Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación del efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal sobre las propiedades del suelo en una zona del bosque Sunsun Yanasacha

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

Autores:

Jorge Eduardo Ortega Chacón

Kevin Eduardo Chacón Quezada

Director:

Pablo Marcelo Borja Ramón

ORCID: 0000-0002-9852-101X

Cuenca, Ecuador

2025-05-08

Resumen

La presente investigación evalúa el efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal sobre las propiedades del suelo en el bosque protector Sunsun Yanasacha, ubicado en la provincia del Azuay, Ecuador. Se analizaron las coberturas de bosque natural, bosque de pino, pajonal y potrero, con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo en cada una de ellas y evaluar el efecto que causan las diferentes coberturas vegetales. Para ello, se realizaron muestreos y análisis de laboratorio que permitieron determinar variables como el pH, la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO) y la densidad aparente (DA), color y textura. Los resultados revelan que las coberturas de bosque natural y pajonal presentan un elevado contenido de materia orgánica (56.92% y 56.13%, respectivamente) y una baja densidad aparente (0.31 g/cm³ y 0.28 g/cm³), lo que sugiere una buena fertilidad del suelo. En contraste, la cobertura de potrero mostró una mayor densidad aparente (0.59 g/cm³) y un menor contenido de materia orgánica (29.83%), indicando un deterioro en la calidad del suelo, posiblemente debido a prácticas de manejo inadecuadas. Además, se observó que las coberturas vegetales influyen en la acidez y salinidad del suelo, siendo el bosque de pino el que más afecta estas propiedades. Esta investigación resalta la importancia de considerar el tipo de cobertura vegetal en la gestión y conservación de suelos en áreas de alta biodiversidad. Los resultados obtenidos no solo contribuyen al conocimiento científico sobre las propiedades del suelo, sino que también proporcionan información valiosa para las comunidades locales y futuras investigaciones.

Palabras clave del autor: cobertura vegetal, calidad del suelo, fertilidad, conservación

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: https://dspace.ucuenca.edu.ec/

Abstract

This research evaluates the effect of four types of vegetation cover on soil properties in the Sunsun Yanasacha protective forest, located in the province of Azuay, Ecuador. The natural forest, pine forest, grassland and pasture were analyzed in order to characterize the physical and chemical properties of the soil in each of them and to evaluate the effect caused by the different vegetation covers. For this purpose, sampling and laboratory analyses were carried out to determine variables such as pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM) and bulk density (DA), color and texture. The results reveal that the natural forest and grassland coverages have a high organic matter content (56.92% and 56.13%, respectively) and a low bulk density (0.31 g/cm³ and 0.28 g/cm³), suggesting good soil fertility. In contrast, the paddock cover showed a higher bulk density (0.59 g/cm³) and a lower organic matter content (29.83%), indicating a deterioration in soil quality, possibly due to inadequate management practices. In addition, it was observed that the vegetation covers influence soil acidity and salinity, being the pine forest the one that most affects these properties. This research highlights the importance of considering the type of vegetation cover in soil management and conservation in areas of high biodiversity. The results obtained not only contribute to scientific knowledge on soil properties, but also provide valuable information for local communities and future research.

Author Keywords: vegetation cover, soil quality, fertility, conservation

The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: https://dspace.ucuenca.edu.ec/

Índice de contenido

Resumen 2
Abstract 3
Índice de contenido 4
Índice de figuras 6
Índice de tablas 7
Abreviaturas Y simbología 8
Agradecimientos 9
Agradecimientos 10
Dedicatoria 11
Dedicatoria 12
1 Introducción 13
2 Objetivos 15
2.1 Objetivo general 15
2.2 Objetivos específicos 15
3 Revisión bibliográfica 15
3.1 Propiedades físicas del suelo 15
3.2 Propiedades Químicas del suelo 17
3.3 Cobertura forestal nativa (Bosque Natural) 18
3.4 Cobertura forestal exótica (Bosque de Pino) 18
3.5 Cobertura vegetal Pajonal 19
3.6 Cobertura de Pasto (Potrero) 19
3.7 Factores que afectan las propiedades del suelo 20
4 Materiales Y Métodos 20
4.1 Área de estudio 20
4.2 Análisis de las propiedades físicas y químicas 21
4.3 Análisis de las propiedades químicas 24
5 Diseño experimental 25
5.1 Análisis estadístico para el objetivo 1 25
5.2 Análisis estadístico para el objetivo 2 26
6 Resultados 26
6.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas bajo las cuatro coberturas. 26

6.2 Evaluación del efecto de las 4 coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. 30
7 Discusión 34
7.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas bajo las cuatro coberturas. 34
7.2 Evaluación del efecto de las 4 coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. 36
8. Conclusiones 38
9. Recomendaciones 39
Referencias 40
Anexos 45
Anexo A. Zona de estudio 45
Anexo B. Determinación de las propiedades físicas y químicas en laboratorio 48
Anexo C. Test de Levene en las diferentes variables 49

Índice de figuras

Figura 1. Zona de estudio de las cuatro coberturas vegetales dentro del Bosque Protector Sunsun Yanasacha, ubicado en la Provincia del Azuay. 21
Figura 2. Determinación de la textura del suelo de las cuatro coberturas mediante el hidrómetro..... 23
Figura 3. Tabla de Munsell para la determinación del color del suelo..... 23
Figura 4. Pesado de las muestras de suelo para la determinación de la MO..... 25
Figura 5. Diseño de la ubicación de la toma de muestras 25
Figura 6. Boxplot del pH y DA de las coberturas analizadas. 31
Figura 7. Boxplot de CE Y MO de las coberturas analizadas. 32
Figura 8. Boxplot de porcentaje de arena limo y arcilla en las coberturas analizadas. 33
Figura 9. Cobertura de Potrero 46
Figura 10. Cobertura de Pino..... 46
Figura 11. Cobertura de Bosque Natural 47
Figura 12. Cobertura de Pajonal 48
Figura 13. Muestras para la determinación de materia orgánica 49
Figura 14. Muestras para determinar la textura del suelo 49

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo según su diámetro en dos sistemas de clasificación. 16
Tabla 2. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Bosque Natural (BN). 26
Tabla 3. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Bosque de pino (BP). 27
Tabla 4. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de pasto o potrero (PO). 27
Tabla 5. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Pajonal (PA) 28
Tabla 6. Clases Texturales obtenidas en las diferentes coberturas a dos profundidades. .. 29
Tabla 7. Prueba de normalidad para las diferentes variables. 30
Tabla 8. Prueba de Tukey P>0.05 para las variables normales, pH y DA. 30
Tabla 9. Prueba no paramétrica para las variables que no presentan normalidad 31
Tabla 10. Correlación de Pearson entre las propiedades físicas y químicas 33
Tabla 11. Contenido de nutrientes en las diferentes coberturas en diferentes profundidades y el horizonte orgánico 34
Tabla 12. Prueba de homogeneidad mediante test de Levene para las diferentes variables 49

Abreviaturas Y simbología

BP: Cobertura de Bosque de Pino

BN: Cobertura de Bosque Natural

PO: Cobertura de Potrero

PA: Cobertura de Pajonal

MO: Materia Orgánica

CE: Conductividad Eléctrica

DA: Densidad Aparente

dS/m: Decisiemens por metro

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me apoyaron en este transcurso académico, su aliento y guía fueron fundamentales.

En primer lugar, agradezco a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional me han brindado la fortaleza necesaria para superar los desafíos, sin su aliento constante, este logro no habría sido posible.

A mi tutor de tesis Ing. Pablo Borja, PhD. Y a la Ing. Yessica Rosales, gracias por su invaluable orientación y por compartir su sabiduría, sus enseñanzas han sido fundamentales en mi desarrollo académico.

Finalmente, agradezco a mi mismo por la perseverancia y la dedicación que me llevaron a culminar esta tesis, este logro es el resultado de un esfuerzo conjunto y un compromiso personal.

Jorge Eduardo Ortega Chacón

Agradecimientos

Quiero Agradecer a mi familia que me apoyo en todo momento de mi formación académica para ser un profesional.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me brindaban en todo momento, por no dejar que me rinda en el avance de mi formación, además, por siempre brindarme consejos que me ayudaron a culminar mi carrera.

A mis compañeros por compartir momentos únicos y por brindarme su apoyo en el transcurso del tiempo que compartimos.

A mi compañero de trabajo Eduardo Ortega que mediante dificultades logramos terminar con éxito este trabajo.

Quiero agradecer a la Ingeniería Johana Serrano quien fue una amiga y tutora que nos ayudó en un corto tiempo, que, con su conocimiento y paciencia, nos brindó su tiempo para ayudar en el avance de este trabajo.

A nuestra amiga Ingeniera Yessica Rosales quien sin su ayuda no sería posible haber avanzado y culminado este trabajo de titulación.

En especial a todos esos profesores que nos ayudaron en el transcurso de formación, así como en el transcurso de elaboración de este trabajo. Además, a nuestro Tutor Ingeniero Pablo Borja por brindarnos de sus conocimientos para la exitosa culminación de esta Tesis, así como al comité de revisión quienes nos brindaron de su tiempo para ayudarnos.

Kevin Eduardo Chacon Quezada

Dedicatoria

Dedico esta tesis a la memoria de mi quería abuela Bernardita, quien siempre fue una fuente de inspiración y amor incondicional, aunque ya no esté físicamente conmigo, su sabiduría y valores han dejado una huella imborrable en mi vida.

A mis padres, gracias por su apoyo y por ser mis pilares fundamentales en cada paso de este camino. Mamita querida, tu amor y dedicación me ha enseñado la importancia de la perseverancia.

Este logro es el resultado del amor y esfuerzo de todos ustedes, siempre llevaré sus enseñanzas en mi corazón.

