su calificativo de "Marginal", reflejados en su promedio integrado (0,55); pese

a su antigüedad (8 años) y mayor densidad de plantas, el arreglo *T. cacao – C. odorata* puede exhibir menor cobertura efectiva del suelo, extracción de nutrientes por cosecha y posible disturbio por manejo (deshierbes, recorrido), lo que limita la recuperación de propiedades físicas y biológicas, sobre todo en profundidad. Para Bravo (2023) que estudió a sistemas de uso similar con diferentes edades, registró la calidad del suelo varió entre marginal, sensible y buena, resultados atribuidos a factores como las labores agrícolas a las cuales se encuentran sometidas este cultivo agrícola.

Tabla 26. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.

Sistemas	Profundidad (cm)	Valor del SUSS	Rango del SUS	Calidad del suelo
Silvopastoril	0 a 10	0,73	0,65 < SUSS ≤ 0,78	Sensible
	10 a 40	0,59	0,45 < SUSS ≤ 0,65	Marginal
	0 a 40	0,66	0,65 < SUSS ≤ 0,78	Sensible
Forestal	0 a 10	0,75	0,65 < SUSS ≤ 0,78	Sensible
	10 a 40	0,63	0,45 < SUSS ≤ 0,65	Marginal
	0 a 40	0,69	0,65 < SUSS ≤ 0,78	Sensible
Agroforestal	0 a 10	0,62	0,45 < SUSS ≤ 0,65	Marginal
	10 a 40	0,49	0,45 < SUSS ≤ 0,65	Marginal
	0 a 40	0,55	0,45 < SUSS ≤ 0,65	Marginal

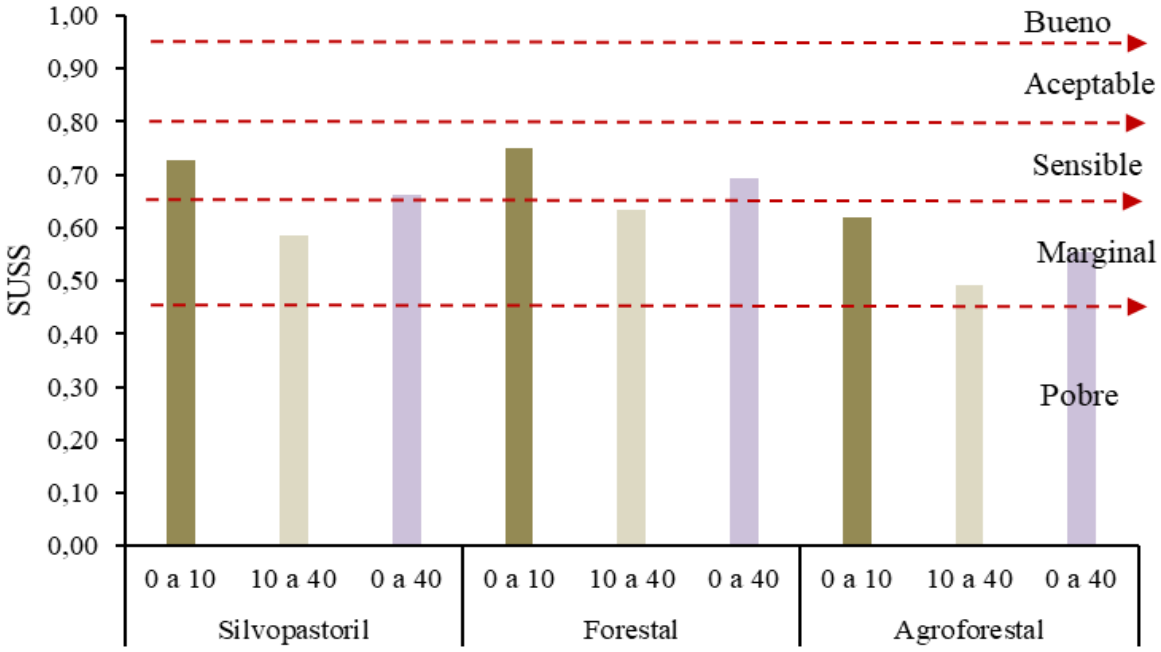


Figura 25. Calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.

Además, Vega (2024) encontró que el suelo de una parcela en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva fue clasificado de calidad marginal y entre uno de los indicadores de mayor influencia negativa se encontraba el pH, muy similar a lo ocurrido en el sistema agroforestal que el aporte del pH fue con un puntaje de cero al normalizar los datos.

4.3. Comparación de la calidad del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra

La comparación estadística de los valores del SUSS entre los tres sistemas de uso de la tierra evidencia diferencias significativas tanto por sistema como por profundidad, concordante con Gonzales (2025) que al muestrear en distintos puntos de una isla concluyó que la calidad de los suelos varía entre Marginal, Sensible y Aceptable, muy concordante a Guisado (2024) que encontró sistemas con calidad pobre y marginal, dependiendo del tipo de unidad analizada. En la capa superficial desde 0 a 10 cm, los sistemas silvopastoriles y forestal presentan valores estadísticamente superiores en comparación con el agroforestal (**Tabla 27**). Esto indica que, en los primeros dos sistemas, las condiciones edáficas superficiales son más favorables, posiblemente por la mayor acumulación de residuos orgánicos en el bosque y el aporte de biomasa en el pastizal, mientras que en el agroforestal el suelo presenta menor mejora a pesar de su mayor antigüedad.

En la sub-superficie comprendida entre los 10 a 40 cm, la diferencia es más marcada: el sistema forestal obtiene el mayor valor, seguido por el silvopastoril, mientras que el agroforestal alcanza el valor más bajo (**Tabla 27**). Estos resultados muestran que el sistema forestal, incluso con apenas tres años de establecimiento, ha logrado una recuperación más efectiva de las propiedades edáficas en profundidad, posiblemente debido al efecto de raíces más profundas y a la ausencia de perturbaciones como el pisoteo o la cosecha.

Tabla 27. Comparación de los Subíndice Sustentable del Suelo de los tres sistemas de uso de la tierra.

