UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL

Análisis del suelo en el bosque restaurado del jardín botánico 'Biokuka' y el impacto del cambio de uso de un suelo ganadero continuo, Ucayali, 2025

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

JOSE RODOLFO, FARFAN DREYFUS

Pucallpa, Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°016/2026-CGyT-FCFyA-UNU

En la Ciudad de Pucallpa, siendo las 11:30 am del día 02 de octubre de 2026, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, designados con Memo Mult. N.º 032-2026-UNU-FCsFyA-CGT, conformado por los siguientes Docentes:

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Presidente
Dr. Víctor Augusto Araujo Abanto	Miembro
Dr. Roly Baldoceda Astete	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis denominada: **"ANÁLISIS DEL SUELO EN EL BOSQUE RESTAURADO DEL JARDÍN BOTÁNICO 'BIOKUKA' Y EL IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE UN SUELO GANADERO CONTINUO, UCAYALI, 2025"**, presentado por el bachiller **FARFAN DREYFUS, JOSE RODOLFO**, asesorado por el Dr. Cesar Mori Montero, finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia la tesis fue aprobada por **UNANIMIDAD**, quedando por levantar las observaciones para proseguir su trámite para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**. Siendo las 12:40 pm del mismo día se da por culminado el acto académico, firmando los presentes en señal de conformidad.

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz
Presidente

Dr. Víctor Augusto Araujo Abanto
Miembro

Dr. Roly Baldoceda Astete
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

Esta tesis fue sometida para su aprobación ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

DR. FERNANDO VELASQUEZ DE LA CRUZ

PRESIDENTE

DR. VICTOR AUGUSTO ARAUJO ABANTO

PRIMER MIEMBRO

DR. ROLY BALDOCEDA ASTETE

SEGUNDO MIEMBRO

DR. CESAR MORI MONTERO

ASESOR

Bach. JOSE RODOLFO FARFAN DREYFUS

TESISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº V/248-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"ANÁLISIS DEL SUELO EN EL BOSQUE RESTAURADO DEL JARDÍN BOTÁNICO 'BIOKUKA' Y EL IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE UN SUELO GANADERO CONTINUO, UCAYALI, 2025"

Autor(es)	:	**FARFAN DREYFUS, JOSE RODOLFO**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. MORI MONTERO, CESAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 8%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,
De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud**, procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.
En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 16/04/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, José Rodolfo Farfán Dreyfus

Autor de la tesis titulada: Analisis del Suelo en el Bosque Restaurado del Jardín Botanico "Bio Kuka" y el Impacto del Cambio de uso de un Suelo Ganadero continuo Ucayali, 2025

Sustentada el año: 2026

Asesor(a): Dr. Cesar Mori Montero

Facultad: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: de Ingeniería Forestal

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 02 / 10 / 2026

Email: jorlodrey@gmail.com Firma:

Teléfono: 961080912 DNI: 72744977

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico:

A mis amados padres, Elizabeth Dreyfus de Farfán y Rodolfo Isidro Farfán Alayo, por ser los pilares fundamentales de mi vida y mi mayor fortaleza, quienes confiaron y me enseñaron a no rendirme en este largo camino universitario incluso en los momentos más difíciles.

A mi hermano, Pedro Rodolfo Farfán Dreyfus, por su apoyo constante, por creer en mí; también a mis queridos amigos, por ser mi alegría y motivación para conseguir este logro.

Y a Dios, por guiar mis pasos, darme salud y la fortaleza necesaria para hacer de este sueño hoy una realidad.

AGRADECIMIENTOS

Muestro mis más sinceros agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Ucayali, por formarme como profesional, gracias a su destacada plana y excelentes docentes comprometidos con la formación de profesionales competentes para el mundo laboral.

A mi asesor, el Dr. Cesar Mori Montero, por la confianza depositada en mí y por su constante apoyo y consejos durante la elaboración de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA……**……vi**

AGRADECIMIENTOS**……vii**

ÍNDICE GENERAL**……viii**

ÍNDICE DE TABLAS**……xi**

ÍNDICE DE FIGURAS……**……xii**

ABSTRACT**……xiv**

INTRODUCCIÓN**……..……..xv**

CAPÍTULO I…**……17**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**……..17**

1.1. Descripcion del problema..... 17

1.2. Formulacion del Problema…..**……..……18**

1.2.1. Problema General 18

1.2.2. Problemas Específicos 18

1.3. Objetivos……..……16

1.3.1. Objetivo General..... 19

1.3.2. Objetivos Específicos 19

CAPÍTULO II**……..……20**

MARCO
TEÓRICO**……..……20**

2.1. Antecedentes 20

2.1.1. Antecedentes Internacionales 20

2.1.2. Antecedentes Nacionales..... 25

2.1.3. Antecedentes locales 28

2.2. Bases Teóricas..... 29

2.2.1. Suelo..... 29

2.2.2. Bosque secundario..... 29

2.2.3. Degradación del suelo..... 29

2.2.4. Características químicas del suelo..... 30

2.2.5. Bosque degradado..... 30

2.3. Definición de Términos Básicos..... 31

CAPÍTULO III**.....32**

METODOLOGÍA**.....32**

3.1. Método de Investigación..... 32

3.1.1. Tipo de Investigación..... 32

3.1.2. Nivel de Investigación..... 32

3.1.3. Diseño de la Investigación..... 32

3.2. Población y muestra..... 33

3.2.1. Población..... 33

3.2.2. Muestra..... 33

3.2.3. Ubicación del Estudio..... 34

3.3. Procedimientos de recolección de datos..... 35

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos..... 35

3.5. Procesamiento para recolección de datos..... 39

3.6. Tratamiento de datos..... 40

CAPÍTULO IV **.....42**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN **.....42**

4.1. Resultados.....4**0**

4.2 DISCUSIÓN 57

CAPITULO V **……60**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **……60**

5.1. Conclusiones **……60**

5.2 Recomendaciones **……62**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **……63**

ANEXO **……68**

Anexo 01. Matriz de Consistencia **……69**

Anexo 02. Panel fotográfico **……71**

Anexo 03. Análisis de laboratorio **……75**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de análisis de laboratorio 38

Tabla 2 Formato de recolección de datos 39

Tabla 3 Datos crudos por muestra 42

Tabla 4 Composición textural del suelo (%) 43

Tabla 5 Resultados de la prueba t para los componentes texturales del suelo 44

Tabla 6 Composición química (pH, acidez, Al y MO 46

Tabla 7 Resultados de la prueba t para composición química (pH, acidez, Al y MO) del suelo 48

Tabla 8 Contenido de materia orgánica media (%) 49

Tabla 9 Correlaciones clave (para mayor profundidad 50

Tabla 10 Nutrientes principales de Zona Ganadera y Bosque Restaurado 50

Tabla 11 Tabla 1. Resultados de la prueba t para Nutrientes en Zona Ganadera y Bosque Restaurado 52

Tabla 12 Fertilidad (CICe y saturación Al+H) de la Zona Ganadera y Bosque Restaurado 53

Tabla 13 Resultados de la prueba t para Fertilidad (CICe y saturación Al+H) 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del Jardín Botánico Biokuka y el Fundo Rocío 34
Figura 2 Horizontes del suelo 37
Figura 3 Comparación de la composición textural del suelo 45
Figura 4 pH, acidez y Al intercambiable media por zona 49
Figura 5 Contenido de Materia Orgánica de Zona Ganadera y Bosque Restaurado 49
Figura 6 Nutrientes principales media (Ca, Mg, P) de Zona Ganadera y Bosque Restaurado 51
Figura 7 CICe y saturación Al+H media 53
Figura 8 Llevando los materiales para sacar las muestras del suelo en el bosque restaurado Biokuka 71
Figura 9 Realizando la calicata para sacar las muestras correspondientes 71
Figura 10 Reservando la muestra en una bolsa con su respectiva etiqueta 72
Figura 11 Muestras de suelo de los 3 puntos distintos en el bosque restaurado Biokuka 72
Figura 12 Fundo ganadero 73
Figura 13 Suelo de uso ganadero continuo 73
Figura 14 de suelo de los 3 puntos distintos en un fundo ganadero 74
Figura 15 Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares del INIA donde se analizaron las muestras del bosque restaurado Biokuka y del fundo ganadero 74
Figura 16 Resultados de las muestras de suelo de la zona ganadera del fundo Rocio y del Jardín Botánico BIOKUKA realizadas en el laboratorio del INIA Km 44 CFB .. 75

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo comparar la estructura y composición del suelo en un bosque restaurado del Jardín Botánico “Biokuka” y un suelo de uso ganadero continuo en Ucayali, 2026. La investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo–comparativo y diseño no experimental. Se evaluaron seis muestras de suelo (tres por cada zona), considerando textura, pH, acidez intercambiable, aluminio, materia orgánica y nutrientes (Ca, Mg, K, Na y P). Los resultados evidenciaron que la textura del suelo no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), predominando clases franco y franco arcillosas en ambas zonas, con contenidos de arena entre 32.72 % y 42.72 %, arcilla entre 15.42 % y 31.42 % y limo entre 33.86 % y 41.86 %. El bosque restaurado mostró un contenido de limo ligeramente superior (hasta 41.86 %), favoreciendo la retención de agua y nutrientes. En la composición química tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). La zona ganadera presentó pH entre 3.9 y 4.3, acidez intercambiable de hasta 3.90 cmol(+)/kg y aluminio intercambiable de hasta 2.40 cmol(+)/kg. El bosque restaurado mostró tendencias más favorables, con pH de hasta 6.1, menor acidez y menor toxicidad por aluminio. La materia orgánica fue similar en ambas zonas (promedio 2.30 %–2.35 %), aunque más estable en el bosque restaurado (2.70 %–2.80 %). Respecto a los nutrientes, se observó alta variabilidad sin diferencias significativas. Destacó mayor disponibilidad de magnesio en el bosque restaurado (hasta 2.32 cmol(+)/kg), mientras el potasio se mantuvo bajo en ambos sistemas (<0.1–0.32 cmol(+)/kg). La CICe y la saturación de aluminio también evidenciaron alta variabilidad, con condiciones más limitantes en algunas muestras ganaderas. Se concluye que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambas zonas. No obstante, las tendencias observadas sugieren que la restauración forestal favorece una recuperación progresiva del suelo, principalmente en las propiedades químicas, mientras el uso ganadero continuo mantiene condiciones más limitantes.

Palabras claves: Suelo, restauración forestal, uso ganadero, fertilidad del suelo, materia orgánica, bosque restaurado.

ABSTRACT

This thesis aimed to compare the soil structure and composition of a restored forest in the “Biokuka” Botanical Garden and a continuous livestock grazing soil in Ucayali, Peru, in 2026. The research employed a quantitative approach, a descriptive-comparative level, and a non-experimental design. Six soil samples (three from each zone) were evaluated, considering texture, pH, exchangeable acidity, aluminum, organic matter, and nutrients (Ca, Mg, K, Na, and P). The results showed no significant differences in soil texture ($p > 0.05$), with loam and clay loam classes predominating in both areas. Sand content ranged from 32.72% to 42.72%, clay from 15.42% to 31.42%, and silt from 33.86% to 41.86%. The restored forest exhibited a slightly higher silt content (up to 41.86%), which favors water and nutrient retention. Regarding chemical composition, no statistically significant differences were found ($p > 0.05$). The livestock area showed pH values between 3.9 and 4.3, exchangeable acidity up to 3.90 cmol(+)/kg, and exchangeable aluminum up to 2.40 cmol(+)/kg. The restored forest presented more favorable trends, with pH values up to 6.1, lower acidity, and lower aluminum toxicity. Organic matter was similar in both zones (average 2.30%–2.35%), although more stable in the restored forest (2.70%–2.80%). Nutrients showed high variability without significant differences. Greater magnesium availability was observed in the restored forest (up to 2.32 cmol(+)/kg), while potassium remained low in both systems (<0.1–0.32 cmol(+)/kg). Effective cation exchange capacity (CECe) and aluminum saturation also showed high variability, with more limiting conditions in some livestock samples. It is concluded that no statistically significant differences existed between the two zones. However, the observed trends suggest that forest restoration favors progressive soil recovery, mainly in chemical properties, while continuous livestock use maintains more limiting conditions.

Keywords: Soil, forest restoration, livestock use, soil fertility, organic matter, restored forest.

INTRODUCCIÓN

El suelo fue reconocido como uno de los componentes fundamentales de los ecosistemas terrestres, debido a su papel en la provisión de servicios ambientales como el almacenamiento de carbono, la regulación hídrica y el soporte de la biodiversidad. En ecosistemas tropicales, especialmente en la Amazonía, los suelos forestales se caracterizaron por mantener complejas interacciones entre la vegetación y los procesos biogeoquímicos, lo cual permitió sostener su fertilidad y funcionalidad ecológica a lo largo del tiempo (Veldkamp et al., 2020)

Sin embargo, el cambio de uso del suelo, principalmente por la expansión de la ganadería, generó impactos significativos sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Diversos estudios señalaron que la conversión de bosques a pastizales provocó la disminución de materia orgánica, nutrientes esenciales y capacidad de retención de agua, además de incrementar la compactación del suelo (Delelegn et al., 2017). Asimismo, el sobrepastoreo contribuyó a la degradación del suelo al reducir la cobertura vegetal y alterar la estructura del suelo mediante el pisoteo del ganado, afectando negativamente la biodiversidad edáfica y los procesos ecológicos (Conant et al., 2017)

En el contexto amazónico, la presión por actividades agropecuarias generó procesos de deforestación y degradación del suelo, los cuales modificaron sustancialmente sus características y funcionamiento. Investigaciones recientes evidenciaron que los suelos degradados presentaron variaciones en componentes como la glomalina, el carbono y la actividad microbiana, lo cual reflejó cambios importantes en la calidad del suelo en diferentes tipos de cobertura forestal (Vallejos et al., 2026). Estas alteraciones no solo comprometieron la productividad del suelo, sino también la capacidad de los ecosistemas para recuperarse de las perturbaciones.