Jorge Eduardo Ortega Chacón

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mi familia por su apoyo en todo este tiempo, quienes fueron una inspiración para poder seguir adelante durante toda mi formación académica.

Este es el logro de los esfuerzos que he conseguido mediante el apoyo de mi familia y todos los que me han brindado su apoyo de inicio a final.

Kevin Eduardo Chacon Quezada.

1 Introducción

Los páramos y bosques son altamente biodiversos, lo que es una de sus características más destacadas, estos ecosistemas ofrecen numerosos servicios, como la captura de carbono, la regulación del agua, la protección del suelo y la conservación de la biodiversidad (Pinos-Morocho et al., 2021). Para el caso de Ecuador, los páramos se extienden alrededor de 12560 km² de superficie, cuentan con una altitud media aproximada de 3300 msnm, ocupan el 7% del espacio que comprende el territorio nacional y son determinantes para la provisión de agua a gran parte de la población de la Sierra. Esta disponibilidad hídrica se debe principalmente a las características particulares de los suelos de los páramos (Chuncho & Chuncho, 2019). A pesar de que los servicios ecosistémicos que propician sean muy importantes, los mismos pueden ser amenazados con el cambio climático, el cual a su vez influye en el ciclo hidrológico y la distribución del agua. Por otro lado, los cambios en el uso del suelo y las prácticas agrícolas pueden causar problemas de erosión en estos ecosistemas (Buytaert et al., 2005)

Al igual que los páramos, los bosques naturales son característicos por tener abundante agua en forma de humedales y redes hídricas que se drenan hacia partes medias y bajas de las cuencas donde habita gran parte de la población de los países andinos, un claro ejemplo son las ciudades de Cuenca y Quito, debido a que sus ríos de los cuales captan el agua son bien regulados hidrológicamente (Mena V. et al., 2011). Los bosques abarcan vegetaciones únicas, tanto por su composición florística como por las particularidades evolutivas que han desembarcado en altos niveles de endemismo y diversidad biológica. Además, bosques naturales contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad de los ecosistemas, por tanto, colaboran de gran manera a mitigar el cambio climático (Aguilar et al., 2020)

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre y es la interfaz entre la litosfera y la atmósfera, es esencial para la vida en la Tierra ya que asimila energía e interactúa fuertemente con la biosfera y la hidrosfera, convirtiéndolo en uno de los componentes más importantes de todo el ecosistema terrestre y el más básico de todos los recursos naturales. Los suelos de la Sierra del Ecuador son diversos y varían en composición y características según la altitud y la región. El Ecuador se caracteriza por la gran variedad y la riqueza de sus recursos naturales, siendo

especialmente notable la presencia de suelos volcánicos con un alto potencial agrícola y una amplia variedad de climas que se extienden en distancias cortas (De Noni & Trujillo, 1986)

El bosque protector Sunsun Yanasacha se encuentra en la sierra sur del Ecuador, en la provincia de Azuay y tiene 3850 hectáreas. Según el acuerdo ministerial de 1983, se establecieron y delimitaron las zonas de protección, ya que se trata de zonas de alta captación de agua. Este acuerdo ministerial también prohíbe el uso y la degradación de las coberturas naturales del bosque con el fin de conservar las zonas de naturaleza intacta y de vida silvestre. No obstante, en el sector Sunsun Yanasacha, los suelos han cambiado, ya sea por el tiempo de su desarrollo o por expansión de la frontera agrícola, lo que ha conllevado al deterioro del recurso suelo y se ha visto afectada su capacidad para retener agua (Pinos, 2022)

Uno de los eventos más importantes a nivel global es la pérdida de la cobertura vegetal, debido a que altera el ciclo hidrológico, y produce otros problemas como la erosión, perdida de la capacidad de almacenamiento de agua, compactación, entre otros. La propagación de la degradación de los suelos ha ido aumentando considerablemente en los últimos 50 años, esta degradación ha conllevado a importantes pérdidas en la calidad del suelo. El suelo se llega a degradar cuando sus propiedades no tienen la capacidad de regenerarse naturalmente, por ende, se debe alcanzar un conocimiento adecuado sobre el uso del suelo a través de la evaluación de sus propiedades(Leyva R. et al., 2018). La mejor manera de saber si un suelo se está degradando es a través de la evaluación de sus propiedades tanto físicas como químicas (Rucks et al., 2004a)

Teniendo en cuenta estos antecedentes y problemática, el presente tema de tesis se enfoca en el suelo, analizando el efecto de las diferentes coberturas vegetales sobre algunas propiedades tanto físicas como químicas del suelo. Los resultados de este trabajo de titulación serán utilizados como fuente de información para las comunidades cercanas contribuyendo a entender mejor las condiciones de sus terrenos, además, los resultados obtenidos en la realización de esta investigación contribuyen a ampliar el conocimiento sobre las propiedades del suelo y su relación con el cambio de uso y como insumo para futuras investigaciones y trabajos de titulación.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal sobre las propiedades del suelo en una zona del bosque protector Sunsun Yanasacha.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo en las diferentes coberturas evaluadas.
- Evaluar el efecto de las 4 coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

3 Revisión bibliográfica

3.1 Propiedades físicas del suelo

El rol del suelo en un ecosistema y su manejo correcto está determinado mayormente por las propiedades físicas del suelo. Estas propiedades condicionan fenómenos como el crecimiento de las plantas, el movimiento del agua sobre y a través del suelo, nutrientes. Las propiedades físicas del suelo se pueden agrupar en dos grupos:

- **Propiedades físicas fundamentales:** textura, estructura, color, consistencia, densidad y temperatura.
- **Propiedades físicas derivadas:** porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, compactación y profundidad efectiva de raíces (Corbella, 2023).

Es importante comprender la importancia de las propiedades físicas del suelo, dado a la forma en que se mezclan recursos como el agua, el aire y partes sólidas; dependiendo de la cantidad y disposición de estos, se produce la circulación de nutrientes, minerales, materia orgánica que favorecen las condiciones para la plantación de plantas (Bautista Niampira, 2020).

3.1.1 Densidad aparente

Esta es una de las propiedades más importantes del suelo porque permite determinar las otras propiedades del suelo, además es susceptible a cambios producidos por compactación por el peso de labores agrícolas o por el peso de las láminas de riego aplicadas. Otro factor en los cambios del valor de la densidad aparente es el contenido de agua en el suelo, debido al cambio en el diámetro equivalente de los poros (Cid Lazo et al., 2021). Los suelos de origen volcánico se caracterizan por tener una baja densidad aparente y su gran capacidad para retener agua por su elevada microporosidad (Cárdenas Fonseca, 2015).

3.1.2 Textura

La textura del suelo hace referencia a la proporción de sus elementos que la constituyen como lo son la arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Las propiedades de las partículas finas y gruesas del suelo difieren considerablemente. Usualmente, los suelos se clasifican en 3 categorías por tamaño denominados como arena, limo y arcilla. La roca madre determinará la tendencia a ser arcilloso, limoso, arenoso según que la roca madrea sea arcillosa, limosa o arenosa.

Existen varias y diferentes clasificaciones de las fracciones, de las cuales son las dos más importantes; la establecida por el departamento de Agricultura de U.S.A. y la propuesta por el la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (Tabla 1.) (Rucks et al., 2004).

Además, la textura es una propiedad física muy importante debido a que esta determina algunas propiedades físicas como lo son la porosidad, densidad aparente y el tipo de estructura, al igual que determina algunas propiedades químicas como lo son el porcentaje total de sales en el suelo y la capacidad de intercambio catiónico (LLerena, 2023).

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo según su diámetro en dos sistemas de clasificación.

	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena Media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Fuente: (Rucks et al., 2004)

3.1.3 Color

La importancia del color del suelo radica en la información que nos puedo proporcionar sobre la composición y las propiedades del suelo, siendo favorable para la producción agrícola; además, indica la presencia de materia orgánica. El sistema de Munsell es el más utilizado en la determinación del color y permite determinar el color de los horizontes del suelo. Este sistema se basa en el matiz, valor e intensidad, las cuales son las dimensiones en las que se basa este sistema. La información acerca de la composición y las propiedades del suelo se puede obtener a través de la medición del color (Moreno et al., 2010).

3.2 Propiedades Químicas del suelo

3.2.1 pH

El pH del suelo refleja el grado de acidez del suelo, así como la concentración de iones de hidrogeno (H+) que están presentes en el (Soto & Desamparados, 2023). El pH funciona como un indicador de la fertilidad del suelo y es práctico para determinar alguna anomalía en el suelo. Los suelos de los páramos son de carácter ácidos debido a los ácidos orgánicos que los componen. La acidez en suelos de paramo es debido a la presencia del Hidrógeno y el aluminio; el hidrógeno proviene del material vegetal presente como de la materia orgánica. Por lo general, el pH en los suelos de páramos oscila entre 5 -7 y, en algunas regiones del sur del Ecuador se pueden encontrar suelos con un rango de 3.9 a 5.8 (Llambí et al., 2012).

El pH es una propiedad del suelo en la que se relaciona directamente con la actividad biológica, un pH inferior a 6 la actividad microbiana como pueden ser gusanos de tierra y bacterias. Sin embargo, en suelos con un pH neutro o ligeramente básicos incrementa los microrganismos y a su vez su actividad (Soriano, 2018).

3.2.2 Conductividad Eléctrica

Es una medida que determina la concentración de sales presentes en el suelo. Las sales son beneficiosas para quienes la consumen disueltas en agua, sin embargo, un exceso de estas, afecta al crecimiento de las plantas, así como la actividad de los microorganismos. La conductividad eléctrica puede variar en amplios rangos dependiendo de algunos factores como el material de origen, los factores formadores del suelo (Cremona & Enríquez, 2024). Es apropiado realizar un análisis de CE en el suelo para determinar si las sales solubles se encuentran en cantidades que puedan afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas y la absorción del agua por parte de las mismas. El valor de la Conductividad Eléctrica depende las concentraciones de sales disueltas en el suelo (Bermeo & Correa, 2020).