Sistemas	Profundidades (cm)					
	0 a 10	Sig.	10 a 40	Sig.	0 a 40	Sig.
Agroforestal	0,63	b	0,49	c	0,55	b
Silvopastoril	0,74	a	0,60	b	0,67	a
Forestal	0,78	a	0,66	a	0,72	a

Letras distintas demuestran significancias estadísticas.

Al integrar todo el perfil desde 0 hasta los 40 cm, los sistemas forestal y silvopastoril se mantienen estadísticamente superiores al agroforestal (**Tabla 27**). En síntesis, el análisis estadístico confirma que la calidad del suelo es significativamente mayor en los sistemas forestal y silvopastoril, mientras que el sistema agroforestal, pese a su potencial, requiere mejoras en el manejo para optimizar su aporte a la sostenibilidad del suelo; la razón de evaluar la calidad de los suelos radica en que se necesita conocer su capacidad que este posee para desempeñar adecuadamente sus funciones esenciales dentro de un ecosistema (Blas, 2023), pero es muy variable entre sistemas de uso de la tierra y también entre los mismos sistemas de uso como lo reportó Espinoza (2024) en plantaciones forestales con cuatro años de establecidos.

V. CONCLUSIONES

1. Los suelos del sistema forestal sobresalieron en mejores valores de los parámetros físicos químicos, siendo seguido por el suelo del sistema silvopastoril y en menor medida se encontraban los suelos del sistema agroforestal.
2. El sistema silvopastoril y forestal presentan una calidad "*sensible*" debido a que la CIC en ambos sistemas de manera ocasional se encuentran alejado del valor óptimo entre los 0 a 10 cm y varía a una calidad "*marginal*" entre los 10 a 40 cm donde la densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno y CIC se encuentran distantes del valor deseable; en el caso del sistema agroforestal presenta una calidad "*marginal*" en ambas profundidades analizadas, siendo el pH, densidad aparente, materia orgánica y nitrógeno distantes de los valores deseables.
3. El subíndice sustentable del suelo entre los 0 a 10 cm de profundidad es superior en los sistemas silvopastoril y forestal, mientras que es inferior en el sistema agroforestal; entre los 10 a 40 cm sobresale en el sistema forestal, seguido del silvopastoril y en menor medida el agroforestal. De manera general, el sistema silvopastoril y forestal poseen estadísticamente los mayores valores de calidad en comparación a los suelos del sistema agroforestal.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar replicas similares a la investigación en otros caseríos o provincias de la región Huánuco y la Amazonía peruana, para validar si los resultados sobre calidad del suelo son consistentes en distintos contextos edafoclimáticos y de manejo.
2. Implementar un sistema de seguimiento periódico (cada 2-3 años) aplicando el SUSS en predios que contengan sistemas de agroforestales, forestales y silvopastoriles demarcados de manera permanentes, con el fin de evaluar tendencias en la recuperación o degradación del suelo.
3. Realizar estudios de nivel relacional entre los resultados de la calidad del suelo con la productividad agrícola, forestal y ganadera, así como con los costos de manejo, para proponer prácticas que combinen sostenibilidad ecológica y viabilidad económica.
4. Elaborar planes de manejo que incluyan prácticas de conservación de suelos como el uso de abonos orgánicos, manejo de cobertura, especies fijadoras de nitrógeno, rotación de potreros en silvopastoriles, etc., con participación activa de los productores del caserío Río Negro.
5. Los propietarios de los sistemas de uso de la tierra para mejorar la calidad del suelo deben incrementar la materia orgánica mediante la aplicación de compost, estiércol y cobertura vegetal permanente; incorporar abonos verdes y biochar para aumentar la CIC y retención de nutrientes. Se debe corregir el pH con cal agrícola según análisis, y reducir la densidad aparente evitando el sobrepastoreo y promoviendo raíces profundas con leguminosas fijadoras y especies forestales nativas. Mantener la cobertura del suelo, evitar quemas y exceso de maquinaria, y fomentar la rotación de cultivos o pasturas. Estas prácticas mejorarían la fertilidad, estructura y sostenibilidad de los sistemas silvopastoril, forestal y agroforestal en la selva peruana.

VII. REFERENCIAS

Aquino, A., Alvarez, Ñ., y Rofner, F. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Tayacaja*, *3*(1).

Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. INIA.

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 institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/1999.

Blas, V. (2021). *Evaluación de la calidad de suelo mediante indicadores, según el tipo de uso en San Alejandro Irazola – Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/b97b7d97-54b8-4406-bb73-acc59f729b24

Bravo, V. G. (2023). *Calidad de suelo en tres sistemas con (Theobroma cacao L.) cacao de diferentes edades, distrito Daniel Alomia Robles – Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ae866ee2-b9b7-4cf8-ba02-9a903fd29588/content

Castillo, Y., Flota, C., Alcudia, J., Fraire, S., Rosales, V., y Quej, H. (2023). Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *14*(3), 413-424.

Chávez, P. (2023). *Influencia de sistemas de uso sobre las propiedades de los suelos en el distrito de Monzón* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2822.

Contreras, L., Martínez, J., Rodríguez, L., Barragán, W., Garrido, J., y Falla, K. (2023). Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana, 41*(1), 1-18.

Cruz-Roblero, G., Ramos-Hernández, S. G., y Palma-López, D. J. (2024). Evaluación de la calidad de suelo en municipios pertenecientes a la depresión central de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, *42*, e1730. https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1730

De La Cruz, K. (2019). *Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra sector Afilador-Tingo María* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2615.

Encarnación, E. (2022). *Efecto del manejo convencional de Erythroxylum coca en indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, en Padre Abad – Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bc5d93f5-06d9-4b0f-b846-1efefd9ea028/content

Espinoza, L. W. (2024). *Calidad del suelo en plantaciones forestales coetáneas, localizadas en los departamentos San Martín y Huánuco, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/36eabecb-8852-4c08-8136-6c6d67552d14

Fernández, E. B. J. (2024). *Propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/e94da8e5-b808-4e8f-b916-fbd46d2a83b5

Figueroa, L., Martínez, M., Ortiz, C., y Fernández, D. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana, 36*(3), 287-299.