Frente a esta problemática, la restauración ecológica emergió como una estrategia clave para recuperar la funcionalidad de los suelos degradados. Se evidenció que procesos como la revegetación y la sucesión natural contribuyeron a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aunque su recuperación dependió del tiempo, las condiciones ambientales y el manejo del

ecosistema (Rodríguez et al., 2021; Stumpf et al., 2022). No obstante, algunos estudios indicaron que, incluso después de varias décadas, ciertos indicadores como el carbono orgánico del suelo no alcanzaron los niveles de los bosques primarios, lo que evidenció la complejidad de los procesos de restauración.

En este sentido, el análisis comparativo entre suelos restaurados y suelos sometidos a uso ganadero continuo resultó fundamental para comprender el grado de recuperación de los ecosistemas y los efectos persistentes del cambio de uso del suelo. Este tipo de estudios permitió evaluar la resiliencia del suelo y generar información relevante para la gestión sostenible de los recursos naturales, especialmente en regiones como Ucayali, donde la presión sobre los bosques amazónicos fue significativa.

Por lo tanto, la presente investigación se enfocó en analizar las características del suelo en un bosque restaurado del Jardín Botánico “Biokuka” y compararlas con aquellas de un suelo sometido a uso ganadero continuo, con el fin de determinar el impacto del cambio de uso del suelo y aportar evidencia científica para la conservación y restauración de ecosistemas amazónicos.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El cambio de uso del suelo provoca alteraciones importantes en los ecosistemas forestales, modificando la composición de la vegetación y reduciendo la diversidad de especies. Estas transformaciones afectan el funcionamiento ecológico y comprometen los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. (Peña, 2020). En la región de Ucayali, Perú, la expansión de las zonas ganaderas ha generado una transformación significativa en los paisajes naturales, afectando no solo la cobertura vegetal sino también la calidad y estructura del suelo. A lo largo de la Carretera Federico Basadre, desde el Km 9 hasta el Km 34, hoy en día se puede notar las pocas ganaderías que quedan en 40 años de actividad, cuyos suelos empobrecidos por el sobrepastoreo y las quemas de los pastizales por actividades antrópicas y en otras ocasiones provocadas por los mismos ganaderos para favorecer los brotes, y las lluvias, que también han contribuido a su degradación por la baja fertilidad del suelo. El Jardín Botánico 'Biokuka' ubicado en el Km. 19,800 C.F.B margen derecha en la ruta Pucallpa-Lima, se remonta a más de 40 años, habiendo sido una zona ganadera cuyo suelo se empobreció y fue vendido al Ingeniero Raúl Tello Suarez; quien se dedicó con su familia a recuperar las 10 has degradadas. La implementación ha generado esfuerzos de restauración forestal para recuperar áreas degradadas, pero la influencia de las prácticas ganaderas circundantes sigue siendo una preocupación. En las regiones tropicales, las tierras agrícolas han seguido un patrón recurrente de cambio de uso del suelo. Inicialmente, los bosques naturales son convertidos en áreas de cultivo y posteriormente en pastizales. Cuando estas pierden productividad, son abandonadas y el ciclo se repite en nuevas zonas (Petkova et al., 2011).

La restauración de bosques tiene como objetivo no solo reestablecer la vegetación, sino también mejorar la calidad del suelo, crucial para la sostenibilidad del ecosistema. Sin embargo, la eficacia de estos esfuerzos puede verse comprometida por el impacto del cambio de uso del suelo en las zonas ganaderas adyacentes. Es necesario comprender cómo estas actividades ganaderas afectan la

estructura y composición del suelo en las áreas de pastoreo, implantando propuestas más efectivas para desarrollar estrategias de manejo más seguras.

Este análisis es esencial para identificar las variaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y para evaluar el éxito de las iniciativas de restauración forestal en presencia de actividades ganaderas. La investigación busca proporcionar datos relevantes que informen políticas y prácticas de manejo sostenible del suelo, contribuyendo a la conservación y recuperación de los ecosistemas en Ucayali.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la diferencia en la estructura y composición del suelo de un bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de un suelo de uso ganadero continuo en Ucayali?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la estructura física del suelo, como la textura, compactación y capacidad de retención de agua, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo?

- ¿Cuáles son las diferencias en la composición química del suelo, pH, contenido de nutrientes y materia orgánica del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo?

- ¿Cuál es la fertilidad sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y del suelo de uso ganadero continuo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Comparar la estructura y composición del suelo de un bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de un suelo de uso ganadero continuo en Ucayali.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la estructura física del suelo, como la textura, compactación y capacidad de retención de agua, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo

- Evaluar la composición química del suelo, pH, contenido de nutrientes y materia orgánica, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo.

- Evaluar la fertilidad sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y del suelo de uso ganadero continuo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En la investigación de los autores Guo & Gifford, (2002) titulada: Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis, concluyen lo siguiente:

El cambio de uso del suelo afecta directamente los stocks de carbono orgánico del suelo (COS). La conversión de bosques a pasturas puede aumentar o reducir el COS según manejo y pastoreo, mientras que el paso a tierras agrícolas lo disminuye de manera consistente. El abandono de las tierras agricolas y su posterior restauración permiten recuperar gradualmente el COS, aunque en plazos largos. Esto evidencia la necesidad de prácticas sostenibles que favorezcan la acumulación y estabilidad de la materia orgánica en el suelo.

Don et al., (2011) mencionan en sus pesquisa titulado: Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis; lo siguiente:

El análisis de más de 80 estudios en regiones tropicales mostró que la conversión de bosques a cultivos agrícolas reduce el carbono orgánico del suelo (COS) en un promedio del 25–30%, mientras que el cambio a pasturas genera una pérdida de alrededor del 12%. En contraste, la reforestación o regeneración natural puede recuperar hasta un 29% del COS en el largo plazo. Estos hallazgos evidencian que el manejo sostenible y la restauración son claves para revertir la degradación edáfica en los trópicos.}

Los autores Flores et al., (2017) en sus investigación titulado: Initial recovery of compacted soil planting and technical treatments decrease CO2 concentrations in soil and promote root growth; mencionan lo siguiente:

Los suelos compactados por actividades humanas, como el pastoreo ganadero, las concentraciones de CO_2 en el suelo aumentan hasta un 40%, reflejando estrés y limitada aireación. Sin embargo, la aplicación de tratamientos técnicos y la plantación de especies vegetales favorecieron la re-agregación del suelo, disminuyendo el CO_2 y estimulando el crecimiento radicular.

Por lo tanto los autores Gelaw et al., (2014) mencionan en sus pesquisa titulado: Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia; lo siguiente:

El cambio de uso del suelo afecta directamente los stocks de carbono orgánico del suelo (COS) y de nitrógeno total (N). Se encontró que los bosques conservados almacenaban hasta 64 Mg C ha^{-1} y 6.7 Mg N ha^{-1}, mientras que las tierras de cultivo degradadas solo retenían 21 Mg C ha^{-1} y 2.5 Mg N ha^{-1}. Estos resultados evidencian cómo la conversión de suelos forestales a usos agrícolas o ganaderos degrada significativamente la fertilidad y calidad edáfica, aspecto clave para procesos de restauración.

Lal, (2018) en su investigación titulado: Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems; menciona que: "*El manejo sostenible y la restauración de suelos degradados son esenciales para recuperar la fertilidad, aumentar la productividad y mejorar la resiliencia de ecosistemas afectados por la ganadería".*

Según Granda, et al., (2015) mencionan en sus investigación titulada: Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica : composición, diversidad y especies maderables; lo siguiente:

En cada parcela se midieron e identificaron todos los arboles .5 cm dap. Además, se tomó una muestra de suelo a 30 cm de profundidad para determinar las características del suelo. Se consideraron 19 variables bioclimáticas con una resolución aproximada de 1 km2 obtenidas de la base de datos en línea Worldclim.

La información relacionada con edad aproximada de cada bosque, historia, intensidad del uso agropecuario y especies arbóreas de valor para la población local se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas con los propietarios. Los resultados demostraron que estos nuevos bosques albergan especies arbóreas adaptadas a los paisajes agrícolas y no especies propias del bosque original. Los gradientes de las condiciones del suelo, el clima y la intensidad de uso se asocian con diferentes tipos florísticos de bosques, aunque las especies comunes están presentes en todas partes.

El autor Delgado, (2012) en su investigación titulada: Aplicación de las características fisicoquímicas del suelo como indicadoras de la efectividad de las estrategias de restauración implementadas en el Corredor Barbas – Bremen (Quindío – Colombia), concluye lo siguiente:

Se identificaron correlaciones positivas y negativas entre la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el pH, en concordancia con la literatura, además de una relación sucesional del nitrógeno y carbono según el grado de perturbación del suelo. Los valores más bajos se presentaron en zonas perturbadas, intermedios en áreas restauradas y altos en bosques maduros, evidenciando un proceso de recuperación progresiva. La materia orgánica se destacó como un factor clave en la restauración, al mejorar la retención de agua y nutrientes, influir en las propiedades del suelo y favorecer condiciones para el establecimiento de especies vegetales.

Según el autor Peña, (2020) concluye en su investigación titulada: Estudio de la diversidad y biomasa de helechos en bosques de diferentes estados de conservación en un gradiente altitudinal en los Andes tropicales del Ecuador para determinar su respuesta al cambio de uso del suelo, lo siguiente:

Los cambios en el uso del suelo influyen en la diversidad de los helechos terrestres, alterando la riqueza de especies y su funcionalidad, especialmente a nivel local y en altitudes medias. Los bosques restaurados presentan una composición distinta a los naturales, con menor recambio de especies y mayor similitud entre sí.

Sin embargo, la biomasa aérea de helechos logra recuperarse en etapas tempranas, evidenciando procesos de regeneración ecológica.

Tal como Brenes, (2009) en su investigación titulada: Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica, en sus resultados menciona lo siguiente:

Los resultados indicaron que la cobertura boscosa se mantuvo relativamente estable durante 22 años (promedio 39.5%), sostenida por una dinámica de transición entre pasto, charral y bosque. El uso del suelo estuvo dominado por la categoría de uso a capacidad (66.5%), mientras que el sobreuso representó el 29.5% del territorio. Asimismo, el paisaje evidenció un proceso de fragmentación, con mayor número de parches, menor tamaño promedio y afectaciones en la conectividad debido al crecimiento urbano.

Según los autores Giraldo et al., (2020) en sus investigación titulada: Restauración de corredores ribereños en paisajes ganaderos de la zona andina colombiana: efectos tempranos en el ambiente acuático, concluyen lo siguiente:

Los resultados evidenciaron que la exclusión de la ganadería y la restauración de la vegetación ribereña favorecieron la recuperación de la calidad del agua y de la comunidad de macroinvertebrados. Se redujeron organismos asociados a ambientes perturbados y aumentaron grupos más sensibles. No obstante, la mejora en características del hábitat, como la diversidad de sustratos y los patrones de flujo, fue limitada en un periodo de tres años.

Tal como Aguirre et al., (2019) en sus investigación: Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas, mencionan lo siguiente:

Se analizó y evaluó tres usos de suelo: bosque-B, hortalizas-H y grama-G en una zona de bosque seco tropical mediante técnicas analíticas estándar y por cromatografía circular de Pfeiffer. La evaluación de los cromatogramas se realizó mediante caracterización y puntuación de zonas del patrón, seguido de examen gráfico y analítico en diseño factorial. Posteriormente, estos datos se asociaron a las

características físicas y químicas del suelo. Los resultados mostraron diferencias respecto al uso. El suelo H, mostró cromatogramas con menor formación de dientes, colores oscuros y menos integración; el suelo B presentó zonas con relaciones catiónicas que mostraron deficiencia inducida de nutrientes y el suelo G, exhibió colores claros, dientes grandes y mejor integración de zonas, con mayor contenido de carbono. El empleo conjunto de las técnicas evaluadas, proporciona un diagnóstico holístico y confiable para la gestión y sostenibilidad del recurso.

Los autores Saavedra et al., (2020) mencionan en sus investigación titulada: Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México, lo siguiente:

Se colectaron 96 muestras de suelo sobre 28 sitios de muestreo de 0.1 ha, a tres profundidades, 0-5, 5-10 y 10-15 cm. El pH promedio del suelo fue 7.2; conductividad eléctrica, 0.51 dS m^{-1}; densidad aparente, 1.02 g cm^{-3}; espacio poroso, 61.84%; sales disueltas totales, 327.20 mg L^{-1}; materia orgánica, 3.6% y carbono orgánico, 2.63%, así como una clase textural franca. Los suelos del área de estudio presentaron variabilidad vertical para densidad aparente, espacio poroso, contenido de materia orgánica, carbono orgánico, conductividad eléctrica y sales solubles, y fueron relativamente homogéneos en sentido horizontal.