3.2.3 Materia Orgánica

Se describe como una serie de compuestos orgánicos en proceso de descomposición, que abarca desde restos vegetales sin alterar hasta carbono altamente oxidado en forma de ácidos carboxílicos. Se sostiene que, en vez de crear grandes compuestos húmicos que sean estables y químicamente singulares, la materia orgánica del suelo representa un rango de compuestos que se encuentran en diversas fases de descomposición y que mantienen relaciones estrechas con los minerales presentes en el suelo (Lehmann & Kleber, 2015).

La materia orgánica se divide en dos categorías: materia orgánica particulada (POM) y materia orgánica asociada a minerales (MAOM). La POM es más susceptible a perturbaciones y tiene un ciclo de descomposición más acelerado, mientras que la MAOM permanece en el suelo por un período más prolongado gracias a su enlace químico con los minerales (Cotrufo et al., 2019).

3.3 Cobertura forestal nativa (Bosque Natural)

Los bosques naturales o también llamados bosques montanos son poseedores de una gran biodiversidad biológica y se caracterizan por su rareza y singularidad, por lo cual se los denomina ecosistemas frágiles. Los bosques montanos tienen rol fundamental en el mantenimiento y abastecimiento de agua para las poblaciones andinas tropicales, por lo cual es necesario su conservación (Aguirre et al., 2017).

Los bosques montanos tienden a convertirse en un componente importante dentro del balance hídrico debido a su capacidad de captación del agua de la niebla y la disminución de la transpiración. Los bosques montanos cumplen un papel importante en el balance del CO_2 de la atmósfera, llegando a acumular entre 20 a 40 toneladas de carbono por hectárea convirtiéndose en un importante sumidero (Cuesta et al., 2009).

Los ecosistemas montanos que tiene Ecuador son únicos en las tres regiones costa, sierra y oriente. Los bosques montanos son conocidos por su diversidad de flora y fauna en su mayoría endémica. Además, se caracterizan por la presencia de epífitas y musgos que crecen en los árboles; la mayoría de las especies de epífitas son orquídeas. La importancia que radica en los bosques montanos es su régimen hídrico de las cuencas hidrográficas, debido a que capturan de 5 a 20 % sobre su volumen normal de la precipitación (Lozano, 2015).

3.4 Cobertura forestal exótica (Bosque de Pino)

La transformación de la vegetación nativa se ha dado por la implementación de coberturas forestales como son los géneros *Pinus, Cupressus y Eucaliptus.* La implementación del pino en los Andes ha generado impactos negativos especialmente en los páramos bien conservados; entre los impactos negativos se encuentran la alteración en las condiciones micro climáticas y edáficas como el cambio en la estructura (Ruiz, 2014).

En Ecuador se ha dado grandes procesos de expansión de la frontera agrícola lo cual han ocasionado la degradación y perdida de los bosques naturales (Sierra, 2013). Además, se desarrollaron varios planes gubernamentales como MAG, FONAFOR/Plan bosque, Bid y PLANFOR, estos seguían objetivos económicos, biofísicos, secuestro de carbono y "reforestación"; sin embargo, debido a la ausencia de objetivos claros y una planificación coherente el balance ambiental fue negativo produciendo pérdida de vegetación nativa y la pérdida de la fertilidad del suelo (Ansaloni & Chacón, 2003).

3.5 Cobertura vegetal Pajonal

El pajonal es la comunidad vegetal que está presente en todas las microcuencas, en esta cobertura vegetal crecen algunas especies de plantas, así como arbustos; el musgo presente en los macollos del pajonal indica una mayor humedad. Esta cobertura vegetal está presente en las pendientes pronunciadas como en los valles, sobre suelos orgánicos; el pajonal es la cobertura de mayor presencia en el parque nacional Cajas (Minga-Ochoa et al., 2019).

Los pajonales es la vegetación más representativa de los páramos del Ecuador, además, están formados por varias especies de Poacea las cuales son formadoras de macollos, los cuales tienen características ecológicas importantes; las cuales son el almacenamiento de carbono en su biomasa área. Además, la biomasa de los pajonales cumple un papel fundamental en la formación de una barrera física para proteger el suelo, también genera un microclima que mitiga los cambios extremos de temperatura del aire en el páramo (Suárez, 2023).

Los pajonales cumplen una función Hidrológica debido a que recolectan, almacenan y suministran el agua para las necesidades domésticas, agrícolas y de riego. Los pajonales han sufrido un impacto negativo durante mucho tiempo debido al cambio del uso de suelo y las quemas, debido a que servían principalmente para el pastoreo (Mosquera et al., 2022).

3.6 Cobertura de Pasto (Potrero)

Los pastizales crecen en lugares donde los cultivos convencionales no pueden desarrollarse, debido a limitaciones como la humedad, pH y fertilidad. Actualmente, el 26% de la superficie terrestre del planeta y el 70 % de las tierras agrícola están ocupadas por praderas, lo que resulta esencial para la subsistencia de 800 millones de personas. Además, representa una fuente crucial de alimento para el ganado (León et al., 2018).

La agricultura en tierra de páramos causa la alteración del ambiente, así como también de su flora y fauna, y el recurso suelo. El pastoreo persistente, la quema, el cultivo excesivo e incorrecto disminuyen indiscriminadamente las áreas de bosques nativos. Todas estas

prácticas provocan la erosión del suelo. Además, en las zonas de paramo, el cultivo de pasto se considera un sistema de producción con un alto coste económico debido a su baja producción, y un alto coste ecológico. El pasto sembrado en los páramos tiene mayor valor nutritivo que la paja, pero requiere una cantidad adecuada de agua por lo que es necesario implementar sistemas de riego, como punto negativo de estos pastos es su baja productividad y menor resistencia al pisoteo provocando la erosión del suelo (Camacho, 2014).

3.7 Factores que afectan las propiedades del suelo

La reducción de la capacidad actual y potencial del suelo para la producción cuantitativa y cualitativa de bienes y servicios en los agroecosistemas, se ven afectados por los procesos de degradación. El comienzo de la degradación inicia como consecuencia de la eliminación de la cubierta vegetal por acción de origen antrópico. Iniciada la degradación diversos factores intervienen posteriormente como lo son: erosión, salinización, degradación física, química y biológica.

La pérdida de la biodiversidad causada por la eliminación de la cobertura vegetal nativa, lo cual implica un alto riesgo de degradación de los suelos debido a la exposición a la erosión; provocando pérdida de nutrientes y Materia orgánica (MO) (Aschkar, 2022).

4 Materiales Y Métodos

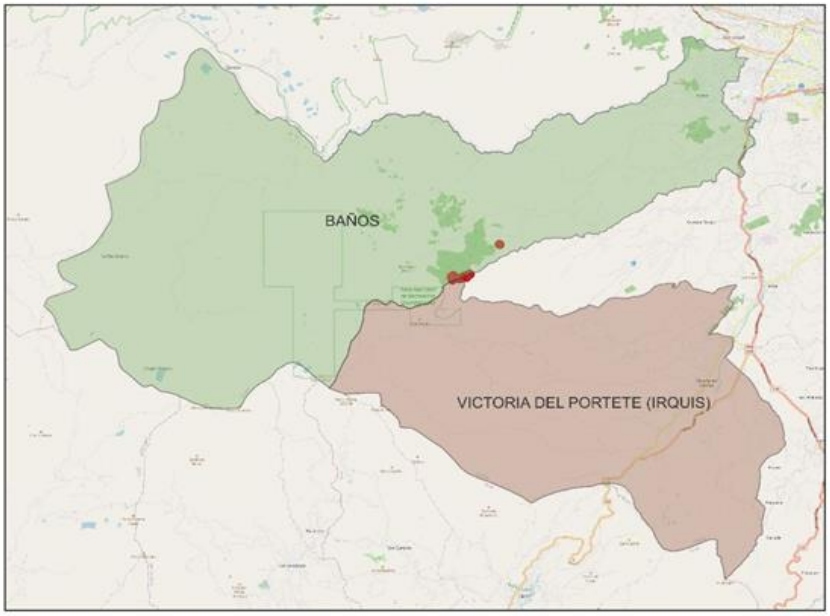
4.1 Área de estudio

Él estudió se realizó en el Bosque protector Sunsun Yanasacha, ubicado entre las parroquias Baños, Victoria del Portete y Tarqui (Figura 1). El bosque protector Sunsun Yanasacha fue creado en 1983 mediante el acuerdo ministerial 206. El Bosque protector Sunsun Yanasacha tiene un rango altitudinal de 3100 m.s.n.m. en su parte baja y 3800 m.s.n.m. en su parte más alta. La temperatura en la zona del bosque oscila entre los -3°C y los 18°C, además cuenta con una superficie de 5293.42 ha (Calderón & Ramón, 2018).

Dentro del área de estudio se definieron cuatro coberturas forestales, las coberturas arbóreas las cuales pertenecen a Bosque de Pino (BP) y Bosque natural (BN), así como también la cobertura de Pajonal (PA) y Potrero (PO). Dentro de cada una de las coberturas se establecieron cuatro parcelas de estudio, donde se obtuvieron las muestras para los respectivos análisis.

Este proyecto de titulación estuvo asociado al proyecto “Ciclaje de nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en una zona del bosque protector Sunsun Yanasacha en la provincia del Azuay”, realizado por el grupo de investigación de Agroforestería y Modelaje del Paisaje

y el grupo de Suelos y Producción, pertenecientes a la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca.



Fuente: Chacon y Ortega 2024

Figura 1. Zona de estudio de las cuatro coberturas vegetales dentro del Bosque Protector Sunsun Yanasacha, ubicado en la Provincia del Azuay.