Gonzales, A. R. (2025). *Calidad del suelo de la isla soto, distrito Pueblo Nuevo - Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d725aea9-fbec-46f0-8f2b-4c03c08b063f/content

Guisado, M. G. (2024). *Calidad del suelo de tres gradientes altitudinales con sistemas agroforestales de Coffea arabica (café) - Inga macrophylla (pacae) en Chontabamba, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/4f071e97-74bb-4ce4-a6a7-28d75b0c71ae

Hazelton, S., y Murphy, W. (2007). Estimation of absorbed photosynthetically active radiation and vegetation net production efficiency using satellite data. *Agricultural and forest meteorology, 1*, 1-276.

Holdridge, R. L. (2000). *Ecología basada en zonas de vida* (5ta reimpresión). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936

Huamán, H. (2021). *Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2034.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2001). *Manejo integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua*. Proyecto (Manual del extensionista) GCP /NIC /025 /NOR. INTA/ FAO. Gobierno de Nicaragua y Noruega. 130 pp.

León, B., Unda, B., y Batista, G. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, *3*(1), 182-190.

Martínez, S., Rodríguez, M., Díaz, L., Quintero, E., Gil, V., y Rodríguez, G. (2021). Respuesta fisiológica y productiva de cultivares comerciales de *Phaseolus vulgaris* en un suelo pardo mullido medianamente lavado. *Centro Agrícola*, 48(3), 14-24.

Ministerio de agricultura [MINAG]. (2011). *Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos*. Guía técnica de orientación al productor.

Morel, A., y Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *5*(1), 996-1006.

Oré, L. E., Huamán, Mendoza, J. H., Rengifo, J. P., Loarte, W. C., y Oré, J. D. (2022). Evaluación de la calidad de suelo en sistemas de uso: agroforestal, cultivos de coca y Bosque Secundario en el sector Cora Cora-Leoncio Prado, 2022. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, *1*(1), 24-32.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo*. http://www.fao.org/soilsportal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/.

Panaifo-Gómez, C., Ñique-Álvarez, M., y Lévano-Crisóstomo, J. (2021). Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, *3*(5), 9-24. https://doi.org/10.38186/difcie.35.02

Porras, V. (2017). *Tipos de muestreo*. Diplomado de análisis de Información Geoespacial. https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/163/1/19Tipos%20de%20Muestreo%20%20%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20G eoespacial.pdf.

Ramírez, S. (2013). *Estudio de indicadores de la calidad del suelo en áreas destinadas a la producción intensiva de gramíneas cespitosas*. http://biblioteca.ihatuey.cu/link/tesis/tesism/ wendyramirez.pdf

Rengifo, M., Trigozo, R., y Rojas, R. (2019). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en el sector Nueva Esperanza Supte Chico-distrito de Rupa Rupa. *RevIA, 9*(8), 20-30.

República del Perú Ministerio de Energía y Minas [MIEM]. (2000). https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones / GUIA%20HIDROCARBUROS%20XVII.pdf.

Reyes-Chávez, P. P., Cruz-Cárdenas, G., Pensado-Leglise, M. R., y Silva-García, T. (2024). Calidad de clases de tierras local en la Subcuenca Ganadera Chapala Porción Michoacán. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-11. e1788. https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1788

Rivera, C. (2023). *Evaluación de la calidad del suelo en sistemas de uso de la tierra en el distrito de Padre Abad, región Ucayali* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2340.

Ruz, N. (2018). *Manual de Práctica de la asignatura de edafología* (pp. 1–81). Instituto Tecnológico de Tizimín-Tecnología nacional de México. http://www.ittizimin.edu.mx/archivos/man-prac-agro/Manual-edafologia.pdf.

Sánchez, C. (2024). *Índices de calidad del suelo en sistemas integrales de producción en el caserío Peregrino, distrito Daniel Alomia Robles–Tingo María* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2687.

Sarmiento, G., Peña, J., y Medina, H. (2022). Impacto de tres sistemas de labranza en la fertilidad de un suelo entisol en zonas áridas. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, *38*(1), 104-113.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2012). *Subíndice de uso sustentable del suelo – Metodología de cálculo*. SMYE, http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2025). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Tingo María*. SENAMHI. https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones

Tello, H. (2023). *Distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de Coffea arabica (café) en el fundo "Domínguez"–Pueblo Libre-2021*[Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2658.

Toledo, M., Arzuaga, A., Galantini, A., y Vázquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia del suelo*, *36*(2), 01-12.

Vega, D. (2024). *Efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/d609064d-82b5-434c-ba44-7019e28280ee

Verastegui, A. J. (2024). *Distribución cartográfica de los indicadores fisicoquímicos que intervienen en la calidad del suelo de la isla Ventenjebe, distrito de Tocache – región San Martín 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/db902fc7-5b5a-4419-a1da-2eec96bc3a97

Anexos

Anexo A. Datos

Tabla 28. Valores normalizados de los indicadores de los suelos en los tres sistemas de uso.