Según los autores Alvarez et al., (2020) en sus investigación titulada: Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México, mencionan lo siguiente:

Se tomaron 25 muestras de suelo a 30 cm de profundidad para sitios representativos de cinco condiciones de uso, en las cuales se analizó un grupo de 17 propiedades físicas, químicas y biológicas. A través de pruebas de correlación lineal y de un análisis de componentes principales que explicó el 89% de la varianza total en el suelo se obtuvo un grupo mínimo de indicadores compuesto por el carbono orgánico del suelo, nitrógeno total, pH, densidad aparente, contenido de arcillas, fósforo y potasio. Los análisis de varianza y la prueba de Tukey ($p< 0.05$) determinaron diferencias significativas de estas variables para los usos de suelo, indicando que, en la medida en que se intensificó la alteración en los suelos, hubo

una disminución hasta del 40% en el contenido de carbono orgánico, nitrógeno total y otros nutrimentos; por el contrario, se incrementó la densidad aparente y el contenido de arcillas.

Lugo & Brown, (1993) en sus investigación titulada: Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbón; mencionan lo siguiente:

La conversión de bosques tropicales a pasturas reduce el carbono orgánico del suelo en un 20–40% en las primeras dos décadas, perdiéndose hasta 30 Mg C ha^{-1} y disminuyendo también el nitrógeno y la CIC. Este deterioro incrementa las emisiones de CO_2 y degrada la fertilidad. Sin embargo, la restauración o reforestación permite recuperar gradualmente el carbono, con aumentos de 0.3–0.5 Mg C ha^{-1} por año.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según los autores Salazar et al., (2024) en sus investigación titulada: Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon, mencionan lo siguiente:

El cambio de uso de suelo de bosques restaurados hacia pasturas ganaderas continuas genera pérdidas significativas de carbono orgánico del suelo (COS) y deterioro de las propiedades físico-químicas. En suelos bajo pastoreo extensivo se registraron valores de 58 Mg C ha^{-1} en los primeros 30 cm, frente a 82 Mg C ha^{-1} en sistemas con cobertura arbórea (silvopastoriles o restaurados). Asimismo, la densidad aparente aumentó de 1.2 a 1.4 g cm^{-3} y el pH se redujo de 6.1 a 5.4, reflejando compactación y acidificación en suelos ganaderos.

Los autores Vallejos et al., (2023) en sus investigación titulada: Soil organic carbon balance across contrasting plant cover ecosystems in the Peruvian Amazon, mencionan lo siguiente:

La cobertura vegetal influye de forma decisiva en el balance de carbono orgánico del suelo (COS). Los bosques primarios alcanzaron valores de hasta 120

Mg C ha^{-1} en los primeros 30 cm, mientras que en pasturas degradadas el stock disminuyó a 55–60 Mg C ha^{-1}. En contraste, áreas en proceso de restauración o con sistemas agroforestales mostraron una recuperación intermedia, con incrementos anuales de 0.4–0.6 Mg C ha^{-1}. Además, parámetros físico-químicos como la densidad aparente (1.3 g cm^{-3} en pasturas vs. 1.1 g cm^{-3} en bosques) y el pH (5.2 vs. 6.0) confirmaron un deterioro en suelos ganaderos y mejoras en sistemas restaurados.

Asi mismo Vásquez et al., (2021) mencionan en sus investigación titulada: Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru, lo siguiente:

La incorporación de componentes arbóreos en sistemas silvopastoriles mejora notablemente las propiedades físico-químicas del suelo en comparación con pasturas continuas. En los primeros 15 cm de profundidad, se registraron valores de materia orgánica entre 6.7 y 9.9 %, pH entre 4.1 y 5.6, y stocks de carbono que alcanzaron hasta 149 t C ha^{-1} en parcelas con Pinus patula, frente a valores inferiores en áreas solo ganaderas. Además, la porosidad superó el 60 % y la densidad aparente se mantuvo en torno a 1.2 g cm^{-3}, evidenciando mejor estructura y aireación. Estos resultados confirman que la integración de árboles en suelos ganaderos contribuye a recuperar la fertilidad y la estabilidad del suelo.

Según Buendia et al., (2017) mencionan en sus investigación titulada Influencia de sistemas forestales sobre los suelos en selva Alta Oxapampa Pasco, lo siguiente:

Se excavaron 10 calicatas para caracterizar los suelos a profundidades de 0-20 cm y 20–60 cm, cuyas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los suelos presentaron escaso desarrollo pedogenético, origen coluvial–aluvial, textura media a moderadamente fina y estructura en bloques angulares, con densidad aparente alta que generó baja porosidad y cierta compactación. Asimismo, mostraron permeabilidad de moderadamente lenta a rápida y un drenaje excesivo debido a la pendiente, evidenciando variaciones en sus propiedades físicas.

Los autores Aquino et al., (2020) en sus publicación de investigación titulada: Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú, mencionan lo siguiente:

Se evaluó diferentes sistemas de uso: sistema agroforestal (SAF), cocal (CO) y bosque secundario (BS). Los indicadores evaluados en cada sistema fueron: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración, temperatura, pH, fosforo, materia orgánica, nitrógeno total, K, Ca, Mg y la capacidad de Intercambio catiónico. Los resultados muestran que la calidad de suelo del sistema agroforestal es aceptable, el bosque secundario es sensible y el cocal presentando calidad marginal. Se concluye, de acuerdo a la metodología del SUSS el SAF tuvo el mayor índice de calidad y que sus indicadores ocasionalmente se alejan de los valores óptimos, contrario el sistema CO tiene el menor índice y sus indicadores son distantes de los valores deseables en los suelos; demostrando al SUSS como un método sencillo pero eficiente para medir los cambios en la calidad del suelo en función al uso.

El autor Burga, (2023) menciona en su investigación titulada: Influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica del suelo del bosque montano La Palma, Chota, 2022, lo siguiente:

Se evaluaron nueve parcelas en bosque primario, secundario y áreas sin cobertura arbórea en el bosque montano La Palma, mediante calicatas de 40×40 cm a profundidades de 0–10, 10–20 y 20–30 cm, analizando propiedades físicas y químicas del suelo. Los resultados indicaron que el pH (4.81–5.77), la conductividad eléctrica (31.67–61.00 µS/cm) y la densidad aparente (0.68–0.77 g/cm^3) aumentaron a menor cobertura arbórea, mientras que la materia orgánica fue mayor en bosque primario (8.33%) y menor en bosque secundario (6.16%). Asimismo, la textura fue arcillosa arenosa en bosques y arcillosa en áreas sin cobertura, y el color del suelo no presentó variaciones, manteniéndose en tonos marrón oscuro y pálido.

Según Condezo, (2023) en su publicación titulada: Recuperación de suelos degradados por cultivos de coca con Rhizobium S.P en el departamento de Huánuco,

Provincia de Leoncio Prado, Distrito de Santo Domingo de Anda, 2019 – 2020, menciona lo siguiente:

Se realizó el muestreo de suelo en un área de 361 m², tomando una muestra inicial (0–30 cm) y otra final tras la aplicación de *Rhizobium* en cultivos de frijol y maní, evaluando propiedades físicas y químicas, así como variables de crecimiento en cocona (*Solanum sessiliflorum*). Los resultados indicaron que no hubo cambios en las propiedades físicas, manteniéndose la textura franco arcillosa, mientras que las propiedades químicas sí variaron significativamente.
El pH aumentó de 6.34 a 7.9 y 8.1, la materia orgánica de 1.52% a 3% y 3.3%, y el nitrógeno de 0.08% a 0.2%, evidenciando una mejora en la fertilidad del suelo tras la aplicación de *Rhizobium.*

La autora Solsol, (2018) en su investigación titulado: La recuperación de suelos degradados ex cocales por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 20 años en el distrito de Mariano Dámaso Beraun-2018, concluye lo siguiente:

En los diferentes caseríos evaluados (Bella, Inti, Bella Alta, Río Oro y Río Tigre), no se evidenció una tendencia clara de recuperación química del suelo a lo largo de 5, 10, 15 y 20 años. Los suelos presentaron pH fuertemente ácido, bajos niveles de fósforo y contenidos de materia orgánica de medios a muy bajos. Asimismo, el nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mantuvieron en rangos bajos a muy bajos, indicando limitada recuperación natural.

2.1.3. Antecedentes locales

No se encontraron investigaciones.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo se puede definir como la capa superior de la corteza terrestre y vincula a la capa interna de la tierra, el agua y el aire, compuesto con partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y algunos seres vivientes. Si bien la estrategia de uso de suelo está orientada a su protección, no puede estar desligada a de los conceptos territoriales como soporte para el sistema biótico de un determinado ambiente (Flórez & Quispe, 2014).

2.2.2. Bosque secundario

Los bosques secundarios en regiones tropicales húmedas presentan diversas definiciones, pero en general se originan a partir de perturbaciones del ecosistema causadas por factores naturales como eventos climáticos, geológicos o la acción de la fauna, aunque en gran medida estas alteraciones son producto de la intervención humana (Cutire & Ramirez, 2018).

El bosque secundario se forma en áreas que han sido abandonadas tras la intervención humana, luego de que el bosque primario fue alterado o eliminado. La ocupación humana genera cambios en la vegetación original, dando lugar a nuevas dinámicas ecológicas (UNESCO et al., 1978)

2.2.3. Degradación del suelo

Una cobertura insuficiente del suelo expone los agregados superficiales al impacto de la lluvia, provocando su desintegración estructural. Como consecuencia, se forman costras de aproximadamente 1 mm de espesor que disminuyen significativamente la infiltración de agua (Flórez & Quispe, 2014).

La pérdida de materia orgánica del suelo es consecuencia de un manejo inadecuado, lo que afecta negativamente sus propiedades. Esto genera cambios

en la densidad, reduce la retención de agua y disminuye la estabilidad de los agregados. Como resultado, se deteriora la calidad y la estructura del suelo (Flórez & Quispe, 2014).

2.2.4. Características químicas del suelo

Estas propiedades como indicativos de la calidad del suelo afectan la relación suelo-planta, así como la disposición de nutrientes para las plantas. Los indicadores que reflejan los parámetros de fertilidad son: pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio trascendentales para la producción de cultivos; las concentraciones potencialmente tóxicas tal como el aluminio y el magnesio también son significativas (Jackson, 1992).

2.2.5. Bosque degradado

Un bosque degradado sigue existiendo, pero ha perdido gran parte de su funcionalidad ecológica. Se transforma en una versión empobrecida de sí mismo, con menor capacidad para sostener la vida. Como consecuencia, disminuye su capacidad para proveer recursos a la humanidad y a la fauna (Hancock, 2019).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Suelo:** Es hogar de una gran cantidad de especies de invertebrados, desde colémbolos, isópteros, ácaros, formícidos y haplotáxidos, que dominan en cuanto a abundancia y biomasa en la Amazonía peruana (Lavelle et al., 1992).

- **Degradación del suelo:** Son los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana (PAOT, s. f.).

- **Bosque secundario:** Son bosques regenerados a partir de disturbios de causas naturales o antrópicas. Albergan una gran biodiversidad, desde árboles y plantas pequeñas hasta grandes mamíferos carnívoros y pequeñas aves e insectos. Estas extensiones boscosas contribuyen a la mitigación del cambio climático y aportan numerosos servicios ecosistémicos, entre otras muchas funciones más (Graziati, 2023).

- **Deforestación de un bosque:** Es la eliminación total de los bosques para destinarlos a otros usos. Su principal causa es la expansión de actividades agrícolas insostenibles e ilegales, como los cultivos de palma y caucho. Este proceso ocurre a un ritmo alarmante, con una pérdida equivalente a 27 campos de fútbol por minuto (Hancock, 2019).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1. Método de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo Cuantitativa, basada en la recolección y análisis de datos numéricos a partir de las muestras de suelo.

3.1.2. Nivel de Investigación

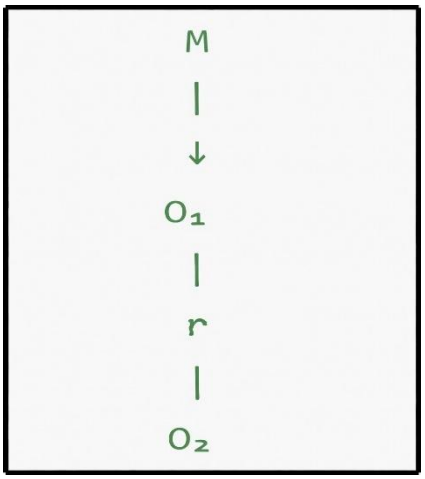
El nivel de estudio fue:

Comparativo: Para comparar las diferencias en la estructura y composición del suelo entre las diferentes áreas de estudio.

Descriptivo-Correlacional: Para describir las características del suelo en cada área y para identificar relaciones entre el tipo de uso del suelo y las características del suelo.

3.1.3. Diseño de la Investigación

El diseño metodológico utilizado en la presente investigación fue o experimental, de corte transversal, con nivel descriptivo–correlacional y comparativo. Se trabajó con una muestra (M) conformada por suelos del área de estudio en Ucayali, a partir de la cual se realizaron dos observaciones: O_1, correspondiente al análisis del suelo en el bosque restaurado del Jardín Botánico Biokuka, y O_2, correspondiente al análisis del suelo en un área de uso ganadero continuo. Posteriormente, se estableció la relación (r) entre ambas observaciones con la finalidad de comparar sus características y determinar el impacto del cambio de uso del suelo.; la gráfica es la siguiente:



Donde:

M: Muestra de suelos del área de estudio en Ucayali

O_1: Análisis del suelo en el bosque restaurado del Jardín Botánico Biokuka.