Fuente: (Instituto geográfico militar, 2008)

4.2 Análisis de las propiedades físicas y químicas

4.2.1 Metodología en campo y laboratorio

Las muestras de suelos fueron recolectadas a diferentes profundidades, en cada una de las coberturas analizadas; las muestras se recolectaron en fundas plásticas y etiquetadas correspondiente a cada cobertura y profundidad. Las muestras de suelos fueron registradas y etiquetadas en el laboratorio de Física de suelos, las cuales fueron sometidas a un pretratamiento (secado, tamizado y pesaje); una vez procesadas se organizaron las muestras en bandejas plásticas para su secado y disposición para la determinación de las propiedades físicas y químicas.

4.2.2 Densidad aparente

Las muestras obtenidas en los anillos de Kopecky que fueron registradas, se colocaron en la estufa y se procedió a secar por 24 horas a 105°C, pasado ese tiempo se pesa la muestra seca con el anillo, luego se calculará el volumen del anillo y se registra su peso, para luego aplicar la siguiente fórmula de densidad aparente:

$$Da = \frac{(peso\ seco\ de\ la\ muestra + anillo) - peso\ del\ anillo}{Volumen\ del\ anillo}$$

4.2.3 Textura

Para el análisis de la textura es de suma importancia que las muestras hayan sido pre tratadas con el propósito de completar la dispersión de las partículas. La realización del análisis se determinó a las profundidades mencionadas (10 y 20 cm) respectivamente de cada una de las parcelas de las coberturas vegetales.

Como primer paso se pesó 60 g de suelo lo cual se procedió a secar en una estufa a 105 grados centígrados, luego de 24 horas se utilizan solamente 20 gr; cantidad necesaria para el método a aplicar.

Seguidamente se agrega 20 mililitros de dispersante de partículas (Hexametafosfato de sodio), y se mezcla bien para que actúe correctamente por 10 minutos. A continuación, la muestra se bate por 15 minutos, en una licuadora para suelos. Una vez completado este proceso las partículas de arena, limo y arcilla se han separado correctamente.

Luego, se procede a pasar la muestra batida por un tamiz de 63 micras, para separar la arena de las demás partículas se lava la muestra en el tamiz con agua. Es importante que solo la arena quede en el tamiz, mientras que el agua que contiene las partículas de arcilla y limo se pasan a una probeta de vidrio de 1000 ml.

La arena retenida en el tamiz se procede a colocar en un recipiente, el cual se lo manda a secar en una estufa por 24 horas a 105°C. Las fracciones de limo y arcilla se colocaron en el hidrómetro y se registran mediciones de la densidad del líquido a los 50 segundos, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas (Figura 2).

Estas partículas pueden ser medidas mediante el hidrómetro, el cual consiste en medir la suspensión, la cual está en función de la concentración y tipos de partículas.

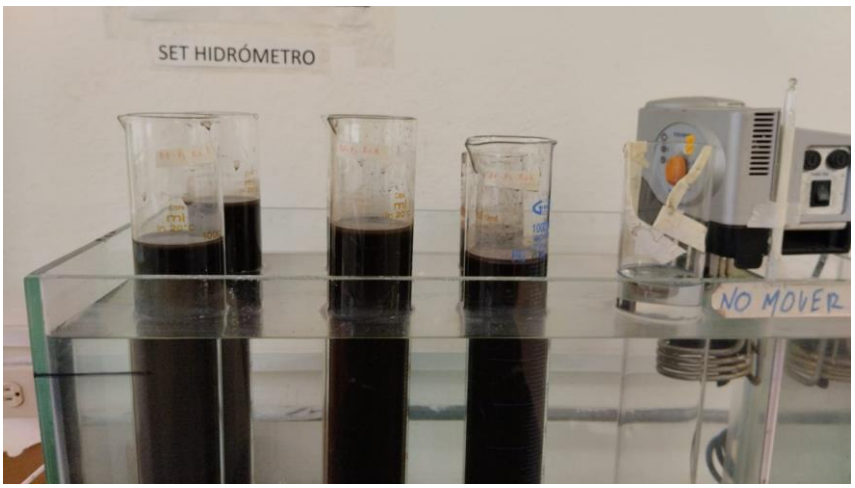


Figura 2. Determinación de la textura del suelo de las cuatro coberturas mediante el hidrómetro.

4.2.4 Color

Para la determinación del color del suelo, en las diferentes coberturas se procedió a tomar una muestra de suelo en húmedo, seguidamente se procede a buscar el color en la tabla de Munsell (Figura 3). Para la determinación del código para la muestra de suelo se anotaron las 3 características que se presentan en la tabla, matiz, brillo e intensidad.

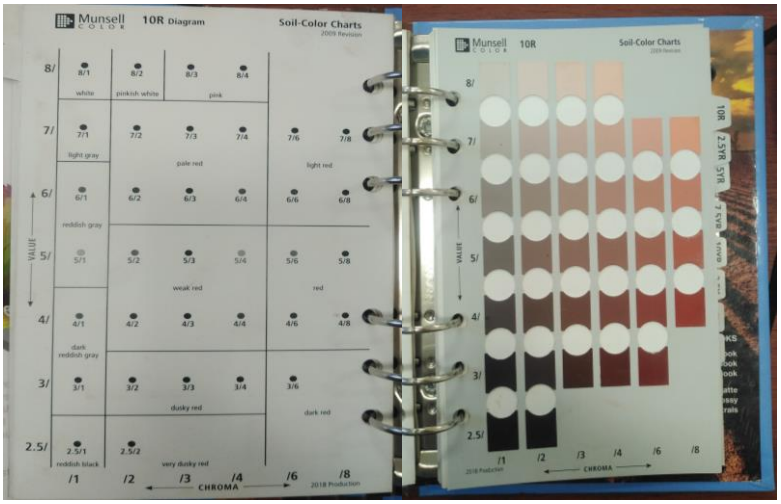


Figura 3. Tabla de Munsell para la determinación del color del suelo.

4.3 Análisis de las propiedades químicas

4.3.1 pH

Se determinó el pH mediante un potenciómetro (ph-metro), con el siguiente procedimiento; se pesó 10 gr de suelo en un vaso de precipitación y se le añadió 25 ml de agua destilada, seguidamente se agitó la solución con una varilla de vidrio por 15 minutos y finalmente la solución se la pasa por un embudo con papel filtro, la solución que se obtiene de la filtración es la que se utilizó para determinar el pH.

4.3.2 Conductividad Eléctrica

Para la determinación de la conductividad eléctrica fue importante que las muestras de suelo estuvieran bien secas y se siguió el mismo el procedimiento para determinar el pH, la solución de suelo y agua destilada utilizada fue (1:2.5) respectivamente y se la determinó en el potenciómetro.

4.3.3 Materia Orgánica

Se determinó mediante el método de incineración, , se procedió a pesar alrededor de 10 gramos de suelo, teniendo en cuenta de descontar la tara del crisol, y se procedió a colocar las muestras en la mufla a 400°C por 4 horas, una vez terminado el tiempo se pesa el resultado obtenido (Figura 4), para determinar el contenido de materia orgánica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{MO = \left(\frac{Peso\ seco\ del\ suelo\ -\ peso\ del\ suelo\ incinerado}{peso\ seco\ del\ suelo}\right) * 100}$$

Figura 4. Pesado de las muestras de suelo para la determinación de la MO.

5 Diseño experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) debido a que todas las parcelas se encuentran establecidas en un mismo rango altitudinal los que permitió garantizar la uniformidad de las muestras.

Las parcelas de Bosques y Pajonal tuvieron una separación mínima de 24 m., sin embrago para la cobertura vegetal de potrero las parcelas se colocaron a una distancia mínima de 3m. debido a la escasa cantidad de terreno en esta cobertura. En la zona de estudio se instalaron 16 parcelas con un área de 144 m² (12 x12 m) (Fig. 5), divididas en las cuatro coberturas analizadas.

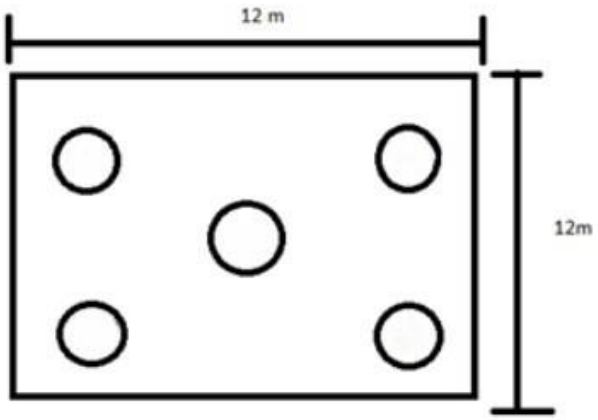


Figura 5. Diseño de la ubicación de la toma de muestras

5.1 Análisis estadístico para el objetivo 1

Los parámetros que se seleccionaron para el análisis estadístico en las cuatro coberturas fueron las variables físicas como densidad aparente (DA), arcilla, limo y arena. En cuanto a los parámetros químicos se tomaron en consideración el pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica y Contenido de nutrientes. Se utilizó estadística descriptiva para obtener promedios, coeficientes de variación, máximos, mínimos y medianas para cada variable analizada.

5.2 Análisis estadístico para el objetivo 2

Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de las variables y la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se aplicó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) en un diseño de completamente al azar (DCA) para evaluar si existen diferencias significativas en las medias de las diferentes variables analizadas (pH, CE, MO, DA, Arcilla, Limo, Arena) en las cuatro coberturas (BN, BP, PA, PO). Para las diferentes muestras se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar la normalidad, además, se realizó la prueba de Tukey P>0.05 para las variables que mostraron normalidad.

Adicionalmente, se analizaron las relaciones entre las variables físicas y químicas empleando análisis de correlación.

6 Resultados

6.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas bajo las cuatro coberturas.