Sistema	Muestra	Prof.	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
Silvopastoril	1	0 a 10	0,62	1,00	1,00	0,45	0,515	1,00	1,00	1,00	1,00	0,39
Silvopastoril	1	10 a 40	0,56	0,52	1,00	0,19	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25
Silvopastoril	2	0 a 10	0,92	0,49	1,00	0,27	0,24	0,71	0,81	1,00	1,00	
Silvopastoril	2	10 a 40	0,07	0,29	1,00	0,24	0,2	0,67	0,72	1,00	1,00	
Silvopastoril	3	0 a 10	0,28	1,00	1,00	0,64	0,791	1,00	1,00	1,00	1,00	0,22
Silvopastoril	3	10 a 40	0,57	0,54	1,00	0,35	0,357	1,00	0,65	1,00	1,00	0,00
Silvopastoril	4	0 a 10	1,00	0,92	1,00	0,35	0,357	1,00	1,00	1,00	1,00	0,38
Silvopastoril	4	10 a 40	0,61	0,82	1,00	0,23	0,18	0,57	1,00	1,00	1,00	0,34
Silvopastoril	5	0 a 10	1,00	0,57	1,00	0,53	0,633	1,00	0,81	1,00	1,00	0,01
Silvopastoril	5	10 a 40	0,00	1,00	1,00	0,28	0,258	1,00	0,66	1,00	1,00	0,00
Silvopastoril	6	0 a 10	1,00	1,00	1,00	0,55	0,653	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20
Silvopastoril	6	10 a 40	0,62	0,70	1,00	0,12	0,01	0,80	0,45	0,83	1,00	0,00
Silvopastoril	7	0 a 10	0,00	0,98	1,00	0,18	0,101	1,00	0,84	1,00	1,00	0,06
Silvopastoril	7	10 a 40	0,00	1,00	1,00	0,12	0,007	1,00	0,64	1,00	1,00	0,00
Silvopastoril	8	0 a 10	0,00	0,65	1,00	0,39	0,416	1,00	0,45	1,00	1,00	0,00
Silvopastoril	8	10 a 40	0,26	0,58	1,00	0,26	0,219	0,73	0,35	1,00	1,00	0,00
Silvopastoril	9	0 a 10	1,00	0,23	1,00	0,32	0,317	1,00	0,73	1,00	1,00	
Silvopastoril	9	10 a 40	0,00	0,10	1,00	0,17	0,09	1,00	0,42	1,00	1,00	
Silvopastoril	10	0 a 10	0,89	0,72	1,00	0,52	0,614	1,00	0,79	1,00	1,00	0,03
Silvopastoril	10	10 a 40	0,00	0,65	1,00	0,36	0,377	0,64	0,67	1,00	1,00	0,00
Forestal	1	0 a 10	1,11	1,00	0,95	0,61	0,75	0,99	1,00	1,00	1,00	0,53
Forestal	1	10 a 40	0,70	0,56	1,00	0,18	0,107	0,48	1,00	1,00	1,00	0,34
Forestal	2	0 a 10	0,68	0,43	1,00	0,37	0,394	0,96	0,83	1,00	1,00	
Forestal	2	10 a 40	0,23	0,00	1,00	0,28	0,26	0,35	0,74	1,00	1,00	
Forestal	3	0 a 10	1,00	1,00	1,00	0,58	0,71	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40
Forestal	3	10 a 40	1,00	0,62	1,00	0,30	0,279	0,62	1,00	1,00	1,00	0,31
Forestal	4	0 a 10	0,97	0,48	1,00	0,59	0,719	0,42	1,00	1,00	1,00	
Forestal	4	10 a 40	0,84	0,17	1,00	0,36	0,375	0,27	1,00	1,00	1,00	
Forestal	5	0 a 10	1,00	0,00	1,00	0,63	0,777	0,64	0,82	1,00	1,00	

Sistema	Muestra	Prof.	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
Forestal	5	10 a 40	0,81	0,00	1,00	0,32	0,317	0,54	0,77	1,00	1,00	
Forestal	6	0 a 10	0,88	0,26	1,00	0,41	0,451	0,58	1,00	1,00	1,00	
Forestal	6	10 a 40	0,78	0,22	1,00	0,28	0,26	0,40	1,00	1,00	1,00	
Forestal	7	0 a 10	0,85	0,84	1,00	0,61	0,753	0,71	1,00	1,00	1,00	0,20
Forestal	7	10 a 40	0,74	0,73	1,00	0,36	0,37	0,67	1,00	1,00	1,00	0,15
Forestal	8	0 a 10	0,86	0,40	1,00	0,27	0,241	0,38	1,00	1,00	1,00	
Forestal	8	10 a 40	0,87	0,31	1,00	0,23	0,183	0,35	1,00	1,00	1,00	
Forestal	9	0 a 10	0,44	1,00	1,00	0,39	0,413	1,00	0,87	1,00	1,00	0,10
Forestal	9	10 a 40	0,71	1,00	1,00	0,15	0,053	1,00	0,83	1,00	1,00	0,04
Forestal	10	0 a 10	0,86	0,47	1,00	0,45	0,509	0,57	1,00	1,00	1,00	
Forestal	10	10 a 40	0,70	0,42	1,00	0,30	0,279	0,55	1,00	1,00	1,00	
Agroforestal	1	0 a 10	0,38	0,00	1,00	0,31	0,298	1,00	0,50	1,00	1,00	
Agroforestal	1	10 a 40	0,32	0,00	1,00	0,16	0,069	0,85	0,30	1,00	1,00	
Agroforestal	2	0 a 10	0,46	0,00	1,00	0,50	0,585	1,00	0,35	0,83	1,00	
Agroforestal	2	10 a 40	0,42	0,00	1,00	0,13	0,03	0,89	0,29	0,64	1,00	
Agroforestal	3	0 a 10	0,81	0,16	1,00	0,40	0,432	0,61	1,00	1,00	1,00	
Agroforestal	3	10 a 40	0,03	0,05	1,00	0,21	0,145	0,55	1,00	1,00	1,00	
Agroforestal	4	0 a 10	0,64	0,61	1,00	0,35	0,356	0,70	1,00	1,00	1,00	0,68
Agroforestal	4	10 a 40	0,00	0,02	1,00	0,31	0,298	0,43	1,00	1,00	1,00	
Agroforestal	5	0 a 10	0,72	0,00	1,00	0,28	0,26	0,97	0,29	0,53	1,00	
Agroforestal	5	10 a 40	0,00	0,00	1,00	0,12	0,011	0,89	0,22	0,46	1,00	
Agroforestal	6	0 a 10	0,18	1,00	1,00	0,49	0,566	0,47	1,00	1,00	1,00	0,31
Agroforestal	6	10 a 40	0,00	0,00	1,00	0,26	0,222	0,39	0,51	1,00	1,00	
Agroforestal	7	0 a 10	0,00	0,00	1,00	0,32	0,317	0,71	0,24	0,94	1,00	
Agroforestal	7	10 a 40	0,00	0,00	1,00	0,23	0,183	0,65	0,19	0,49	1,00	
Agroforestal	8	0 a 10	0,67	0,63	1,00	0,44	0,49	0,59	1,00	1,00	1,00	0,44
Agroforestal	8	10 a 40	0,00	0,12	1,00	0,28	0,26	0,35	1,00	1,00	1,00	
Agroforestal	9	0 a 10	0,00	0,00	1,00	0,27	0,241	0,66	0,24	0,54	1,00	
Agroforestal	9	10 a 40	0,00	0,00	1,00	0,23	0,183	0,60	0,20	0,43	1,00	
Agroforestal	10	0 a 10	0,15	0,00	1,00	0,48	0,547	0,74	0,94	1,00	1,00	
Agroforestal	10	10 a 40	0,00	0,00	1,00	0,20	0,126	0,51	0,77	1,00	1,00	

Tabla 29. Promedios del valor de los parámetros normalizados en los tres sistemas de uso.