O_2: Análisis del suelo en un área con uso ganadero continuo

r: Relación, comparación e impacto del cambio de uso del suelo entre ambos escenarios

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población del estudio fueron los suelos de todo el bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de la zona ganadera de uso continuo con más de 40 años de uso - Km 19,500 y 19,800 de la CFB.

3.2.2. Muestra

La muestra fue finita, se seleccionaron puntos de muestreo representativos en cada una de las áreas de estudio:

Bosque restaurado: 3 puntos de muestreo.

Zona ganadera: 3 puntos de muestreo.

Total: 6 puntos de muestreo.

3.2.3. Ubicación del Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la región de Ucayali en el km 22 en el Jardín Botánico Biokuka y el Fundo Rocío.

Figura 1 Mapa de ubicación del Jardín Botánico Biokuka y el Fundo Rocío



3.3. Procedimientos de recolección de datos

El procedimiento de recolección de datos se desarrolló en el jardín botánico Biokuka y el Fundo Rocio, tomando en cuenta los siguientes puntos:

1. **Planificación y Selección de Puntos de Muestreo**:

   Se identificaron y mapearon tres puntos de muestreo en cada área de estudio (bosque restaurado y zona ganadera), distantes entre sí para cubrir la variabilidad espacial de cada zona.

2. **Recolección de Muestras de Suelo**:

   Se realizaron calicatas de aproximadamente 50–60 cm de profundidad. En cada punto se extrajo una muestra compuesta de la capa superficial (0–20 cm), que es la zona de mayor actividad radicular y de mayor influencia del uso del suelo.

   Las muestras se etiquetaron y almacenaron en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio.

3. **Análisis de Laboratorio**:

   Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares del INIA – Km 44 Carretera Federico Basadre, donde se realizaron los análisis físico-químicos según los métodos oficiales del laboratorio.

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Las Técnicas que se utilizaron en la investigación fueron las siguientes:

Muestreo de Suelo: Para recolectar muestras de suelo en los diferentes puntos de muestreo:

1. Selección de sitios de muestreo

Se delimitaron dos áreas representativas:

- Bosque restaurado del Jardín Botánico “Biokuka” (vegetación establecida desde hace más de 20 años).

- Zona de uso ganadero continuo del Fundo Rocío (pastoreo permanente).

2. Caracterización del suelo mediante perfiles del suelo

En cada punto se realizó una calicata de 50–60 cm de profundidad. Se describió el perfil de suelo observando:

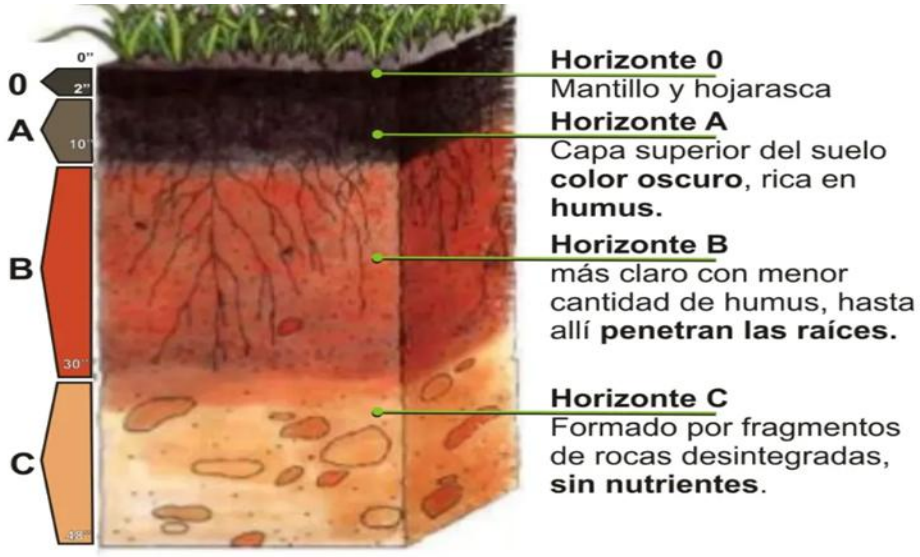
- Color, estructura y consistencia de los horizontes visibles.

- Presencia de raíces y actividad biológica.

- Condiciones de drenaje y humedad.

No se realizó muestreo por horizontes separados ni a distintas profundidades, debido a que el objetivo del estudio se centró en la capa superficial (0–20 cm), donde se concentran los mayores cambios por el uso del suelo.

Figura 2 Horizontes del suelo



3. Toma de muestras de suelo

Se extrajo una muestra compuesta por punto de muestreo de la capa 0–20 cm (tres muestras por zona, total seis muestras).

4. Análisis fisicoquímico del suelo

Los parámetros se determinaron en el laboratorio del INIA mediante los siguientes métodos:

- Textura: método de Bouyoucos (hidrómetro).

- pH: potenciómetro en relación suelo: agua

- Materia orgánica: método de Walkley y Black.

- Acidez intercambiable y Aluminio intercambiable: método de Yuan (extracción con KCl 1N).

- Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio: extracción con acetato de amonio 1N pH 7 y determinación por absorción atómica / fotometría de llama.

- Fósforo disponible: método de Olsen modificado.

- Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) y saturación de Al+H: calculados a partir de las bases intercambiables y la acidez intercambiable.

5. Evaluación de la Fertilidad del suelo

Se evaluó a partir de la disponibilidad de nutrientes (Ca, Mg, K, P), CICe y saturación de aluminio + hidrógeno.

Nota: No se realizó análisis de nitrógeno total ni de densidad aparente/penetrómetro en laboratorio, por lo que la compactación se evaluó solo de forma cualitativa en campo.

6. Análisis de Laboratorio: Las muestras recolectadas se enviaron al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Km 44 Carretera Federico Basadre, donde se realizaron los análisis físico-químicos y de fertilidad del suelo. Los métodos empleados para cada componente fueron los siguientes:

Tabla 1 Métodos de análisis de laboratorio

Parámetro	Método empleado
Textura (Arena, Limo, Arcilla)	Método del hidrómetro de Bouyoucos
pH	Potenciómetro (relación suelo:agua 1:2.5)
Materia Orgánica (MO)	Método de Walkley y Black
Acidez intercambiable	Extracción con KCl 1N (método de Yuan / Barnhisel y Bertsch)
Aluminio intercambiable (Al)	Extracción con KCl 1N (método de Yuan / Barnhisel y Bertsch)
Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Sodio (Na)	Extracción con acetato de amonio 1N pH 7 + determinación por espectrofotometría de absorción atómica / fotometría de llama
Fósforo disponible (P)	Método de Olsen modificado
Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe)	Calculada por suma de bases intercambiables + acidez intercambiable
Saturación de Aluminio + Hidrógeno (Sat. Al+H)	Calculada a partir de la acidez intercambiable y la CICe

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para realizar la investigación fueron las siguientes:

- Herramientas para la apertura de calicatas (pala, pico y barreta), para la excavación de los perfiles de suelo.
- Bolsas de muestreo: para almacenar y transportar las muestras de suelo.
- Etiquetas: para identificar cada muestra de suelo.
- Equipo de Laboratorio: Para análisis de pH, nutrientes, materia orgánica, textura y otros parámetros.

Tabla 2 Formato de recolección de datos

Muestras	Bosque restaurado "Biokuka"	Zona ganadera de uso continuo
1	533100 mE 9068900 mN	533212 mE 9068879 mN
2	533084 mE 9068808 mN	533204 mE 9068809 mN
3	533214 mE 9068469 mN	533284 mE 9068478 mN

3.5. Procesamiento para recolección de datos

El procesamiento de la recolección de datos se llevó a cabo de manera sistemática, iniciándose con la organización y codificación de las muestras de suelo obtenidas en campo, correspondientes al bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y a la zona de uso ganadero continuo. Cada muestra fue debidamente identificada según su ubicación y profundidad, garantizando su trazabilidad durante todo el proceso.

Posteriormente, las muestras recolectadas fueron trasladadas a un laboratorio especializado, donde se realizaron los análisis físico-químicos y de fertilidad del suelo, incluyendo parámetros como pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, textura, densidad aparente y contenido de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio).

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, los datos fueron registrados y organizados en una base de datos estructurada, utilizando hojas de cálculo para facilitar su manejo. Se procedió a la depuración de los datos, verificando su consistencia, eliminando posibles errores y asegurando la calidad de la información recolectada.

Finalmente, los datos procesados fueron sistematizados y preparados para su análisis estadístico, permitiendo la comparación entre los suelos del bosque restaurado y los de uso ganadero continuo, con el propósito de identificar diferencias y establecer relaciones entre las variables estudiadas.

3.6. Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos se realizó con los datos obtenidos de las muestras obtenidas se realizarán los siguientes tratamientos:

3.6.1. Análisis estadístico:

Se utilizaron pruebas estadísticas como ANOVA o t-test para determinar diferencias significativas entre los tipos de suelo.

- Se aplicaron estudios de fertilidad y calidad del suelo para interpretar los resultados.

- Para los análisis de datos recolectados se utilizará el software estadístico SPSS.

- Se realizará el cálculo de medias, desviaciones estándar y otras estadísticas descriptivas para cada parámetro del suelo.

- Se realizará las pruebas de hipótesis para comparar los parámetros del suelo entre las diferentes áreas de estudio.

3.6.2. Análisis comparativo:

- Se realizará la comparación de los resultados de las distintas áreas utilizando gráficos y tablas.

- Se Identificarán las diferencias significativas en la composición, estructura y fertilidad del suelo entre las áreas de estudio.

3.6.3. Interpretación de resultados:

Se compararon los resultados con estudios previos y se analizarán las implicaciones ecológicas y productivas de los cambios en el suelo:

- La interpretación de los resultados, estuvo sujeto a la discusión de los resultados en función de los objetivos y preguntas de investigación.

- Se realizó la evaluación de las hipótesis específicas planteadas.

3.6.4. Presentación de resultados:

- Elaboración de informes, gráficos y tablas para presentar los hallazgos de manera clara y comprensible.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

A continuación, se muestran en la Tabla 2, los resultados de forma ordenada y relacionada con los parámetros y criterios que permitieron realizar la investigación sobre los análisis del suelo comparando la estructura y composición del suelo de un bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de un suelo de uso ganadero continuo.

Tabla 3 Datos crudos por muestra

Muestra	Zona	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH	Acidez interc. (cmol/ kg)	Al interc. (cmol/ kg)	MO (%)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/ kg)	P (mg/k g)	ClCe (cmol /kg)	Sat. Al+H (%)
ZG1	Ganader a	34.72	31.42	33.86	3.9	3.90	2.40	1.74	0.70	0.37	3.99	5.22	74.39
ZG2	Ganader a	32.72	29.42	37.86	4.2	3.20	1.90	2.20	7.27	0.49	9.92	11.28	28.42
ZG3	Ganader a	42.72	17.42	39.86	4.3	1.10	0.25	3.10	1.68	0.88	73.97	3.83	27.87
BR1	Restaur ado	32.72	27.42	39.86	4.6	0.80	0.25	2.70	1.85	0.62	18.06	3.56	21.81
BR2	Restaur ado	42.72	15.42	41.86	6.1	0.25	0.25	2.80	2.82	2.32	52.80	5.92	0.00
BR3	Restaur ado	32.72	27.42	39.86	4.4	3.50	2.40	1.40	0.14	0.21	8.48	3.99	87.73

Nota: Extraído del análisis realizado en el Laboratorio del INIA-Km 44 CFB.

En la Tabla 2 Se observa una alta variabilidad espacial en los parámetros evaluados, tanto dentro de la zona ganadera como del bosque restaurado. En el bosque restaurado, la muestra BR2 presenta las mejores condiciones químicas, con un pH de 6.1 y una saturación de Al+H de 0.00%, lo que indica ausencia de toxicidad por aluminio. En contraste, las muestras BR1 y BR3 aún muestran valores de pH ácidos (4.6 y 4.4, respectivamente) y, en el caso de BR3, una saturación de Al+H elevada (87.73%), evidenciando que el proceso de recuperación del suelo no es homogéneo y depende de las condiciones locales de cada punto de muestreo. Por otro lado, en la zona ganadera destaca el valor atípicamente alto de fósforo en la muestra ZG3 (73.97 mg/kg), el cual contrasta con los valores mucho más bajos de las otras muestras, reflejando la heterogeneidad natural del suelo y la posible influencia de factores locales de manejo o fertilización.

4.1. Evaluación de la estructura física del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo

En la Tabla 3 se muestran los resultados sobre la estructura física, que evidencian que las seis muestras presentan una textura comprendida entre franco arcillosa y franco, con contenidos de arena que varían entre 32.72% y 42.72%, arcilla entre 15.42% y 31.42%, y limo entre 33.86% y 41.86%.

Tabla 4 Composición textural del suelo (%)

Muestra	Zona	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural
ZG1	Ganadera	34.72	31.42	33.86	Franco arcilloso
ZG2	Ganadera	32.72	29.42	37.86	Franco arcilloso
ZG3	Ganadera	42.72	17.42	39.86	Franco
BR1	Restaurado	32.72	27.42	39.86	Franco arcilloso
BR2	Restaurado	42.72	15.42	41.86	Franco
BR3	Restaurado	32.72	27.42	39.86	Franco arcilloso

Según la Tabla 3, en la zona ganadera, las muestras Zona Ganadera 1 y Zona Ganadera 2 presentan textura franco arcillosa, mientras que Zona Ganadera 3 presenta textura franca. En el bosque restaurado, Bosque Restaurado 1 y Bosque Restaurado 3 mantienen textura franco arcillosa, mientras que Bosque Restaurado 2 presenta textura franca.