Como primer punto se procedió a realizar una estadística descriptiva en donde se obtuvieron los promedios de cada variable (media, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimos, máximos y medianas) para cada cobertura respectivamente (Tablas 2,3,4,5).

Tabla 2. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Bosque Natural (BN)

Variable	Promedio	D.E	C.V	Min	Max	Mediana	Unidades
pH	4.56	0.3	6.61	4	5.2	4.5	-
CE	0.17	0.08	48.49	0.08	0.57	0.15	dS/m
MO	56.92	8.87	15.58	22.65	71.02	56.08	%
DA	0.31	0,04	13.92	0.22	0.39	0.31	g/cm^3
ARCILLA	23.18	9.9	42.7	8.84	55.6	21.3	%
LIMO	65.41	17.76	27.14	24.13	85.26	72.42	%
ARENA	11.4	13.8	121.01	0.07	48.85	5.45	%

Desviación estándar (D.E), Coeficiente de Variación (CV), mínimos (Min), máximos (Max) y mediana

En la cobertura bosque natural (BN) (Tabla 2), se obtuvo un pH de 4.56 siendo un suelo ácido y con una conductividad eléctrica baja; en relación a la textura del suelo, la arena , presento un coeficiente de variación de 121.01 lo que sugiere que la dispersión de la arena no es uniforme. Este valor puede verse influenciado por el material parental, al igual que las

condiciones climáticas y procesos de formación del suelo. La desviación estándar de la Materia orgánica y Limo (8.87 y 17.76) presentan una considerable dispersión en los valores, lo cual puede indicar que la condiciones que afectan la Materia orgánica y el contenido de limo en el suelo son más heterogéneas.

Tabla 3. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Bosque de pino (BP).

Variable	Promedio	D.E	C.V	Min	Max	Mediana	Unidades
pH	4.47	0.25	5.55	4	5.1	4.4	-
CE	0.14	0.05	34.86	0.07	0.26	0.13	dS/m
MO	56.15	7.38	13.15	37.25	67.55	58.5	%
DA	0.33	0.04	11.07	0.26	0.41	0.34	g/cm³
ARCILLA	27.05	7.69	28.41	13.23	50.33	26.21	%
LIMO	65.9	9.36	14.2	43.16	83.49	65.68	%
ARENA	7.03	5.32	75.61	0.13	24.73	5.68	%

Desviación estándar (D.E), Coeficiente de Variación (CV), mínimos (Min), máximos (Max) y mediana

En la cobertura de bosque de pino (BP) (tabla 3), se obtuvo un pH ácido (4.47) y con una conductividad eléctrica baja. La variabilidad alta en el contenido de arena (CV= 75.61%), puede verse afectado por factores no controlados generando dispersión en los datos (DE=5.32%). Un factor no controlado es la formación de pseudo agregados característico en suelos de origen volcánico; los complejos órgano – metálicos ($Al_{ox} + {}^{1}/_{2}\ Fe_{ox}$) representan la evolución del vidrio volcánico, lo cual genera un efecto floculante en el suelo; lo cual restringe la dispersión total durante el estudio de la textura (Método de Bouyoucus),generando pseudo agregados de arena-limo (Ramírez & Cisneros, 2015)

Tabla 4. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de pasto o potrero (PO).

Variable	Promedio	D.E	C.V	Min	Max	Mediana	Unidades
pH	4.79	0.25	5.13	4.2	5.2	4.8	-
CE	0.25	0.18	71.59	0.08	0.96	0.2	dS/m
MO	29.83	9.12	30.57	17.8	51.25	29.28	%
DA	0.59	0.14	23.11	0.37	0.92	0.59	g/cm³
ARCILLA	34.67	9.59	27.65	18.54	52.75	34.86	%

LIMO	46.72	13.32	28.51	25.22	79.94	45.12	%
ARENA	18.6	11.73	63.08	1.52	47.96	15.96	%

Desviación estándar (D.E), Coeficiente de Variación (CV), mínimos (Min), máximos (Max) y mediana

Estos resultados (tabla 4) son muy comunes en suelos de pastizales, la conductividad eléctrica (0.25 dS/m) con una desviación estándar alta (0.18), lo que sugiere variabilidad en la salinidad del suelo. En cuanto a la materia orgánica (29.83%) es notablemente más bajo en comparación a las otras coberturas, indicando menor fertilidad en el suelo, la densidad aparente (0.59 g/cm³) aun siendo baja, y estando en los niveles óptimos para pastos (0.98 - 1.08 mg/m³) , estas características indican un deterioro en la calidad del suelo, debido a la variabilidad (Ocampo Quijano et al., 2022). La alta desviación estándar de la arena (11.73), reflejan una considerable variabilidad en su contenido. por su parte, el limo destaca con un promedio de 46.72, mientras que la arcilla también muestra un promedio relevante (34.67).

Tabla 5. Promedio de las variables analizadas para la cobertura de Pajonal (PA)

Variable	Promedio	D.E	C.V	Min	Max	Mediana	Unidades
pH	4.64	0.31	6.6	3.9	5.2	4.7	-
CE	0.23	0.12	53.2	0.06	0.53	0.22	dS/m
MO	56.13	5.09	9.07	46.45	64.75	56.41	%
DA	0.28	0.03	9.54	0.22	0.34	0.28	g/cm³
ARCILLA	29.78	9.22	30.95	11.92	60.59	27.5	%
LIMO	63.59	11.18	17.58	36.08	84.96	66.13	%
ARENA	6.71	4.76	70.95	0.11	18.96	5.64	%

Desviación estándar (D.E), Coeficiente de Variación (CV), mínimos (Min), máximos (Max) y mediana

Para la cobertura de Pajonal (Tabla 5) nos indica que la materia orgánica tiene un promedio alto (56.13%), lo que sugiere una buena fertilidad del suelo; mientras tanto la conductividad eléctrica es baja (0.23 dS/m), indicando un nivel insaturado de sales solubles. La desviación estándar de la arena (4.76) y el Coeficiente de Variación más alto (70.95) indican una gran variabilidad en su contenido, además, limo presenta un rango amplio (36.08 a 84.96), lo que indica variabilidad significativa, mientras que arcilla también muestra un rango considerable (11.92 a 60.59).

Color

En cuanto al color del suelo en las diferentes coberturas vegetales y analizados mediante la tabla de Munsell, se obtuvo los siguientes resultados para Bosque de Pino 10YR 2/1 Black (Negro), Bosque Natural 10YR 2/1 Negro, para la cobertura de Potrero se encontró tres colores los cuales fueron 10YR 2/1 Negro, 10YR 3/1 Gris muy obscuro, 10YR 3/2 Marrón grisáceo muy obscuro y 10YR 2/2 Marrón muy obscuro ; en la cobertura de Pajonal dominó el color 10YR 2/1 Negro.

Textura

Tabla 6. Clases Texturales obtenidas en las diferentes coberturas a dos profundidades.

Cobertura	Profundidad	Textura del suelo
Bosque de Pino	A	**Franco limoso**
		Franco arcilloso limoso
		Arcilloso limoso
	B	**Franco arcilloso limoso**
		Franco limoso
Bosque Natural	A	**Franco limoso**
		Franco
		Limoso
		Arcilloso
		Franco arcilloso limoso
	B	**Franco limoso**
		Franco
		Franco arcilloso
		Arcilloso
		Arcilloso Limoso
		Franco arcilloso limoso
Potrero	A	**Franco arcilloso**
		Franco arcilloso limoso
		Franco limoso
		Arcilloso
		Franco
		Arcilloso limoso
	B	**Arcilloso limoso**
		Franco arcilloso limoso
		Franco arcilloso
		Franco limoso
		Arcilloso
		Franco
Pajonal	A	**Franco arcilloso limoso**
		Franco limoso
		Limoso
		Arcilloso
	B	**Franco arcilloso limoso**
		Franco limoso
		Arcilloso
		Arcilloso Limoso

6.2 Evaluación del efecto de las 4 coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Se procedió a realizar una prueba de supuestos normales mediante el test de Shapiro Wilks P>0,05 y prueba de Levene mediante el software R para para determinar la normalidad y homogeneidad en las diferentes variables (Tabla 6 y 7); en este caso se obtuvo normalidad solo para las variables de pH y densidad aparente (DA).

Tabla 7. Prueba de normalidad para las diferentes variables.

	Shapiro - Wilks P>0.05			
	BN	**BP**	**PO**	**PA**
pH	**0.3513**	**0.09271**	**0.3489**	**0.183**
CE	7.743e-08	0.0662	3.729e-06	0.01133
MO	0.001578	0.0007992	0.03226	0.3879
DA	**0.6609**	**0.2681**	**0.07216**	**0.9000**
ARCILLA	7.25e-06	0.3432	0.2484	0.01262
LIMO	3.672e-05	0.9474	0.1792	0.08284
ARENA	3.945e-07	0.002915	0.06324	0.001784

Según las variables normales presentadas en el análisis de la prueba de normalidad y homogeneidad, se realizó una prueba de Tukey posterior al análisis de varianza (ANOVA) en un diseño de completamente al azar (DCA) (Tabla 9).

Tabla 8. Prueba de Tukey P>0.05 para las variables normales, pH y DA.

COBERTURA	Medias	N	E. E	Grupos		
BP	4.47	40	0.04	A		
BN	4.56	40	0.04	A	B	
PA	4.64	40	0.04		B	C
PO	4.79	40	0.04			C

COBERTURA	Medias	N	E. E	Grupos	
BP	0.28	40	0.01	A	
BN	0.31	40	0.01	A	B
PA	0.33	40	0.01		B

PO	0.59	40	0.01	C

BP: Bosque de Pino; BN: Bosque Natural; PA: Pajonal; PO: Potrero; E.E: Error estándar; N: Número de datos

Adicionalmente se realizó el test de Levene P>0.05 para las diferentes variables analizadas (Anexo C. Tabla 13.).