Sistemas	Profundidad (cm)	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
Silvopastoril	0 a 10	0,67	0,76	1,00	0,42	0,46	0,97	0,84	1,00	1,00	0,16
Silvopastoril	10 a 40	0,27	0,62	1,00	0,23	0,18	0,84	0,66	0,98	1,00	0,07
Silvopastoril	0 a 40	0,46	0,72	1,00	0,33	0,32	0,94	0,76	1,00	1,00	0,10
Forestal	0 a 10	0,87	0,59	0,99	0,49	0,57	0,72	0,95	1,00	1,00	0,31
Forestal	10 a 40	0,74	0,40	1,00	0,28	0,25	0,52	0,93	1,00	1,00	0,21
Forestal	0 a 40	0,81	0,50	1,00	0,38	0,41	0,62	0,94	1,00	1,00	0,26
Agroforestal	0 a 10	0,40	0,24	1,00	0,38	0,41	0,74	0,66	0,88	1,00	0,48
Agroforestal	10 a 40	0,08	0,02	1,00	0,21	0,15	0,61	0,55	0,80	1,00	
Agroforestal	0 a 40	0,19	0,14	1,00	0,30	0,28	0,69	0,62	0,84	1,00	0,48

Tabla 30. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 0 a 10 cm de profundidad.

N			30
Parámetros normales[b,c]	Media		0,7143
	Desv. Desviación		0,10321
Máximas diferencias extremas	Absoluta		0,159
	Positivo		0,101
	Negativo		-0,159
Estadístico de prueba			0,159
Sig. asin. (bilateral)[d]			0,050
Sig. Monte Carlo (bilateral)[e]	Sig.		0,051
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	0,045
		Límite superior	0,056

b. La distribución de prueba es normal.
c. Se calcula a partir de datos.
d. Corrección de significación de Lilliefors.
e. El método de Lilliefors basado en las muestras 10000 Monte Carlo con la semilla de inicio 2000000.

Tabla 31. ANVA para el subíndice Sustentable del Suelo entre 0 a 10 cm de profundidad en los sistemas de uso.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sistemas	0,121	2	0,060	8,654	0,001**
Error aleatorio	0,188	27	0,007		
Total	0,309	29			

**: Existen diferencias estadísticas significativas.

Tabla 32. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 10 a 40 cm de profundidad.

N			30
Parámetros normales[b,c]	Media		0,5821
	Desv. Desviación		0,08778
Máximas diferencias extremas	Absoluta		0,134
	Positivo		0,089
	Negativo		-0,134
Estadístico de prueba			0,134
Sig. asin. (bilateral)[d]			0,179
Sig. Monte Carlo (bilateral)[e]	Sig.		0,181
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	0,171
		Límite superior	0,191

b. La distribución de prueba es normal.
c. Se calcula a partir de datos.
d. Corrección de significación de Lilliefors.
e. El método de Lilliefors basado en las muestras 10000 Monte Carlo con la semilla de inicio 2000000.

Tabla 33. ANVA para el subíndice sustentable del suelo entre 10 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso.

Fuente de variación	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media cuadrática**	**F**	**Sig.**
Sistemas	0,144	2	0,072	24,282	<0,001**
Error aleatorio	0,080	27	0,003		
Total	0,223	29			

**: Existen diferencias estadísticas significativas.

Tabla 34. Prueba de normalidad para los datos del subíndice sustentable del suelo entre 0 a 40 cm de profundidad.

N			30
Parámetros normales[b,c]	Media		0,6481
	Desv. Desviación		0,09534
Máximas diferencias extremas	Absoluta		0,126
	Positivo		0,063
	Negativo		-0,126
Estadístico de prueba			0,126
Sig. asin. (bilateral)[d]			,200[e]
Sig. Monte Carlo (bilateral)[f]	Sig.		0,260
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	0,249
		Límite superior	0,271

b. La distribución de prueba es normal. c. Se calcula a partir de datos.
d. Corrección de significación de Lilliefors.
e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
f. El método de Lilliefors basado en las muestras 10000 Monte Carlo con la semilla de inicio 2000000.

Tabla 35. ANVA para el subíndice sustentable del suelo entre 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sistemas	0,151	2	0,075	18,040	<0,001**
Error aleatorio	0,113	27	0,004		
Total	0,264	29			

**: Existen diferencias estadísticas significativas.

Anexo B. Fotografías

Figura 26. Apertura de calicata en el sistema forestal.

Figura 27. Obtención de muestras de suelos en el cilindro del sistema forestal.

Figura 28. Profundidad de la calicata en el sistema agroforestal.

Figura 29. Muestras de suelos obtenidos con sus respectivos rótulos.

Figura 30. Panel informativo sobre la tesis.