Se observa también en la Tabla 3 que el bosque restaurado presenta valores ligeramente superiores de limo, destacando Bosque Restaurado 2 con 41.86%, en comparación con la Zona Ganadera 1 (33.86%). Este mayor contenido de limo favorece la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes.

A continuación, se presenta el Análisis Estadístico: Textura del suelo

Según los resultados de la prueba t de Student (Tabla 3), no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de arena, arcilla y limo entre la zona ganadera y el bosque restaurado ($p > 0.05$). Por lo tanto, se concluye que la textura del suelo no fue influenciada de manera significativa por el cambio de

uso de la tierra. Este resultado es consistente con lo reportado por diversos autores, quienes señalan que la textura es una propiedad física inherente al material parental y tiende a mantenerse relativamente estable a pesar de los cambios de uso del suelo a corto y mediano plazo (Aguirre et al., 2019; Saavedra et al., 2020). No obstante, el bosque restaurado presentó un contenido de limo ligeramente superior (41.86% frente a 33.86%), lo cual favorece una mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística.

Tabla 5 Resultados de la prueba t para los componentes texturales del suelo

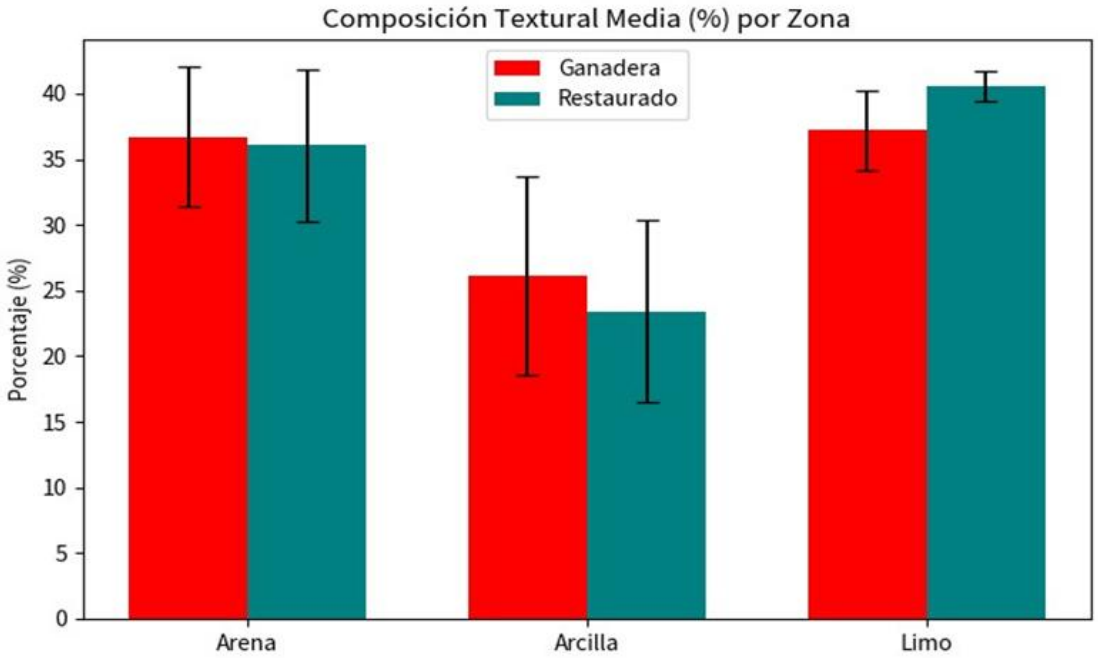
Componente	**Ganadera (media ± DE)**	**Restaurado (media ± DE)**	**p-valor (t-test)**
Arena (%)	36.72 ± 5.29	36.05 ± 5.77	0.890
Arcilla (%)	26.09 ± 7.57	23.42 ± 6.93	0.676
Limo (%)	37.19 ± 3.06	40.53 ± 1.15	0.191

Nota: Nivel de significancia α = 0.05

Según la Tabla 4, no se observan diferencias estadísticamente significativas en la composición textural entre ambas zonas ($p > 0.05$). Sin embargo, el bosque restaurado presenta un contenido de limo ligeramente superior (40.53 % vs. 37.19 %), lo que favorece una mayor capacidad de retención de agua y una mejor estructura edáfica. La textura predominante en ambas zonas es franco y franco arcilloso, lo que indica que el cambio de uso de suelo ganadero no ha alterado drásticamente la clase textural, pero sí ha reducido el potencial de retención hídrica en la zona ganadera.

La Figura 2 presenta de manera visual la similitud en la composición textural entre ambas zonas, destacando la ligera pero no significativa diferencia en el contenido de limo.

Figura 3 Comparación de la composición textural del suelo



En la Figura 2, se observa que la Textura predominante: franco y franco arcilloso en ambas zonas (sin diferencias significativas). El bosque restaurado tiene mayor limo (hasta 41.86 %), lo que favorece retención de agua y disponibilidad de nutrientes. Al obtener las muestras en la zona ganadera se obtuvo una fuerte compactación en la ZG1 y medianamente compactado en la ZG2 Y ZG3. En el BR la compactación fue menor por mayor MO y cobertura vegetal (coincide con Delgado 2012 y Buendía et al. 2017).

4.2. Evaluación de la composición química del suelo, pH, contenido de nutrientes y materia orgánica, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo.

En la Tabla 5; nos muestra la composición química del suelo ganadero y el bosque restaurado.

Tabla 6 Composición química (pH, acidez, Al y MO

Muestra	Zona	pH	Acidez interc. (cmol/kg)	Al interc. (cmol/kg)	MO (%)
ZG1	Ganadera	3.9	3.90	2.40	1.74
ZG2	Ganadera	4.2	3.20	1.90	2.20
ZG3	Ganadera	4.3	1.10	0.25	3.10
BR1	Restaurado	4.6	0.80	0.25	2.70
BR2	Restaurado	6.1	0.25	0.25	2.80
BR3	Restaurado	4.4	3.50	2.40	1.40

En la Tabla 5 se observa que el pH del suelo en la zona ganadera varía entre 3.9 y 4.3, clasificándose como fuertemente ácido, mientras que en el bosque restaurado oscila entre 4.4 y 6.1, alcanzando condiciones de acidez moderada a ligeramente ácida. Esto indica una mejor condición química y mayor fertilidad potencial en el área restaurada. Sin embargo, la mejora del pH no es uniforme. La muestra BR3 presenta valores de acidez intercambiable (3.50 cmol(+)/kg) y aluminio intercambiable (2.40 cmol(+)/kg) similares a los de la zona ganadera más degradada (ZG1). Esta heterogeneidad puede deberse a diferencias locales en el historial de uso del suelo, en el grado de compactación previo, en las condiciones de drenaje o en la densidad y tipo de cobertura vegetal presente en cada punto de muestreo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez et al. (2021) y Stumpf et al. (2022), quienes señalan que los procesos de restauración de suelos degradados dependen fuertemente del tiempo de recuperación y de las condiciones particulares de cada sitio.

La Acidez intercambiable en el suelo Ganadero es Muy alta en ZG1 (3.90 cmol/kg) y ZG2 (3.20), pero baja en ZG3 (1.10). Esto refleja suelos con fuerte saturación de H^+ y Al^{3+}, que afectan negativamente el crecimiento vegetal; mientras

que, en el suelo Restaurado, generalmente menor (0.25–0.80), excepto BR3 (3.50), que se asemeja a los valores más críticos de la zona ganadera. La restauración reduce la acidez en la mayoría de los casos, aunque puede persistir en ciertos sitios.

El aluminio intercambiable en la zona ganadera está elevado en ZG1 (2.40 cmol(+)/kg) y ZG2 (1.90 cmol(+)/kg), pero bajo en ZG3 (0.25 cmol(+)/kg). En el bosque restaurado, los valores son bajos en BR1 y BR2 (0.25 cmol(+)/kg), pero altos en BR3 (2.40 cmol(+)/kg). Esto indica que la recuperación del suelo no es homogénea. La persistencia de altos niveles de aluminio en la muestra BR3 puede deberse a diferencias locales en el historial de uso del suelo, a un menor tiempo efectivo de restauración en ese punto específico, a condiciones de drenaje deficientes o a una menor densidad de cobertura vegetal, factores que limitan la reducción de la toxicidad por aluminio. Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez et al. (2021) y Stumpf et al. (2022), quienes indican que los procesos de restauración de suelos degradados dependen fuertemente del tiempo transcurrido y de las condiciones particulares de cada sitio.

El bosque restaurado tiende a disminuir el Al tóxico, salvo en áreas donde la acidez aún es fuerte.

En cuanto a la Materia orgánica (MO), la zona Ganadero es relativamente baja (1.74–3.10%), aunque ZG3 muestra el mejor valor (3.10). En la zona Restaurado es Moderada (2.70–2.80 en BR1 y BR2), pero baja en BR3 (1.40), por lo que la restauración favorece la acumulación de MO en la mayoría de los casos, lo que mejora la estructura y fertilidad del suelo, aunque no siempre supera los mejores valores de la zona ganadera.

Tabla 7 Resultados de la prueba t para composición química (pH, acidez, Al y MO) del suelo

Variable	Ganadera (ZG)	Restaurado (BR)	p-valor
pH	4.13 ± 0.21	5.03 ± 0.93	0.232
Acidez intercambiable	2.73 ± 1.46	1.52 ± 1.74	0.407
Al intercambiable	1.52 ± 1.13	0.97 ± 1.24	0.600
Materia orgánica (%)	2.35 ± 0.69	2.30 ± 0.78	0.942

La Tabla 6 indica que, al realizar la prueba t de Student para la composición química de las dos zonas de estudio, las diferencias no resultaron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). El bosque restaurado muestra un pH promedio más alto (5.03 vs. 4.13) y menores valores de acidez intercambiable y aluminio intercambiable; sin embargo, estas diferencias no alcanzan significancia estadística. Esto se debe principalmente al reducido tamaño de muestra ($n = 3$ por zona) y a la alta variabilidad espacial natural de los suelos tropicales, lo que disminuye el poder estadístico de la prueba. La materia orgánica es similar en promedio (2.30 % vs. 2.35 %), aunque presenta menor variabilidad en el bosque restaurado. A pesar de la falta de significancia estadística, las tendencias observadas indican que la restauración forestal ha favorecido una menor acidificación y toxicidad por aluminio, mejorando las condiciones químicas del suelo en comparación con el uso ganadero continuo.

Figura 4 pH, acidez y Al intercambiable media por zona

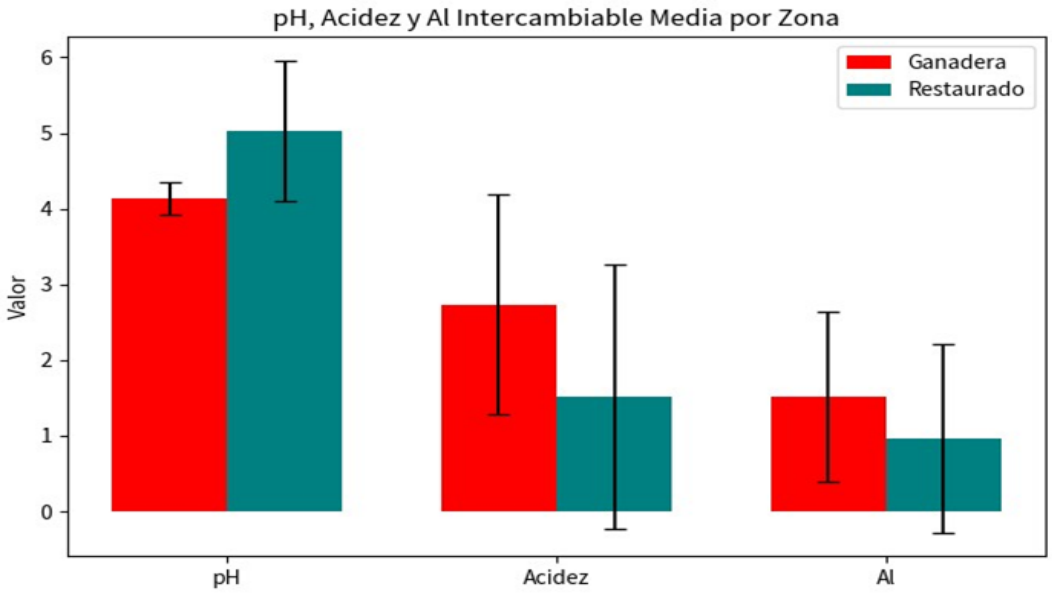


Tabla 8 Contenido de materia orgánica media (%)