A continuación, se presentan figuras generales (Figura. 6), donde se muestra la diferencia entre las medias de cada variable en cada cobertura; se observa que existe similitud de las variables entre coberturas, a excepción de la densidad aparente en la cobertura de pasto (PO) en donde obtenemos una diferencia considerable, lo cual es entendible debido a que en esta cobertura existe mayor compactación del suelo ya que era un suelo a dedicado actividades con fines ganaderos.

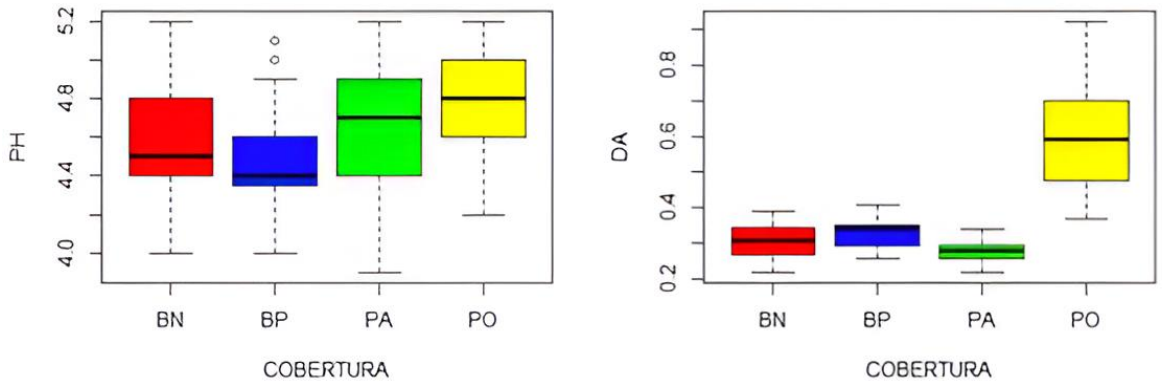


Figura 6. Boxplot del pH y DA de las coberturas analizadas.

Se realizó una prueba no paramétrica con el test de Kruskal Wallis para aquellas variables que no presentaron normalidad (tabla 9).

Tabla 9. Prueba no paramétrica para las variables que no presentan normalidad

Kruskal – Wallis	
	Probabilidad
CE	8.74e-05
MO	2.2e-16
ARCILLA	1.449e-07
LIMO	5.178e-09

ARENA	9.552e-07

A continuación, se presenta un gráfico de Boxplot que muestra las medias de conductividad eléctrica y materia orgánica de las diferentes coberturas analizadas (Figura 7). Este gráfico permite visualizar la distribución de estos dos parámetros, facilitando la comparación entre las coberturas y destacando las variaciones en los niveles de conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica en cada una.

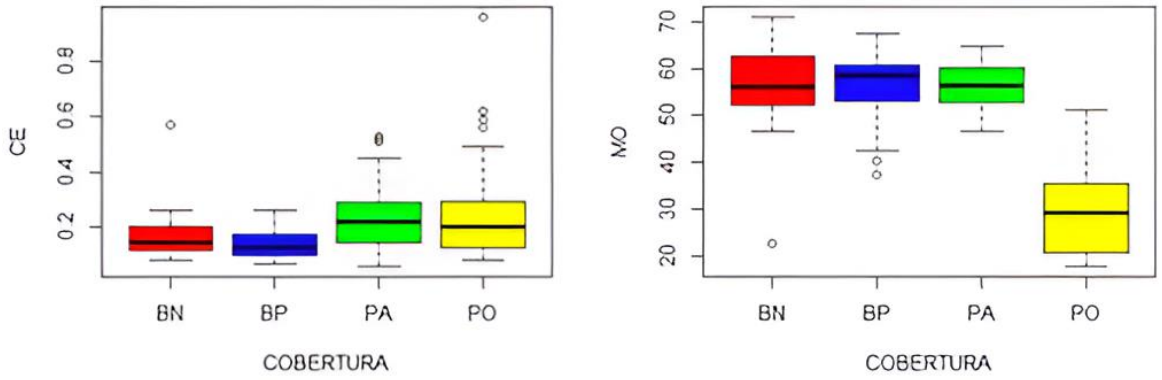


Figura 7. Boxplot de CE Y MO de las coberturas analizadas.

Estos resultados nos muestran que los datos no tienen distribución normal, demostrando diferencias en las medias , la conductividad eléctrica (C.E) en las coberturas de bosque natural (BN) y bosque de pino (BP) se observa que estas se encuentran en un mismo grupo, no obstante, las coberturas de pajonal (PA) y pasto (PO) se distribuyen en un grupo diferente. En el caso de la materia orgánica (M.O), la cobertura de pasto se presenta gran diferencia entre su media a las demás coberturas.

Se realizó un Boxplot de la distribución de las proporciones de limo, arena y arcilla en las coberturas analizadas (Figura 8). Esto nos indica diferencias significativas en la composición del suelo entre las coberturas. En el caso del porcentaje de limo existen dos grupos similares siendo BP y BN, PO y PA, además, el primer grupo es el más alto en sus medianas que el segundo grupo. Para el porcentaje de arena, la mediana de PA es la más alta de las coberturas, lo cual las otras coberturas son similares entre sí. La mediana de BP es la más alta en el porcentaje de arcilla, mientras que las medianas de BN, PO y PA son más similares entre ellas. Esto sugiere que ciertas coberturas comparten características edáficas entre sí.

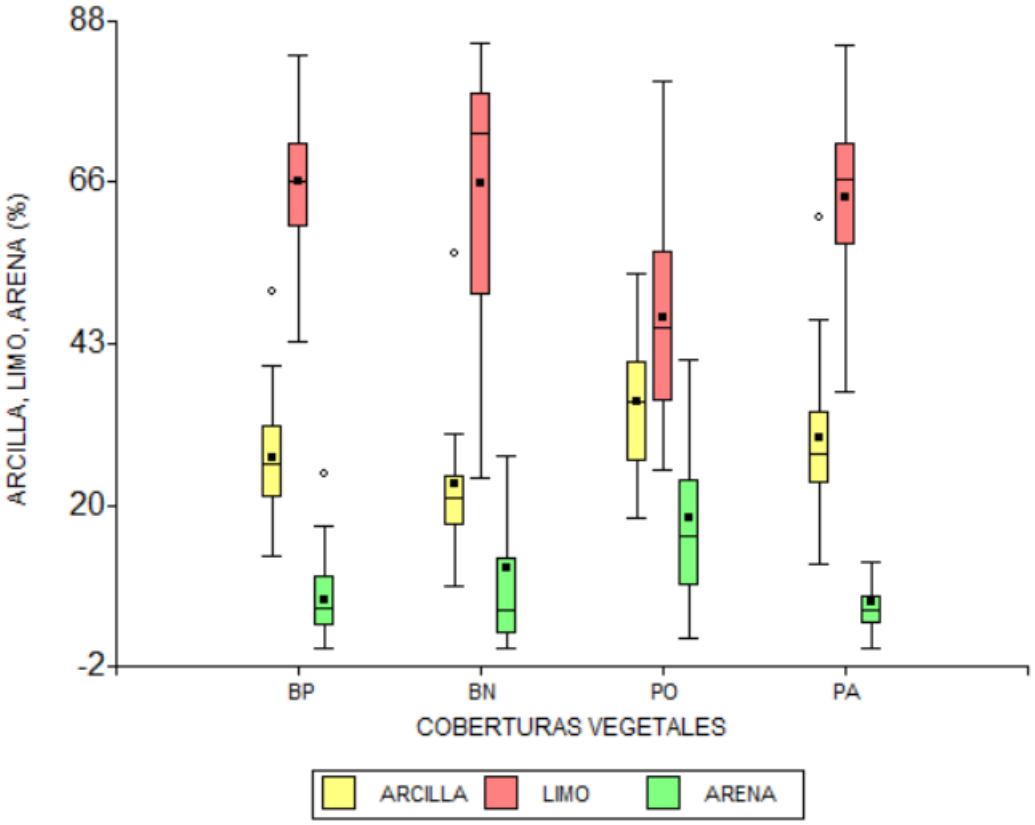


Figura 8. Boxplot de porcentaje de arena limo y arcilla en las coberturas analizadas.

Se realizó la correlación de Pearson entre las propiedades físicas y químicas del suelo (Tabla 11) obteniendo valores de correlaciones negativas entre MO - DA (r = -0.86) y pH – MO (r= -0.4), sin embrago los valores más significativos después de la correlación de MO -DA son las de Limo – Arcilla (r= -0.72) y Arena – Limo (r= -0.76). Los resultados presentados indican una correlación baja entre el pH y la materia orgánica por lo tanto no es significativa. La densidad aparente del suelo depende del contenido de la materia orgánica, mayor cantidad de materia orgánica presente en el suelo significa que menor será la densidad aparente.