Figura 31. Visita por parte del presidente del jurado calificador.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:	JUSTO RODRIGUEZ PIERO JULIAN	FECHA DE REPORTE:	11/06/2025
PROCEDENCIA:	CASERIO RIO NEGRO - DISTRITO DE LUYANDO - PROVINCIA DE LEONCIO PRADO - REGION HUANUCO	RECIBO N°	76681
REFERENCIA:	SISTEMA DE USO AGROFORESTAL SA - 399861E - 8972139N - 720 msnm	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS			ANALISIS FISICO							ANALISIS QUIMICO														
				Humedad	Densidad Aparente	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	pH	Materia Orgánica	N	P	K_2O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Base Cambiable	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
												M.O.	total	disponible			Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno				
	CODIGO DEL LABORATORIO	DATOS DEL SOLICITANTE		°H	Da	Ao	Arc	Lo		dS/m							CAMBIABLES Cmol(+)/kg									
				%	g/cm³	%	%	%		1:1	1:1	%	%	ppm	ppm									%	%	%
1	S25-0494-1	SA-Pm1	0 -10 cm	25.60	1.33	23	32	45	Franco Arcillo Limoso	0.34	4.63	1.89	0.095	6.334	118.705	----	2.500	0.531	0.296	0.199	0.36	0.38	4.26	82.66	17.34	8.37
2	S25-0494-2	SA-Pm1	10 - 40 cm	24.30	1.35	23	40	37	Arcilloso	0.02	4.59	1.21	0.060	4.668	110.269	----	1.480	0.314	0.265	0.148	0.86	0.12	3.18	69.31	30.69	26.96
3	S25-0494-3	SA-Pm2	0 -10 cm	26.86	1.30	27	28	45	Franco Arcillo Limoso	0.07	4.34	2.76	0.138	7.079	139.795	----	1.772	0.250	0.353	0.171	1.11	0.47	4.12	61.82	38.18	26.83
4	S25-0494-4	SA-Pm2	10 - 40 cm	28.61	1.32	17	52	31	Arcilloso	0.02	4.30	1.09	0.055	4.887	131.359	----	1.464	0.191	0.301	0.142	1.23	0.42	3.75	56.00	44.00	32.89
5	S25-0494-5	SA-Pm3	0 -10 cm	123.67	1.17	29	28	43	Franco Arcillo Limoso	0.06	5.16	2.30	0.115	3.352	140.397	----	5.906	1.228	0.393	0.124	0.35	0.17	8.17	93.65	6.35	4.27
6	S25-0494-6	SA-Pm3	10 - 40 cm	25.64	1.46	15	46	39	Arcilloso	0.03	5.05	1.44	0.072	3.045	113.282	----	5.202	0.793	0.325	0.122	0.43	0.22	7.10	90.78	9.22	6.11
7	S25-0494-7	SA-Pm4	0 -10 cm	31.84	1.23	23	28	49	Franco Arcillo Limoso	0.05	5.61	2.07	0.103	3.834	116.897	11.841	9.738	1.615	0.354	0.134	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
8	S25-0494-8	SA-Pm4	10 - 40 cm	24.68	1.61	15	46	39	Arcilloso	0.02	5.02	1.89	0.095	2.344	105.449	----	6.895	0.668	0.290	0.126	0.27	0.20	8.45	94.46	5.54	3.22
9	S25-0494-9	SA-Pm5	0 -10 cm	32.33	1.20	43	14	43	Franco	0.08	4.29	1.78	0.089	5.325	134.974	----	1.425	0.159	0.313	0.161	0.88	0.09	3.03	67.98	32.02	28.93
10	S25-0494-10	SA-Pm5	10 - 40 cm	25.44	1.53	21	30	49	Franco Arcillo Limoso	0.02	4.30	1.03	0.052	4.917	114.487	----	1.113	0.139	0.285	0.136	0.85	0.21	2.74	61.16	38.84	31.07
11	S25-0494-11	SA-Pm6	0 -10 cm	30.07	1.40	31	20	49	Franco	0.06	6.19	2.70	0.135	2.563	126.538	8.101	6.874	0.733	0.324	0.171	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
12	S25-0494-12	SA-Pm6	10 - 40 cm	23.72	1.57	23	32	45	Franco Arcillo Limoso	0.02	4.94	1.66	0.083	2.168	112.679	----	2.535	0.318	0.294	0.139	0.43	0.12	3.84	85.60	14.40	11.18
13	S25-0494-13	SA-Pm7	0 -10 cm	24.95	1.50	31	20	49	Franco	0.05	4.22	1.95	0.098	3.878	130.154	----	1.186	0.281	0.325	0.211	0.89	0.05	2.95	67.98	32.02	30.29
14	S25-0494-14	SA-Pm7	10 - 40 cm	22.58	1.62	23	28	49	Franco Arcillo Limoso	0.02	4.36	1.55	0.078	3.571	122.923	----	0.940	0.147	0.303	0.150	1.32	0.17	3.03	50.87	49.13	43.51
15	S25-0494-15	SA-Pm8	0 -10 cm	27.96	1.22	35	18	47	Franco	0.09	5.63	2.47	0.123	3.264	180.167	9.402	7.109	1.636	0.413	0.245	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
16	S25-0494-16	SA-Pm8	10 - 40 cm	22.46	1.52	21	34	45	Franco Arcillo Limoso	0.05	5.12	1.78	0.089	1.905	144.013	----	5.229	1.259	0.399	0.181	0.25	0.14	7.45	94.87	5.13	3.31
17	S25-0494-17	SA-Pm9	0 -10 cm	19.02	1.58	31	20	49	Franco	0.03	4.35	1.72	0.086	3.615	178.962	----	1.176	0.161	0.413	0.153	1.13	0.20	3.24	58.78	41.22	34.92
18	S25-0494-18	SA-Pm9	10 - 40 cm	17.77	1.67	21	30	49	Franco Arcillo Limoso	0.01	4.53	1.55	0.078	3.308	130.154	----	0.978	0.130	0.357	0.107	0.89	0.25	2.72	57.85	42.15	32.86
19	S25-0494-19	SA-Pm10	0 -10 cm	27.58	1.42	35	16	49	Franco	0.13	4.84	2.64	0.132	4.054	166.910	----	4.710	0.558	0.403	0.137	0.76	0.25	6.82	85.20	14.80	11.10
20	S25-0494-20	SA-Pm10	10 - 40 cm	23.35	1.58	17	36	47	Franco Arcillo Limoso	0.03	4.74	1.38	0.069	2.826	150.038	----	3.848	0.460	0.363	0.100	1.05	0.10	5.93	80.49	19.51	17.78

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Laboratorio de Análisis de Suelos
Tingo Maria

Figura 32. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema agroforestal.

ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:	JUSTO RODRIGUEZ PIERO JULIAN	FECHA DE REPORTE:	11/06/2025
PROCEDENCIA:	CASERIO RIO NEGRO - DISTRITO DE LUYANDO - PROVINCIA DE LEONCIO PRADO - REGION HUANUCO	RECIBO N°	76681
REFERENCIA:	SISTEMA DE USO FORESTAL SF - 399552E - 8972283N - 864 msnm	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS			ANALISIS FISICO						CE	ANALISIS QUIMICO															
				Humedad	Densidad Aparente	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural		pH	Materia Orgánica	N	P	K_2O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Base Cambiable	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
				°H	Da	Ao	Arc	Lo		dS/m		M.O.	total	disponible			Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno				
	CODIGO DEL LABORATORIO	DATOS DEL SOLICITANTE		%	g/cm³	%	%	%		1:1	1:1	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+)/kg							%	%	%
1	S25-0493-1	SF-Pm1	0 - 10 cm	38.73	1.06	61	8	31	Franco Arenoso	1.17	6.20	3.25	0.163	5.457	242.833	10.293	8.084	1.448	0.613	0.149	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
2	S25-0493-2	SF-Pm1	10 - 40 cm	27.19	1.21	23	38	39	Franco Arcilloso	0.50	5.56	1.32	0.066	2.650	195.231	8.424	6.805	1.047	0.453	0.119	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
3	S25-0493-3	SF-Pm2	0 - 10 cm	37.41	1.22	37	16	47	Franco	0.91	5.43	2.18	0.109	5.281	375.397	----	4.173	1.089	0.896	0.147	0.07	0.03	6.41	98.41	1.59	1.06
4	S25-0493-4	SF-Pm2	10 - 40 cm	29.49	1.39	23	38	39	Franco Arcilloso	0.62	4.86	1.78	0.089	1.949	265.731	----	3.705	0.749	0.745	0.112	0.43	0.11	5.86	90.71	9.29	7.40
5	S25-0493-5	SF-Pm3	0 - 10 cm	42.93	1.04	57	16	27	Franco Arenoso	0.79	6.00	3.13	0.157	5.544	266.936	8.991	7.003	1.058	0.686	0.244	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
6	S25-0493-6	SF-Pm3	10 - 40 cm	34.17	1.09	25	38	37	Franco Arcilloso	0.87	5.62	1.84	0.092	3.396	218.731	8.145	6.502	0.926	0.542	0.176	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
7	S25-0493-7	SF-Pm4	0 - 10 cm	38.96	1.11	53	18	29	Franco Arenoso	0.89	5.48	3.16	0.158	2.300	199.449	----	6.234	0.821	0.503	0.320	0.14	0.04	8.06	97.78	2.22	1.69
8	S25-0493-8	SF-Pm4	10 - 40 cm	32.13	1.16	37	34	29	Franco Arcilloso	0.86	5.17	2.12	0.106	1.510	183.782	----	5.815	0.677	0.455	0.260	0.35	0.20	7.76	92.88	7.12	4.49
9	S25-0493-9	SF-Pm5	0 - 10 cm	35.94	1.08	43	14	43	Franco	1.00	4.96	3.33	0.166	3.527	275.974	----	4.111	0.585	0.675	0.161	1.16	0.42	7.10	77.87	22.13	16.27
10	S25-0493-10	SF-Pm5	10 - 40 cm	30.25	1.17	23	38	39	Franco Arcilloso	0.56	4.93	1.95	0.098	2.957	224.756	----	3.840	0.463	0.552	0.130	1.21	0.44	6.63	75.14	24.86	18.20
11	S25-0493-11	SF-Pm6	0 - 10 cm	33.56	1.14	37	20	43	Franco	0.07	5.26	2.35	0.118	3.177	215.718	----	5.620	0.977	0.625	0.160	0.25	0.21	7.84	94.15	5.85	3.14
12	S25-0493-12	SF-Pm6	10 - 40 cm	29.65	1.18	23	38	39	Franco Arcilloso	0.06	5.22	1.78	0.089	2.212	144.615	----	5.398	0.864	0.486	0.105	0.20	0.12	7.18	95.50	4.50	2.84
13	S25-0493-13	SF-Pm7	0 -10 cm	38.63	1.16	29	26	45	Franco	0.11	5.84	3.26	0.163	3.878	197.641	6.982	5.400	0.971	0.452	0.160	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
14	S25-0493-14	SF-Pm7	10 - 40 cm	33.63	1.20	37	28	35	Franco Arcilloso	0.12	5.73	2.11	0.106	3.659	183.179	6.452	5.074	0.899	0.359	0.120	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
15	S25-0493-15	SF-Pm8	0 -10 cm	38.62	1.15	41	16	43	Franco	0.14	5.40	1.72	0.086	2.080	219.936	----	6.377	1.075	0.514	0.181	0.05	0.03	8.23	98.97	1.03	0.64
16	S25-0493-16	SF-Pm8	10 - 40 cm	36.84	1.15	27	34	39	Franco Arcilloso	0.28	5.31	1.55	0.078	1.949	180.167	----	5.880	0.731	0.426	0.165	0.23	0.07	7.50	96.03	3.97	3.06
17	S25-0493-17	SF-Pm9	0 -10 cm	26.14	1.31	39	20	41	Franco	0.10	6.27	2.24	0.112	20.409	295.256	5.972	4.353	0.778	0.635	0.205	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
18	S25-0493-18	SF-Pm9	10 - 40 cm	24.27	1.21	23	38	39	Franco Arcilloso	0.12	6.21	1.16	0.058	13.656	250.667	5.443	4.136	0.524	0.587	0.197	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
19	S25-0493-19	SF-Pm10	0 -10 cm	40.39	1.15	53	12	35	Franco Arenoso	0.11	5.47	2.53	0.126	3.133	257.295	----	6.280	1.363	0.623	0.243	0.64	0.20	9.34	91.08	8.92	6.82
20	S25-0493-20	SF-Pm10	10 - 40 cm	33.63	1.21	27	34	39	Franco Arcilloso	0.10	5.42	1.84	0.092	3.045	202.462	----	5.281	0.935	0.513	0.239	0.33	0.13	7.43	93.82	6.18	4.46

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Laboratorio de Análisis de Suelos
Tingo María