Zona	Media ± DE
Ganadera	2.35 ± 0.69
Restaurado	2.30 ± 0.78

Figura 5 Contenido de Materia Orgánica de Zona Ganadera y Bosque Restaurado

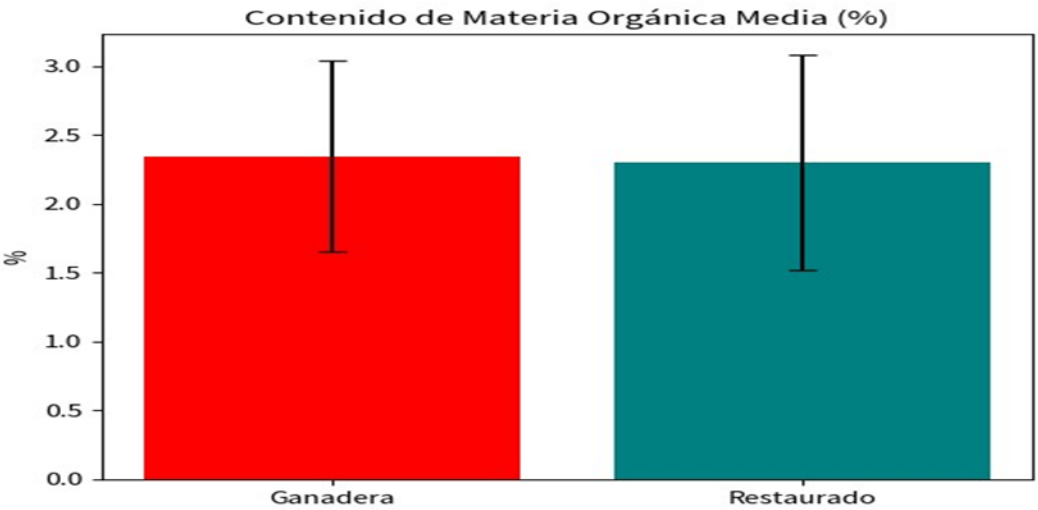


Tabla 9 Correlaciones clave (para mayor profundidad

Correlación	**Coeficiente r**	**Interpretación**
MO vs pH	0.438	Tendencia positiva moderada
Limo vs MO	0.516	Tendencia positiva (mejor retención)

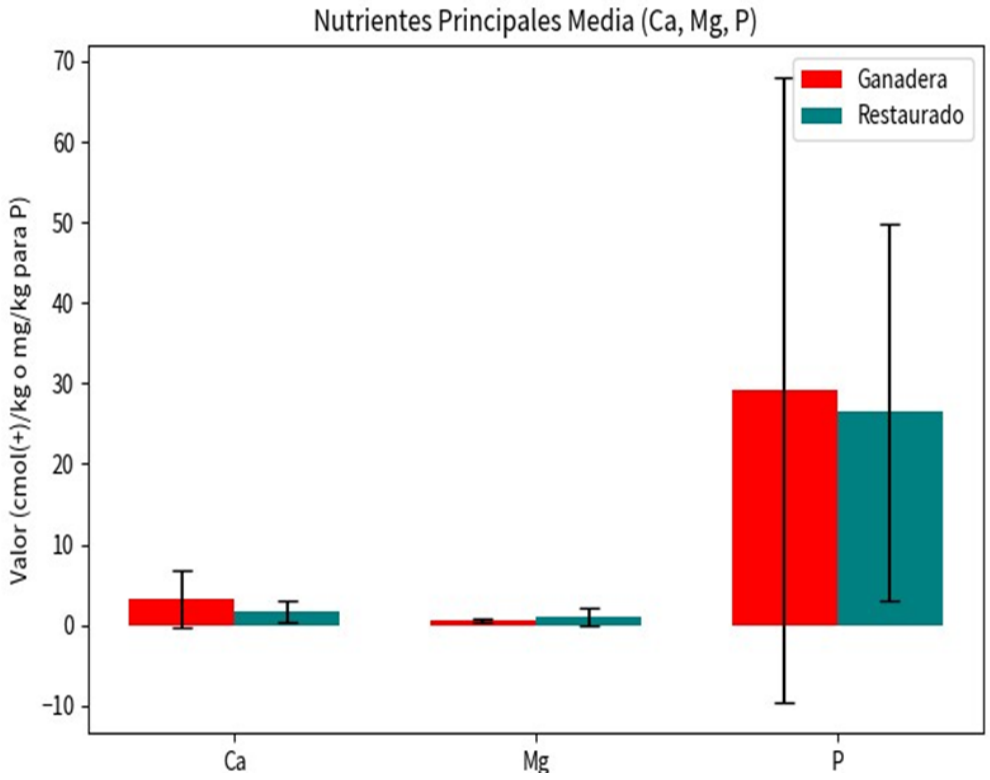
En la Tabla 8 se observa una correlación positiva moderada entre materia orgánica y pH (r = 0.438) y entre limo y materia orgánica (r = 0.516). Sin embargo, estas correlaciones deben interpretarse con cautela, ya que el reducido número de muestras (n = 6) limita la confiabilidad estadística de los coeficientes. Por lo tanto, los valores de r se presentan únicamente como tendencias exploratorias y no como relaciones estadísticamente robustas. Aun así, estas tendencias refuerzan la idea de que un mayor contenido de limo y materia orgánica contribuye a elevar el pH y mejorar la retención de agua y nutrientes, proceso que se ve favorecido por la restauración forestal.

En la Tabla 9 y Figura 6 se muestra los nutrientes principales de Zona Ganadera y Bosque Restaurado

Tabla 10 Nutrientes principales de Zona Ganadera y Bosque Restaurado

Muestra	Zona	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	P (mg/kg)
ZG1	Ganadera	0.70	0.37	3.99
ZG2	Ganadera	7.27	0.49	9.92
ZG3	Ganadera	1.68	0.88	73.97
BR1	Restaurado	1.85	0.62	18.06
BR2	Restaurado	2.82	2.32	52.80
BR3	Restaurado	0.14	0.21	8.48

Figura 6 Nutrientes principales media (Ca, Mg, P) de Zona Ganadera y Bosque Restaurado



En la Tabla 9 se observa una alta variabilidad en los nutrientes, especialmente en fósforo y calcio. El magnesio destaca en el bosque restaurado (1.05 cmol/kg vs. 0.58 cmol/kg), lo que podría estar relacionado con una mayor disponibilidad para la fotosíntesis y el crecimiento vegetal. El potasio y sodio permanecen muy bajos en ambas zonas (< 0.32 cmol/kg). En general, el bosque restaurado muestra una disponibilidad de nutrientes más equilibrada, aunque con limitaciones en calcio y fósforo en algunas muestras.

Se aplicó la prueba t de Student para comparar las medias de los nutrientes esenciales (Ca, Mg, K, P) y la CICe entre las dos zonas. Dada la alta variabilidad, se presentan las estadísticas descriptivas**.**

Tabla 11 Tabla 1. Resultados de la prueba t para Nutrientes en Zona Ganadera y Bosque Restaurado

Nutriente	Ganadera (ZG)	Restaurado (BR)	p-valor
Ca (cmol/kg)	3.22 ± 3.54	1.60 ± 1.36	0.523
Mg (cmol/kg)	0.58 ± 0.27	1.05 ± 1.12	0.546
P (mg/kg)	29.29 ± 38.80	26.45 ± 23.32	0.920

Al igual que con los parámetros químicos, las pruebas estadísticas no encuentran diferencias significativas en las medias de nutrientes entre las zonas ($p > 0.05$). Esto se debe principalmente a la alta variabilidad de los datos y al reducido tamaño de muestra ($n = 3$ por zona), lo que limita el poder de la prueba t para detectar diferencias reales. El valor $p > 0.05$ para todas las variables confirma que, estadísticamente, no se puede afirmar que una zona sea más fértil que la otra en promedio. No obstante, la variabilidad y los valores extremos (como el alto contenido de Mg en BR2 o el alto Ca en ZG2) son de gran interés ecológico e indican que existen condiciones locales favorables dentro del bosque restaurado.

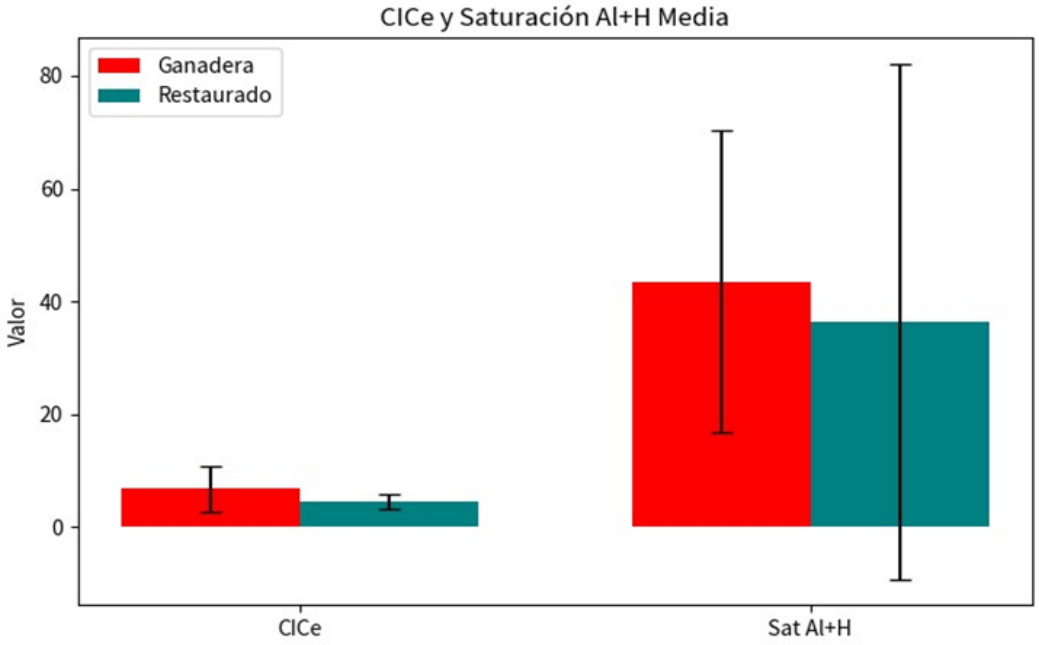
4.3. Evaluación de la fertilidad sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y del suelo de uso ganadero continuo.

En la Tabla 12 y Figura 7 se muestra la Fertilidad (CICe y saturación Al+H) de la Zona Ganadera y Bosque Restaurado.

Tabla 12 Fertilidad (CICe y saturación Al+H) de la Zona Ganadera y Bosque Restaurado

Muestra	Zona	CICe (cmol/kg)	Sat. Al+H (%)
ZG1	Ganadera	5.22	74.39
ZG2	Ganadera	11.28	28.42
ZG3	Ganadera	3.83	27.87
BR1	Restaurado	3.56	21.81
BR2	Restaurado	5.92	0.00
BR3	Restaurado	3.99	87.73

Figura 7 CICe y saturación Al+H media



Según la Tabla 11 y Figura 7, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) es ligeramente superior en la zona ganadera, pero con mayor variabilidad. La saturación de Al+H es menor en promedio en el bosque restaurado (36.51 % vs. 43.56 %), destacando la muestra BR2 con 0 % (condición óptima). Estos resultados

evidencian que, aunque la fertilidad general es baja en ambas zonas, el bosque restaurado presenta una menor toxicidad por aluminio e hidrógeno, lo que favorece una mejor disponibilidad de nutrientes esenciales para la vegetación.

Respecto al Sat. Al+H (%) en el BR2 Y BR3, se observa una marcada heterogeneidad dentro del bosque restaurado respecto a la saturación de aluminio e hidrógeno. La muestra BR2 presenta un valor de 0.00%, lo que indica una condición óptima, sin toxicidad por aluminio y con buena disponibilidad de nutrientes. En contraste, la muestra BR3 registra un valor muy elevado de 87.73%, similar o incluso superior a los de la zona ganadera más degradada. Esta diferencia evidencia que el proceso de restauración no ha sido uniforme en toda el área. La alta saturación de Al+H en BR3 puede atribuirse a condiciones locales particulares, como un historial de degradación más intenso, menor cobertura vegetal o un drenaje deficiente en ese punto específico, factores que limitan la recuperación química del suelo.

La acidez intercambiable es más elevada en la Zona Ganadera 1 es de (3.9 cmol(+)/kg) y en la Zona Ganadera 2 (3.2 cmol(+)/kg), en contraste con el Bosque Restaurado 2, donde es menor a 0.5 cmol(+)/kg. Asimismo, el aluminio intercambiable alcanza valores de 2.4 cmol(+)/kg en Zona Ganadera 1 y Bosque Restaurado 3, mientras que en la mayoría de muestras del bosque restaurado es menor a 0.5 cmol(+)/kg.

Estos resultados indican que los suelos de uso ganadero presentan condiciones químicas más limitantes, con mayor acidez y posible toxicidad por aluminio, mientras que el bosque restaurado evidencia una mejor regulación del pH y menor presencia de elementos tóxicos.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) y la saturación de aluminio e hidrógeno constituyen indicadores clave para evaluar la fertilidad del suelo, ya que reflejan la capacidad del suelo para retener nutrientes y la presencia de elementos que pueden limitar su disponibilidad. En relación con la CICe, los valores en la zona ganadera presentan variabilidad, destacando la muestra ZG2 con 11.28 cmol(+)/kg como el valor más alto, seguida de ZG1 con 5.22 cmol(+)/kg. En el bosque restaurado, los valores oscilan entre 3.56 cmol(+)/kg (BR1) y 5.92 cmol(+)/kg (BR2),

mostrando una distribución más homogénea. Sin embargo, una mayor CICe no implica necesariamente una mejor fertilidad, ya que su efectividad depende de la calidad química del suelo y de la presencia de elementos acidificantes.