Tabla 10. Correlación de Pearson entre las propiedades físicas y químicas

	pH	CE	MO	DA	ARCILLA	LIMO
pH						
CE	0.04					
MO	-0.4	-0.16				
DA	0.33	0.14	**-0.86**			
ARCILLA	0.21	-4.20E-03	-0.35	0.29		
LIMO	-0.37	-0.09	0.53	-0.53	**-0.72**	

ARENA	0.34	0.13	-0.44	0.48	0.1	**-0.76**

Tabla 11. Contenido de nutrientes en las diferentes coberturas en diferentes profundidades y el horizonte orgánico

		ppm		Meq/100 ml			ppm			
Cobertura	**Prof.**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Zn**	**Cu**	**Fe**	**Mn**
PA	A	49.08	43.87	0.62	3.92	1.14	6.44	2.85	899.50	11.00
PA	B	40.05	32.87	0.30	3.57	0.99	4.34	2.78	896.00	5.10
PA	O	81.50	74.55	0.75	4.23	1.44	6.59	2.05	210.75	62.13
PO	A	30.15	26.10	0.30	5.94	1.39	5.67	4.22	1104.50	17.58
PO	B	27.20	23.83	0.21	4.64	1.25	2.50	4.35	1147.50	9.70
PO	O	54.90	62.50	0.87	9.53	2.12	13.98	3.65	716.75	79.67
BP	A	28.65	26.15	0.31	1.77	0.60	3.41	2.82	281.00	7.55
BP	B	26.85	22.75	0.23	1.82	0.62	2.75	2.57	241.50	4.98
BP	O	72.70	63.40	0.76	7.42	1.21	4.49	1.17	136.75	107.45
BN	A	36.33	24.42	0.52	4.23	1.20	5.73	2.02	497.50	5.50
BN	B	31.40	25.97	0.30	2.92	0.92	3.46	2.20	354.25	3.80
BN	O	46.60	106.35	1.31	15.12	3.28	8.25	1.85	30.25	136.80

PA: Pajonal; PO: Potrero; BP: Bosque de Pino; BN: Bosque Natural; Prof.: Profundidad; A: 0-10 cm; B: 10-20 cm; ppm: partes por millón; Meq/100 ml: miliequivalentes por 100 mililitros.

Los diferentes nutrientes analizados para las coberturas analizadas reveló que la cobertura de pajonal (PA), presenta buena fertilidad del suelo debido a que presentó altos niveles de nitrógeno y fósforo. La cobertura de Potrero (PO) mostró un nivel moderado, sobresaliendo en su contenido de potasio y presentado niveles bajos de fósforo. Bosque Natural (BN) presentó niveles equilibrados en macro y micronutrientes. Sin embargo, la cobertura de Bosque de Pino (BP) presenta niveles bajos en nitrógeno y fósforo; siendo el más afectado en el contenido de los nutrientes.

7 Discusión

7.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas bajo las cuatro coberturas.

Los resultados obtenidos en este estudio definieron que las cuatro coberturas analizadas presentan valores de pH similares los cuales fueron BN (4.56), BP (4.47), PA (4.64) Y PO (4.79). En un estudio realizado en las microcuencas de Yutujapina y Lluchucarrumi de la

parroquia de Cumbe, en la primera zona la cobertura de bosque de pino y bosque nativo se obtuvieron valores de 4.21 y 4.16 respectivamente; los cuales son similares a los obtenidos por nosotros. Sin embargo, para la cobertura de pajonal conservado el valor obtenido fue de 5.03 siendo diferente a la obtenida en nuestro estudio. La cobertura de bosque nativo en la segunda zona presentó un valor similar de 4.63; además, la cobertura de pasto se analizó en dos condiciones siendo degradado y recuperado para la segunda zona y siendo pasto reforestado para la primera zona, en la cual se obtuvieron valores de 4.53, 4.72 y 4.45 respectivamente, siendo pasto recuperado la de mayor similitud con los datos obtenidos por nosotros (Méndez Contreras & Molina Cabrera, 2023)

En un estudio realizado en el Parque nacional Cajas en la cobertura vegetal Bosque montano presentó un valor de pH de 5.67 como lo indica (Plaza, 2018), el cual es diferente al obtenido en este estudio el cual fue de 4.47.

En un estudio realizado en México en el cual se analizó la cobertura de bosque de pino a dos profundidades las cuales fueron de 0 - 5 cm y 5 – 30 cm en el cual se obtuvieron valores de conductividad de 0.18 y 0.17 $\mathrm{dS\ m^{-1}}$ (Yáñez Díaz et al., 2023), estos valores son similares al obtenido por nosotros 0.14 dS/m.

En un estudio realizado en la microcuenca del río Quinuaquira y quebrada Curiquín en la cobertura de Bosque siempre verde montano alto y Páramo Andino presentaron un valor promedio de 10.43 µS/m y 12.39 µS/m respectivamente a diferentes profundidades, lo cual representa valores comprendidos para un suelo no salino (César et al., 2016); siendo valores bajos y similares a los obtenidos en las cuatro coberturas analizadas cuyos valores son bajos.

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos para las coberturas analizadas indican que ninguna presenta salinidad (Tabla 2, 3, 4 y 5). Para considerar un suelo no salino, debe tener conductividades eléctricas entre 0 y 2.0 dS/m (Fernández Linares et al., 2006).

Las coberturas vegetales analizadas presentaron suelos negros, esta característica se debe al clima frío y la alta humedad de la región, siendo condiciones que provocan una descomposición lenta de la materia orgánica; resultando en la formación de una gruesa capa de suelo orgánico, característica de los suelos de páramos (Mena V. et al., 2000).

Los suelos de origen volcánico en el Ecuador tienen densidad aparente baja < 0.9 tal como lo muestran los resultados obtenidos en este estudio, donde la cobertura de menor densidad aparente fue la de Pajonal con 0.28 $\mathrm{g/cm^3}$; por el contrario la mayor densidad aparente fue la cobertura de Potrero con 0.59 $\mathrm{g/cm^3}$, lo cual afirma (Mena et al., 2011).

En un estudio realizado en la Cuenca alta del río Paute se escogió dos zonas para el respectivo estudio las cuales fueron Soldados y Tutupali, en los resultados obtenidos en cuanto a la textura del suelo en la cobertura de Pino y Pajonal; con respecto al cobertura de Pino la clase textural franco limosa fue encontrada a los 27 cm y 28 cm, respectivamente. Sin embrago, nuestros resultados indican que esta clase textural se encontró a los 10 cm. En Tutupali, la clase textural franco limoso estuvo presente a 45 cm de profundidad, mientras que en nuestros resultados se registró a 20cm (Tapia & Pacheco, 2015).

En una zona del Parque Nacional Cajas se determinó el porcentaje de materia orgánica en las coberturas de Bosque de Pino y Bosque Primario con valores de 41.304% y 37.969%, siendo valores inferiores a los nuestro los cuales fueron de 56.15% para BP Y 56.92% para BN (Plaza Patiño, 2018).

En las microcuencas de Yutujapina y Lluchucarrumi ubicadas en la parroquia de cumbe en las coberturas de bosque nativo se obtuvieron 17.42% y 17.21%, representando valores bajos en esta cobertura, así mismo la cobertura de bosque de pino presento un 15.34% con respecto a la materia orgánica siendo valores totalmente diferentes a los obtenidos por nosotros en Bosque de Pino (56.15%) (Méndez Contreras & Molina Cabrera, 2023)

La mayoría de las propiedades físicas de los suelos de páramos se ven afectadas por las raíces de la paja y por su aporte de materia orgánica, Otro gran indicador de la cantidad de materia orgánica es la vegetación presente en la zona, Un factor determinante en la acumulación y descomposición de la materia orgánica aportada por la vegetación muerta es el clima, el cual las temperaturas bajas y su elevada humedad favorecen la lenta descomposición del suelo, Un suelo de páramo pude contener entre el 3 – 44% de materia orgánica, sin embargo, puede llegar a valores altos como 90% (Llambí et al., 2012), lo que justifica el contenido de materia orgánica en la cobertura de potrero 29.83%; siendo esta la que presenta menor porcentaje mientras que las tres coberturas presentan un porcentaje mayor al 50%.

7.2 Evaluación del efecto de las 4 coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los Bosques montanos andinos debido a su gran cantidad de materia orgánica que poseen en el suelo proporciona propiedades físicas e hidráulicas, una densidad aparente baja, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, etc.; el cambio en las propiedades físicas y químicas del suelo es debido al cambio en la cobertura vegetal

nativa por una cobertura extranjera y la reacción de cobertura – suelo , lo cual puede afectar gravemente estas propiedades (Carrión et al., 2022).

La transformación de la cobertura vegetal nativa por plantaciones de pino trae consigo efectos negativos en el suelo, provocando acidificación y salinización de los suelos; igualmente el contenido de materia orgánica se ve afectada en esta plantación. Sin embargo, la materia orgánica en bosque de pino en el presente estudio es alta (Balthazar et al., 2015). Por otra parte, la materia orgánica en la Cobertura de Pajonal es alta con un 56.13% siendo un valor muy alto debido a que en suelos del sur del Ecuador bajo cobertura de pajonal se ha encontrado un 17.4% en los primeros 30 cm del suelo (Llambí et al., 2012).

En un estudio acerca de la relación entre la materia orgánica y el pH obtuvieron una correlación inexistente ($R^2 = 0.07$) entre el pH y la MO total, sugiriendo un carácter genético en el pH, lo cual quiere decir que la roca madre de los suelos es ácida (Pérez - Trujillo et al., 2022). Estos resultados son totalmente distintos a los obtenidos por nosotros, lo cual indica que a pH bajos la MO es alta (Mora et al., 2016). Otros estudios han obtenido resultados diferentes en el que se obtuvo una correlación débil de -0.113 entre la MO Y pH, en el cual las coberturas analizadas fueron Bosque de pino y Bosque Natural (Mosquera, 2017).

En nuestro estudio obtuvimos correlaciones inversas fuertes entre Limo – Arcilla (-0.72) y Arena - Limo (-0.76), lo que sugiere una relación significativa en la presencia de texturas finas y gruesas en las diferentes coberturas analizadas, lo cual indica diferentes clases texturales (Tabla 6) (FAO, 2024).

La materia orgánica tiene valores de correlación de -0.35, 0.53 y -0.44 con respecto a Arcilla, Limo y Arena respectivamente, lo cual indica que son correlaciones bajas indicando que la MO no influye directamente en los porcentajes de las partículas; (Llambí et al., 2012) sostiene que la cantidad de materia orgánica no afecta en la textura, además, afirma que existe una amplia variación en la textura en los suelos de páramo. La textura del suelo en páramos depende del tamaño y tipo de las partículas de los materiales formadores, así como de su grado de meteorización.