Figura 33. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema forestal.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:	JUSTO RODRIGUEZ PIERO JULIAN	FECHA DE REPORTE:	11/06/2025
PROCEDENCIA:	CASERIO RIO NEGRO - DISTRITO DE LUYANDO - PROVINCIA DE LEONCIO PRADO - REGION HUANUCO	RECIBO N°	76681
REFERENCIA:	SISTEMA DE USO SILVOPASTORIL SP - 399835E - 8972312N - 718 msnm	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS			ANALISIS FISICO							ANALISIS QUIMICO																
				Humedad	Densidad Aparente	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	pH	Materia Orgánica	N	P	K_2O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Base Cambiable	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
				°H	Da	Ao	Arc	Lo		dS/m		M.O.	total	disponible			Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno				
	CODIGO DEL LABORATORIO	DATOS DEL SOLICITANTE		%	g/cm³	%	%	%		1:1	1:1	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+)/kg							%	%	%
1	S25-0492-1	SP-Pm1	0 - 10 cm	25.56	1.24	37	16	47	Franco	0.11	6.02	2.54	0.127	20.804	227.468	8.914	6.853	1.330	0.574	0.157	0.00	0.00	--	100	0	0
2	S25-0492-2	SP-Pm1	10 - 40 cm	21.89	1.26	21	30	49	Franco Arcillo Limoso	0.05	5.52	1.36	0.068	9.885	185.288	7.540	5.994	0.939	0.456	0.151	0.00	0.00	--	100	0	0
3	S25-0492-3	SP-Pm2	0 - 10 cm	33.56	1.13	31	22	47	Franco	0.03	5.49	1.72	0.086	3.922	162.692	---	4.040	0.744	0.413	0.137	0.02	0.05	5.40	98.74	1.26	0.31
4	S25-0492-4	SP-Pm2	10 - 40 cm	23.88	1.44	19	34	47	Franco Arcillo Limoso	0.03	5.29	1.60	0.080	3.659	122.321	---	3.617	0.474	0.356	0.229	0.12	0.09	4.89	95.65	4.35	2.43
5	S25-0492-5	SP-Pm3	0 - 10 cm	26.15	1.37	41	18	41	Franco	0.08	6.19	3.37	0.169	15.673	170.827	7.242	5.766	0.853	0.422	0.202	0.00	0.00	--	100	0	0
6	S25-0492-6	SP-Pm3	10 - 40 cm	16.02	1.26	21	36	43	Franco Arcillo Limoso	0.03	5.54	2.07	0.104	6.378	131.660	4.249	3.233	0.495	0.325	0.195	0.00	0.00	--	100	0	0
7	S25-0492-7	SP-Pm4	0 - 10 cm	37.55	1.04	49	12	39	Franco	0.08	5.92	2.07	0.104	6.597	168.718	8.837	7.174	0.992	0.442	0.229	0.00	0.00	--	100	0	0
8	S25-0492-8	SP-Pm4	10 - 40 cm	19.57	1.24	17	38	45	Franco Arcillo Limoso	0.04	5.82	1.54	0.077	3.133	119.910	8.408	7.016	0.864	0.300	0.228	0.00	0.00	--	100	0	0
9	S25-0492-9	SP-Pm5	0 - 10 cm	48.68	1.08	41	12	47	Franco	0.04	5.57	2.90	0.145	16.857	118.103	5.104	4.063	0.564	0.285	0.192	0.00	0.00	--	100	0	0
10	S25-0492-10	SP-Pm5	10 - 40 cm	22.33	1.53	23	34	43	Franco Arcillo Limoso	0.03	6.30	1.78	0.089	6.334	100.628	4.202	3.317	0.375	0.246	0.265	0.00	0.00	--	100	0	0
11	S25-0492-11	SP-Pm6	0 -10 cm	41.92	1.10	49	16	35	Franco	0.08	6.20	2.96	0.148	16.638	260.308	7.005	5.175	0.940	0.645	0.245	0.00	0.00	--	100	0	0
12	S25-0492-12	SP-Pm6	10 - 40 cm	19.36	1.24	35	24	41	Franco	0.04	5.70	1.03	0.052	4.404	121.115	3.091	2.263	0.250	0.315	0.263	0.00	0.00	--	100	0	0
13	S25-0492-13	SP-Pm7	0 -10 cm	40.22	1.47	27	26	47	Franco	0.04	5.98	1.30	0.065	16.068	172.333	5.601	4.180	0.694	0.457	0.270	0.00	0.00	--	100	0	0
14	S25-0492-14	SP-Pm7	10 - 40 cm	17.41	1.48	23	32	45	Franco Arcillo Limoso	0.01	6.09	1.02	0.051	10.938	153.051	4.278	3.192	0.466	0.395	0.225	0.00	0.00	--	100	0	0
15	S25-0492-15	SP-Pm8	0 -10 cm	29.67	1.48	37	14	49	Franco	0.04	5.65	2.25	0.112	6.158	88.577	3.100	2.247	0.429	0.247	0.176	0.00	0.00	--	100	0	0
16	S25-0492-16	SP-Pm8	10 - 40 cm	23.82	1.37	27	26	47	Franco	0.01	5.58	1.66	0.083	4.010	80.744	2.571	1.761	0.394	0.211	0.205	0.00	0.00	--	100	0	0
17	S25-0492-17	SP-Pm9	0 -10 cm	44.92	1.07	49	10	41	Franco	0.08	5.23	1.95	0.098	15.498	114.487	---	3.654	0.445	0.297	0.198	0.30	0.20	5.09	90.31	9.69	5.85
18	S25-0492-18	SP-Pm9	10 - 40 cm	25.87	1.52	25	28	47	Franco Arcillo Limoso	0.02	5.10	1.27	0.064	11.771	100.026	---	2.077	0.302	0.244	0.178	0.28	0.24	3.32	84.38	15.62	8.45
19	S25-0492-19	SP-Pm10	0 -10 cm	36.08	1.14	49	12	39	Franco	0.07	5.72	2.84	0.142	6.553	112.679	5.342	3.954	0.913	0.299	0.177	0.00	0.00	--	100	0	0
20	S25-0492-20	SP-Pm10	10 - 40 cm	16.20	1.56	19	28	53	Franco Arcillo Limoso	0.02	5.65	2.13	0.107	3.527	104.244	4.195	3.374	0.362	0.254	0.205	0.00	0.00	--	100	0	0

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Laboratorio de Análisis de Suelos
Tingo María

Figura 34. Resultados del análisis de suelos correspondientes al sistema pastoril.