En este sentido, la saturación de aluminio e hidrógeno evidencia diferencias significativas entre ambas zonas. En la zona ganadera, la muestra ZG1 presenta un valor elevado de 74.39%, lo que indica condiciones de alta acidez y toxicidad, limitando la disponibilidad de nutrientes. Las muestras ZG2 (28.42%) y ZG3 (27.87%) presentan valores moderados, pero aún representan restricciones para el desarrollo vegetal.

En el bosque restaurado, se observa una mejora notable en la muestra Bosque Restaurado 2, donde la saturación de aluminio e hidrógeno es 0.00%, indicando condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas. Asimismo, Bosque Restaurado 1 presenta un valor relativamente bajo (21.81%), lo que sugiere menor limitación química. No obstante, Bosque Restaurado 3 registra un valor elevado de 87.73%, evidenciando que existen áreas donde el proceso de restauración aún no ha logrado reducir la acidez del suelo.

Tabla 13 Resultados de la prueba t para Fertilidad (CICe y saturación Al+H)

Variable	Ganadera (ZG)	Restaurado (BR)	p-valor
CICe (cmol/kg)	6.78 ± 3.96	4.49 ± 1.26	0.426
Saturación Al+H (%)	43.56 ± 26.70	36.51 ± 45.68	0.831

Los resultados de la prueba t muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los suelos ganaderos y los restaurados en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) ni en la saturación de Al+H, ya que los valores de p son mayores a 0.05; sin embargo, los promedios sugieren ciertas tendencias, como una CICe más elevada en los suelos ganaderos y una menor saturación de acidez en los restaurados, aunque la alta dispersión de los datos impide confirmar estas diferencias con rigor estadístico. En consecuencia, la restauración no evidencia aún un efecto claro sobre la fertilidad química medida por

estas variables, lo que podría deberse a la necesidad de un mayor tiempo de recuperación ecológica o a la ampliación del número de muestras para detectar cambios consistentes. El BR2 muestra 0 % saturación Al+H (óptimo). En tal sentido, el BR presenta fertilidad más equilibrada y menor toxicidad promedio.

4.2 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que el cambio de uso del suelo influye directamente en sus propiedades físicas, químicas y de fertilidad, lo cual coincide con diversos estudios previos tanto a nivel internacional como nacional.

En cuanto a la estructura física del suelo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el bosque restaurado y la zona ganadera ($p > 0.05$), predominando texturas franco y franco arcillosas. Este resultado coincide con lo reportado por Aguirre et al. (2019) y Saavedra et al. (2020), quienes señalan que la textura del suelo tiende a mantenerse relativamente estable a pesar del cambio de uso, ya que depende principalmente del material parental. Sin embargo, el mayor contenido de limo en el bosque restaurado (40.53% frente a 37.19%) sugiere una mejor capacidad de retención de agua, lo cual es consistente con lo planteado por Delgado (2012), quien destaca que la mejora en las propiedades físicas del suelo en áreas restauradas está asociada al incremento de materia orgánica y a la recuperación de su estructura.

Asimismo, se observó mayor compactación en la zona ganadera, lo que concuerda con lo señalado por Flores et al. (2017), quienes indican que el pisoteo del ganado incrementa la compactación del suelo, reduce la porosidad y limita el crecimiento radicular. Esta condición también ha sido reportada por Buendía et al. (2017), quienes evidencian que suelos sometidos a actividades agropecuarias presentan mayor densidad aparente y menor aireación.

Respecto a la composición química del suelo, los resultados muestran que la zona ganadera presenta un pH más ácido (3.9–4.3) en comparación con el bosque restaurado (4.4–6.1), así como mayores niveles de acidez intercambiable y aluminio. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Lugo y Brown (1993) y Don et al. (2011), quienes señalan que la conversión de bosques a pasturas genera una disminución en la calidad química del suelo, incrementando la acidez y reduciendo la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, Salazar et al. (2024) y Vallejos et al. (2023)

evidencian que los suelos ganaderos en la Amazonía presentan mayor acidificación y deterioro en comparación con sistemas con cobertura forestal.

La menor presencia de aluminio intercambiable en el bosque restaurado también respalda lo indicado por Lal (2018), quien sostiene que las prácticas de restauración contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo y reducir la toxicidad, favoreciendo el desarrollo vegetal. No obstante, la persistencia de valores altos de aluminio en algunas muestras del bosque restaurado (como BR3) sugiere que la recuperación no es homogénea, lo cual coincide con lo señalado por Rodríguez et al. (2021) y Stumpf et al. (2022), quienes indican que los procesos de restauración dependen del tiempo y de las condiciones locales.

En relación con la materia orgánica, los resultados muestran valores similares entre ambas zonas (2.35% en ganadera y 2.30% en restaurado), aunque con mayor estabilidad en el bosque restaurado. Esto puede explicarse por la dinámica de acumulación y descomposición de residuos orgánicos en sistemas forestales, tal como lo mencionan Guo y Gifford (2002), quienes destacan que la restauración permite recuperar gradualmente el carbono orgánico del suelo. Sin embargo, los valores aún no alcanzan niveles óptimos, lo cual coincide con lo reportado por Solsol (2018), quien señala que la recuperación de suelos degradados puede ser lenta y limitada incluso después de varios años.

En cuanto a los nutrientes y fertilidad del suelo, se observó alta variabilidad en ambas zonas, sin diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). No obstante, el bosque restaurado presentó mayores valores de magnesio (1.05 cmol/kg frente a 0.58 cmol/kg), lo cual sugiere una mejor disponibilidad de nutrientes. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Vásquez et al. (2021), quienes indican que la presencia de cobertura arbórea mejora la disponibilidad de nutrientes y la calidad del suelo en sistemas silvopastoriles.

Asimismo, la baja disponibilidad de potasio y la variabilidad del fósforo en ambas zonas reflejan limitaciones en la fertilidad, lo cual coincide con lo señalado por Alvarez et al. (2020), quienes reportan que los suelos degradados presentan disminución de nutrientes esenciales debido a la intensificación del uso del suelo. La alta saturación

de aluminio en la zona ganadera (hasta 74.39%) también evidencia condiciones limitantes para el desarrollo vegetal, tal como lo menciona Gelaw et al. (2014), quienes indican que la degradación del suelo reduce significativamente su capacidad productiva.

En conjunto, los resultados de esta investigación confirman que el uso ganadero continuo genera procesos de degradación del suelo, mientras que la restauración forestal contribuye a su recuperación progresiva. Esto coincide con lo planteado por Giraldo et al. (2020) y Aguirre et al. (2019), quienes destacan que la exclusión de actividades ganaderas y la restauración de la vegetación favorecen la mejora de las condiciones del suelo y del ecosistema en general.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la estructura ni en la composición del suelo entre el bosque restaurado del Jardín Botánico “Biokuka” y la zona de uso ganadero continuo. La textura fue similar en ambas zonas (franco a franco arcilloso), con contenidos de arena entre 32.72 % y 42.72 %, arcilla entre 15.42 % y 31.42 % y limo entre 33.86 % y 41.86 %. Aunque las medias del bosque restaurado mostraron tendencias más favorables (pH promedio 5.03 frente a 4.13; acidez intercambiable 1.52 frente a 2.73 cmol(+)/kg y aluminio intercambiable 0.97 frente a 1.52 cmol(+)/kg), estas diferencias no alcanzaron significancia estadística, principalmente debido al reducido tamaño de muestra ($n = 3$ por zona) y a la elevada variabilidad espacial propia de los suelos tropicales. En consecuencia, los resultados indican que, con el tiempo de restauración evaluado y el número de muestras analizadas, el suelo del bosque restaurado aún no presenta una recuperación estadísticamente diferenciada respecto al uso ganadero continuo, aunque las tendencias observadas sugieren un proceso de mejora progresiva de las propiedades químicas.

- La estructura física del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas entre ambas zonas ($p > 0,05$). Ambas áreas mantuvieron una textura predominantemente franca y franco arcillosa, con contenidos de arena entre 32,72 % y 42,72 %, arcilla entre 15,42 % y 31,42 % y limo entre 33,86 % y 41,86 %. El bosque restaurado registró un mayor contenido promedio de limo (40,53 %) en comparación con la zona ganadera (37,19 %), lo que favorece una mejor retención de agua. En campo se observó mayor compactación en la zona ganadera (especialmente en el punto ZG1), mientras que el bosque restaurado presentó menor compactación, asociada a mayor cobertura vegetal.

- El bosque restaurado presentó mejores condiciones químicas. El pH en la zona ganadera osciló entre 3,9 y 4,3 (fuertemente ácido), mientras que en el bosque restaurado varió entre 4,4 y 6,1, alcanzando valores cercanos a condiciones óptimas. La acidez intercambiable fue mayor en la zona ganadera (hasta 3,90 cmol(+)/kg) frente al bosque restaurado (mínimo de 0,25 cmol(+)/kg). El aluminio intercambiable alcanzó valores de hasta 2,40 cmol(+)/kg en ambas zonas, aunque con menor frecuencia y magnitud en el bosque restaurado. La materia orgánica presentó valores promedio similares (2,35 % en zona ganadera y 2,30 % en bosque restaurado), sin embargo, mostró mayor estabilidad en el sistema restaurado (2,70 % – 2,80 %).

- La fertilidad del suelo presentó alta variabilidad en ambas zonas, sin diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$). No obstante, el bosque restaurado mostró mejores tendencias en algunos nutrientes, especialmente en magnesio (1,05 cmol(+)/kg frente a 0,58 cmol(+)/kg en la zona ganadera). El fósforo presentó alta variabilidad, con valores de hasta 73,97 mg/kg en zona ganadera y 52,80 mg/kg en bosque restaurado. La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) varió entre 3,56 y 11,28 cmol(+)/kg. En general, el bosque restaurado presenta una fertilidad más equilibrada, mientras que la zona ganadera se encuentra limitada principalmente por la acidez y la alta saturación de aluminio (hasta 74,39 % de Al+H).

5.2 Recomendaciones

Basado en los hallazgos, se recomienda:

- Implementar prácticas de manejo sostenible en la zona ganadera, tales como la rotación de pastoreo y la reducción de la carga animal, con el fin de disminuir la compactación y evitar la acidificación del suelo.
- Aplicar enmiendas orgánicas y correctivos de acidez (como cal agrícola) en los suelos ganaderos, debido a su pH fuertemente ácido (3,9–4,3) y alta acidez intercambiable (hasta 3,90 cmol(+)/kg), para mejorar la disponibilidad de nutrientes.
- Promover sistemas silvopastoriles o reforestación progresiva, incorporando especies arbóreas que contribuyan a recuperar la materia orgánica y mejorar la fertilidad del suelo.
- Mantener y fortalecer las acciones de restauración en el Jardín Botánico “Biokuka”, ya que presenta mejores condiciones de suelo (pH hasta 6.1 y materia orgánica estable de 2.70–2.80%).
- Realizar monitoreo periódico del suelo, evaluando parámetros como pH, materia orgánica y nutrientes, para verificar la evolución de la calidad del suelo en ambas zonas con la finalidad de ver como se mejora la calidad del suelo.
- Incorporar fertilización balanceada, especialmente en potasio, debido a sus bajos niveles en ambas zonas (<0.1 – 0.32 cmol(+)/kg), lo cual limita la productividad del suelo.
- Desarrollar programas de educación ambiental para productores ganaderos, orientados al manejo adecuado del suelo y la importancia de conservar su fertilidad a largo plazo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., Díaz, C. J., Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Díaz, C. J. (2019). Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. *Información tecnológica*, *30*(6), 337-350. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600337

Alvarez Arteaga, G., Ibáñez Huerta, A., Orozco Hernández, M. E., & García Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, *22*(2), 5. https://doi.org/10.36677/qret.v22i2.13302

Aquino, L. A., Alvarez, M. Ñ., & Rofner, N. F. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *TAYACAJA*, *3*(1), Article 1. https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75

Aronson, J., Milton, S. J., & Blignaut, J. N. (2012). *Restoring Natural Capital: Science, Business, and Practice*. Island Press.

Brenes Pérez, C. F. (2009). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica*. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4473

Buendia, B., Bernal Marcelo, A. R., Bautista Vargas, M., Quispe Rodriguez, J., Hurtado Rivera, J. A., & Sotomayor Córdova, I. (2017). Influencia de sistemas forestales sobre los suelos en selva Alta Oxapampa Pasco. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, *5*(1), 2.

Burga Díaz, N. (2023). *Influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica del suelo del bosque montano La Palma, Chota, 2022.* http://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/388

Chazdon, R. L. (2014). *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226118109.001.0001

Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: A new synthesis. *Ecological Applications*, *27*(2), 662-668. https://doi.org/10.1002/eap.1473

Condezo Sánchez, N. F. (2023). Recuperación de suelos degradados por cultivos de coca con Rhizobium S.P en el departamento de Huánuco, Provincia de Leoncio

Prado, Distrito de Santo Domingo de Anda, 2019—2020. *Universidad de Huánuco*. http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/9402081

Cutire Tinta, L., & Ramirez Chávez, L. M. (2018). Caracterización ecológica de bosques secundarios regenerados en áreas degradadas producto de la actividad aurífera en la comunidad de Tres Islas, Madre de Dios, Perú. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*. http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/347

Delelegn, Y. T., Purahong, W., Blazevic, A., Yitaferu, B., Wubet, T., Göransson, H., & Godbold, D. L. (2017). Changes in land use alter soil quality and aggregate stability in the highlands of northern Ethiopia. *Scientific Reports*, *7*(1), 13602. https://doi.org/10.1038/s41598-017-14128-y

Delgado Esguerra, M. (2012). *Aplicación de las características fisicoquímicas del suelo como indicadoras de la efectividad de las estrategias de restauración implementadas en el Corredor Barbas – Bremen (Quindío – Colombia)*. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/68754

Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology*, *17*(4), 1658-1670. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x

Flores Fernández, J. L., Hartmann, P., Schäffer, J., Puhlmann, H., & von Wilpert, K. (2017). Initial recovery of compacted soil—Planting and technical treatments decrease CO2 concentrations in soil and promote root growth. *Annals of Forest Science*, *74*(4), 1-12. https://doi.org/10.1007/s13595-017-0672-8

Gelaw, A. M., Singh, B. R., & Lal, R. (2014). Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *188*, 256-263. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.035

Giraldo, L. P., Chara, J., Chará-Serna, A. M., Ramírez, Y. P., Giraldo, L. P., Chara, J., Chará-Serna, A. M., & Ramírez, Y. P. (2020). Restauración de corredores ribereños en paisajes ganaderos de la zona andina colombiana: Efectos tempranos en el ambiente acuático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *44*(171), 652-664. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1063

Granda Moser, V., Finegan, B., Ramos Bendaña, Z. S., Detlefsen Rivera, G., & Molina, A. (2015). *Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión*

natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica: Composición, diversidad y especies maderables. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7247

Graziati, G. (2023). *Bosques secundarios: Qué son, características, flora y fauna - Resumen*. ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/bosques-secundarios-que-son-caracteristicas-flora-y-fauna-4388.html

Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, *8*(4), 345-360. https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x

Hancock, L. (2019). *La degradación de los bosques*. World Wildlife Fund. https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/la-degradacion-de-los-bosques-por-que-afecta-a-las-personas-y-la-vida-silvestre

Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, *7*(5), 5875-5895. https://doi.org/10.3390/su7055875

Lal, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, *24*(8), 3285-3301. https://doi.org/10.1111/gcb.14054

Lugo, A. E., & Brown, S. (1993). Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil*, *149*(1), 27-41. https://doi.org/10.1007/BF00010760

PAOT. (s. f.). *Semarnat—Degradación del suelo*. Recuperado 18 de julio de 2024, de https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.2_Degradacion/index.htm

Peña Altamirano, T. P. (2020). *Estudio de la diversidad y biomasa de helechos en bosques de diferentes estados de conservación en un gradiente altitudinal en los Andes tropicales del Ecuador para determinar su respuesta al cambio de uso del suelo.* [masterThesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica]. https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/1847

Petkova, E., Larson, A. M., Pacheco, P., & eds. (2011, enero 1). Gobernanza forestal y REDD+: Desafíos para las políticas y mercados en América Latina. *CIFOR-ICRAF*. https://doi.org/10.17528/cifor/003642

Rodríguez-León, C. H., Peña-Venegas, C. P., Sterling, A., Castro, D., Mahecha-Virguez, L. K., Virguez-Díaz, Y. R., & Silva-Olaya, A. M. (2021). Soil Quality

Restoration during the Natural Succession of Abandoned Cattle Pastures in Deforested Landscapes in the Colombian Amazon. *Agronomy*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/agronomy11122484

Saavedra Romero, L. de L., Alvarado Rosales, D., Martínez Trinidad, T., & Hernández de la Rosa, P. (2020). Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Terra Latinoamericana*, *38*(3), 529-540. https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644

Salazar, R., Alegre, J., Pizarro, D., Duff, A. J., García, C., & Gómez, C. (2024). Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, *98*(7), 2157-2167. https://doi.org/10.1007/s10457-024-00969-w

Solsol Ramírez, E. (2018). *La recuperación de suelos degradados ex cocales por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 20 años en el distrito de Mariano Dámaso Beraun-2018*. https://hdl.handle.net/20.500.14292/1468

Stumpf, L., Fernandez, M. B. D. G., Miguel, P., Pinto, L. F. S., Schubert, R. N., Filho, L. C. I. de O., Montiel, T. H., Barbosa, L. D. S., Leidemer, J. D., & Duarte, T. B. (2022). Impact of Revegetation on Ecological Restoration of a Constructed Soil in a Coal Mining in Southern Brazil. En *Vegetation Dynamics, Changing Ecosystems and Human Responsibility*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.105895

UNESCO, FAO, & UNEP. (1978). *Tropical forest ecosystems; a state-of-knowledge report*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000218153

United Nations. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication

Vallejos Torres, G., Gaona Jimenez, N., Lozano, A., Paredes, C. I., Lozano, C. M., Alva Arévalo, A., Saavedra Ramírez, J., Arévalo López, L. A., Reategui, K., Mendoza, W., Baselly Villanueva, J. R., & Marín, C. (2023). *Soil organic carbon balance across contrasting plant cover ecosystems in the Peruvian Amazon*. https://hdl.handle.net/20.500.12955/2302

Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Lozano, A., Saavedra, H., Arévalo, A. A., Vargas, C. R., Saavedra-Ramírez, J., Tuesta-Hidalgo, J., Tuesta-Hidalgo, O. A., Vilela, L., Valdez-Andía, M. J., Reategui, K., Baselly-Villanueva, J. R., Marín,

C., & Vento, B. (2026). Impact of forest degradation on soil properties in the Peruvian Amazon. *Carbon Balance and Management*, *21*(1), 16. https://doi.org/10.1186/s13021-025-00391-4

Vásquez, H. V., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Arbizu, C. I., Alegre, J. C., & Maicelo, J. L. (2021). Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru. *Heliyon*, *7*(8), e07725. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07725

Veldkamp, E., Schmidt, M., Powers, J. S., & Corre, M. D. (2020). Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(11), 590-605. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0091-5

ANEXO

Anexo 01. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DISEÑO	POBLACION Y MUESTRA
Problema General: ¿Cuál es la diferencia en la estructura y composición del suelo de un bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de un suelo de uso ganadero continuo en Ucayali? **Problemas específicos:** ¿Cuál es la estructura física del suelo, como la textura, compactación y capacidad de retención de agua, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo? ¿Cuáles son las diferencias en la composición química del suelo, pH, contenido de nutrientes y materia orgánica del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el	**Objetivo general** Comparar la estructura y composición del suelo de un bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y de un suelo de uso ganadero continuo en Ucayali. **Objetivos específicos** Evaluar la estructura física del suelo, como la textura, compactación y capacidad de retención de agua, del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo. Evaluar composición química del suelo, pH, contenido de nutrientes y materia orgánica del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y el suelo de uso ganadero continuo.	**Hipótesis general** **Ha**: La estructura y composición del suelo en el bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" presentan diferencias significativas en comparación con la zona ganadera de uso continuo en Ucayali. **Hipótesis especifica 1** La estructura física del suelo, en términos de textura, compactación y capacidad de retención de agua, será significativamente mejor en el bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" que, en la zona ganadera, presentando suelos menos compactados y con mejor retención de agua. (Ha). **Hipótesis Específica 2:** La composición química del suelo en el bosque	**V1: Independiente** **Tipo de Uso del Suelo**	**Bosque restaurado**: Área restaurada y gestionada para recuperar las características ecológicas originales del bosque. **Zona Ganadera 1 y 2:** Suelos afectados por el pastoreo y la actividad ganadera intensiva.	Tipo y diversidad de especies presentes Compactación del suelo y pérdida de materia orgánica	No Experimental Cuantitativo Método Comparativo y Descriptivo-Correlacional	**Población:** Suelos de todo el bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y la zona ganadera de uso continuo en Ucayali **Muestra**: 3 puntos de muestreo de las 2 Áreas del estudio.
			V2: Dependiente: **Composición Química del Suelo**	pH del suelo	(pH 0-14)		
				Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K) Otros nutrientes	% de Nutrientes o elementos presentes en el suelo		
				Materia orgánica	% de materia orgánica en el suelo		
				Proporción de arena, limo, arcilla	(%).		

suelo de uso ganadero continuo? ¿Cuál es la fertilidad sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y del suelo de uso ganadero continuo?	Evaluar la fertilidad sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo del bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" y del suelo de uso ganadero continuo	restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" mostrará valores de pH, contenido de nutrientes y materia orgánica significativamente más equilibrados y saludables en comparación con la zona ganadera de uso continuo. (Ha). **Hipótesis Específica 3:** La fertilidad del suelo, medida por la disponibilidad de nutrientes esenciales, será significativamente mayor en el bosque restaurado del Jardín Botánico "Biokuka" en comparación con la zona ganadera de uso continuo. (Ha).	**Estructura Física del Suelo** **Fertilidad del Suelo**	Suelo compactado Retención Hídrica del suelo Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K) Otros nutrientes Calcio, magnesio, azufre, micronutrientes (hierro, manganeso, zinc, etc.).	Resistencia a la penetración (medida en unidades de presión, como kg/cm² o MPa). Capacidad de campo Disponibilidad de nutrientes: (ppm) o Kg/ha		

Anexo 02. Panel fotográfico

Figura 8 Llevando los materiales para sacar las muestras del suelo en el bosque restaurado Biokuka



Figura 9 Realizando la calicata para sacar las muestras correspondientes



Figura 10 Reservando la muestra en una bolsa con su respectiva etiqueta



Figura 11 Muestras de suelo de los 3 puntos distintos en el bosque restaurado Biokuka



Figura 12 Fundo ganadero



Figura 13 Suelo de uso ganadero continuo



Figura 14 de suelo de los 3 puntos distintos en un fundo ganadero



.

Figura 15 Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares del INIA donde se analizaron las muestras del bosque restaurado Biokuka y del fundo ganadero



Anexo 03. Análisis de laboratorio

Figura 16 Resultados de las muestras de suelo de la zona ganadera del fundo Rocio y del Jardín Botánico BIOKUKA realizadas en el laboratorio del INIA Km 44 CFB

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INACAL

INFORME DE ENSAYO

LABSAF PUCALLPA

N° 030160-26/SU/PC / SU / PC

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Propietario / Productor	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Dirección del cliente	: Zona Gandera Km 18 - Jardin Botanico BIOKUKA - Campo Verde
Solicitado por	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Muestreado por	: El cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: Zona Gandera Km 18 - Jardin Botanico BIOKUKA - Campo Verde
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2026-02-16
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2026-02-20
Lugar de ensayo	: LABSAF PUCALLPA
Fecha(s) de análisis	: Del 2026-02-25 al 2026-03-11
Cotización del servicio	: 043-26-PC
Fecha de emisión	: 2026-03-17

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU0476-PC-26	SU0477-PC-26	SU0478-PC-26	SU0479-PC-26	SU0480-PC-26	SU0481-PC-26
Matriz Analizada			Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de Muestreo (***)			2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			Zona Ganadera 2 - M1	Zona Ganadera 2 - M2	Zona Ganadera 2 - M3	Bosque Restaurado 2 - M1	Bosque Restaurado 2 -M2	Bosque Restaurado 2 - M3
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH	unid. pH	0,10	3,9	4,2	4,3	4,6	6,1	4,4
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	3,9	3,2	1,1	0,8	**<0,5**	3,5
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	2,4	1,9	**<0,5**	**<0,5**	**<0,5**	2,4
Materia Orgánica	%	0,30	1,70	2,20	3,10	2,70	2,80	1,40
Textura	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	%	-	34,72	32,72	42,72	32,72	42,72	32,72
Arcilla	%	-	31,42	29,42	17,42	27,42	15,42	27,42
Limo	%	-	33,86	37,86	39,86	39,86	41,86	39,86
Clase Textural	-	-	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso

INFORME DE ENSAYO

LABSAF PUCALLPA

N° 030161-26NA/SU/PCNA / SU / PC

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Propietario / Productor	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Dirección del cliente	: Zona Gandera Km 18 - Jardín Botanico BIOKUKA - Campo Verde
Solicitado por	: Jose Rodolfo Farfan Dreyfus
Muestreado por	: El cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: Zona Gandera Km 18 - Jardín Botanico BIOKUKA - Campo Verde
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2026-02-16
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2026-02-20
Lugar de ensayo	: LABSAF PUCALLPA
Fecha(s) de análisis	: Del 2026-02-25 al 2026-03-11
Cotización del servicio	: 043-26-PC
Fecha de emisión	: 2026-03-17

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU0476-PC-26	SU0477-PC-26	SU0478-PC-26	SU0479-PC-26	SU0480-PC-26	SU0481-PC-26
Matriz Analizada			Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de Muestreo (***)			2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16	2026-02-16
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			Zona Ganadera 2 -M1	Zona Ganadera 2 - M2	Zona Ganadera 2 - M3	Bosque Restaurado 2 - M1	Bosque Restaurado 2 - M2	Bosque Restaurado 2 -M3
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Calcio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0,10	0,70	7,27	1,68	1,85	2,82	0,14
Magnesio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0,10	0,37	0,49	0,88	0,62	2,32	0,21
Sodio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0,10	<0,1	0,14	0,16	<0,1	0,77	<0,1
Potasio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0,10	0,25	0,18	<0,1	0,32	<0,1	0,14
CICe	cmol (+)/Kg	-	5,22	11,28	3,83	3,56	5,92	3,99
Saturación de Aluminio e Hidrógeno	%	-	74,39	28,42	27,87	21,81	0,00	87,73
Fósforo Disponible	mg/kg	0,40	3,99	9,92	73,97	18,06	52,80	8,48