En cuanto a la correlación entre MO y DA se obtuvo una correlación inversa fuerte (-0.86), lo que indica que el contenido de materia orgánica será alto cuando la DA del suelo sea baja (Llambí et al., 2012). En un estudio realizado en la Microcuenca del Río Yanuncay, obtuvieron una densidad aparente de 0.50 ± 0.11 g/cm^3 y un porcentaje de materia orgánica de 36.67 ± 8.54%, indicando que a menor densidad aparente mayor el contenido

de materia orgánica, significando una correlación negativa fuerte; siendo así resultados similares a los obtenidos por nosotros (Bustamante & Pucha, 2023).

En un estudio realizado en el norte del país en la provincia del Cotopaxi, se analizaron rodales de pino de diferentes edades en las cuales las concentraciones más altas de nitrógeno se presentaron en el horizonte A superior (0-10 cm) en las masas de pino de 15 a 20 años, además, las concentraciones de Nitrógeno fueron más bajas en los pinos más antiguos; sin embargo, las concentraciones de Nitrógeno en el nivel inferior disminuyeron linealmente con la edad de la masa.

Los pastizales de páramo mostraron una alta concentración de Nitrógeno en el suelo, los cuales son resultados similares a los obtenidos en este estudio. El fósforo mostro niveles altos en los pinos de 15 a 20 años y de 20 a 25 años en la capa superior (0 -10 cm), en el horizonte inferior los valores medios del fósforo fueron bajos y hubo una variación considerable entre las edades (Farley & Kelly, 2004).

La disponibilidad de los nutrientes esta influenciada por el pH, suelos con un pH <5.0 se consideran suelos extremadamente ácidos, en estos tipos de suelos se presente una severa toxicidad por Al y Mn, además, presentando una alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y se pueden presentar altos valores en los micronutrientes (Soriano Soto, 2018). Sin embargo, en la cobertura de Pajonal y Bosque Natural no se ven afectados por el pH del suelo ya que mostraron un perfil bastante fértil en el suelo.

El contenido de Fe en la cobertura de potrero en las dos profundidades y el horizonte orgánico son altos, la segunda cobertura con más contenido de Fe es PA en comparación con las demás coberturas BN Y BP, obteniendo resultados similares y diferentes en cuanto a la cobertura PO con un estudio realizado en el Páramo de Quimsacocha (Quichimbo et al., 2012).

8. Conclusiones

La investigación realizada sobre el efecto de cuatro tipos de cobertura vegetal (bosque natural, bosque de pino, pajonal y potrero) sobre las propiedades del suelo del bosque protector Sunsun Yanasacha ha permitido alcanzar los objetivos planteados. En primer lugar, se logró caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo en cada tipo de cobertura,

revelando que el bosque natural y el pajonal presentan un alto contenido de materia orgánica y una baja densidad aparente, lo que indica una buena fertilidad del suelo. En contraste, la cobertura de potrero mostró una mayor densidad aparente y un menor contenido de materia orgánica, sugiriendo un deterioro en la calidad del suelo, posiblemente debido a prácticas de manejo inadecuadas.

Además, se evaluó el efecto de las diferentes coberturas sobre las propiedades del suelo, encontrando que la acidez y salinidad del suelo están influenciadas por el tipo de cobertura vegetal. En particular, el bosque de pino se destacó por su impacto en la acidez del suelo, lo que puede tener implicaciones significativas para la fertilidad y la biodiversidad del ecosistema.

En conclusión, esta investigación señala la importancia de considerar el tipo de cobertura vegetal en la gestión y conservación de suelos en áreas de alta biodiversidad como el bosque protector Sunsun Yanasacha. Estos resultados no solo contribuyen al conocimiento científico sobre las propiedades del suelo, sino que también ofrecen información valiosa para las comunidades locales y futuras investigaciones, promoviendo prácticas de manejo sostenible que favorezcan la conservación de estos ecosistemas vitales.

9. Recomendaciones

Se recomienda completar esta investigación con un análisis de capacidad de intercambio catiónico, así como la concentración de nutrientes en las coberturas analizadas; para una mejor compresión del estudio realizado.

Es fundamental expandir la investigación en zonas similares, los resultados aportarían a una mejor compresión el cambio de cobertura nativa por otra y sus efectos en las propiedades del suelo y la capacidad de retención de agua.

La investigación es de importancia para la comunidad científica, debido a que los resultados obtenidos pueden ayudar a la implementación de proyectos y medidas para una mejor conservación o manejo de áreas de recarga hídrica.

Referencias

Aguilar, Z., Flores, P., Lara, S., & Tapuy, M. (2020). *LOS BOSQUES DEL ECUADOR*. https://www.researchgate.net/publication/344299580

Aguirre Mendoza, Z., Reyes Jiménez, B., Quizhpe Coronel, W., & Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, *24*(2), 543-556. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24207

Ansaloni, R., & Chacón, G. (2003). Interacción suelo, vegetación y agua: El efecto de las plantaciones de pino en ecosistemas alto andinos del Azuay y Cañar. *REVISTA DE A UNIVERSIDAD DEL AZUAY*. https://www.researchgate.net/publication/260124908_Interaccion_suelo_vegetacion_y_agua_el_efecto_de_las_plantaciones_de_pino_en_ecosistemas_alto_andinos_del_Azuay_y_Canar

Aschkar, G. M. (2022). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por desmonte en el Noreste rionegrino. Contribución a la conservación de suelos de regiones semiáridas*. https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6250

Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., & Lambin, E. F. (2015). Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological Indicators*, *48*, 63-75. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.07.043

Bautista Niampira, N. G. (2020). *Propiedades físicas del suelo, factor de prioritaria atención dentro de la productividad agrícola*. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36739/ngbautistan.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Bermeo Brito, C. J., & Correa Guaña, M. A. (2020). *DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO ANDINO DE ICHUBAMBA Y GUARGUALLA, PARROQUIA CEBADAS*. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13957

Bustamante López, W. G., & Pucha Galarza, A. M. (2023). *Determinación de áreas potenciales para reforestación con fines comerciales y restauración en base a variables edafoclimáticas. Estudio de caso en la microcuenca del Río Yanuncay*. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43264

Buytaert, W., Sevink, J., De Leeuw, B., & Deckers, J. (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, *127*(1-2), 114-129. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.021

Calderón Valdez, L. F., & Ramón Gordillo, H. D. (2018). *Propuesta de una guía turística para diez áreas protegidas del cantón Cuenca, 2018.Propuesta de una guía turística para diez áreas protegidas del cantón Cuenca, 2018.* http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31691

Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, *1*(372), 77-92. https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241

Cárdenas Fonseca, M. S. (2015). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE PÁRAMO INTERVENIDOS Y NO INTERVENIDOS EN LA COMUNA MONJAS BAJO, PARROQUIA JUAN MONTALVO, CANTÓN CAYAMBE*.

Carrión Paladines, V., Benítez, Á., & García Ruíz, R. (2022). Conversion of Andean montane forest to exotic forest plantation modifies soil physicochemical properties in the buffer zone of Ecuador's Podocarpus National Park. *Forest Ecosystems*, *9*, 100076. https://doi.org/10.1016/J.FECS.2022.100076

Chuncho, G., & Chuncho, C. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, *9(2)*, 71-83. https://www.researchgate.net/publication/344180955

Cid Lazo, G., López seijas, T., Herrera Puebla, J., & González Robaina, F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, *11*(2). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325

Corbella, R. D. (2023). *FÍSICA DEL SUELO*. www.edafologia.com.ar

Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., & Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, *12*(12), 989-994. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6

Cremona, M. V., & Enríquez, A. S. (2024). *ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN SU COMPORTAMIENTO*.

Cuesta, Francisco., Peralvo, Manuel., Valarezo, Natalia., & Programa Regional ECOBONA-Intercooperation. (2009). *Los bosques montanos de los Andes tropicales*. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation.

De Noni, G., & Trujillo, G. (1986). Degradacion del suelo en el Ecuador : principales causas y algunas reflexiones sobre la conservacion de este recurso. *Revista del Banco Central del Ecuador*, *8 (24a)*, 383-394. https://www.researchgate.net/publication/45111548

FAO. (2024). *Textura del Suelo*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#54a

Farley, K. A., & Kelly, E. F. (2004). Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management*, *195*(3), 281-290. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2003.12.015

Fernández Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldán Carrillo, T. G., Ramírez islas, M. E., Zegarra Martínez, H. G., Uribe Hernández, R., Reyes Ávila, R. J., Flores Hernández, D., & Arce Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados.*

Instituto geográfico militar. (2008). *Mapa geográfico del Ecuador*. http://www.geograficomilitar.gob.ec/#

Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, *528*(7580), 60-68. https://doi.org/10.1038/nature16069

León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador Siembra y producción de pasturas*.

Leyva R., S. L., Baldoquín P., A., & Reyes O., M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *35*(1), 36. https://doi.org/10.22267/rcia.183501.81

Llambí, L. D., Soto Werschitz, A., & Célleri, R. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo*. https://www.researchgate.net/publication/263280481

LLerena Villalpando, F. A. (2023). *LA IMPORTANCIA DE LA TEXTURA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS BAJO RIEGO EN EL PROCESO DEL ENSALITRAMIENTO INDIRECTO Y EN LA REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS O SODIFICADOS*.

Lozano, P. (2015). *ESPECIES FORESTALES ÁRBOREAS Y ARBUSTIVAS DE LOS BOSQUES MONTANOS DEL ECUADOR*. Ministerio Del Ambiente. https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf

Mena V., Patricio., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., Medina, G., Ochoa, N., & Ortiz, D. (2011). *Páramo: paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. EcoCiencia.

Mena V., Patricio., Josse M., Carmen., & Medina, Galo. (2000). *Los suelos del páramo*. Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador.

Méndez Contreras, K. R., & Molina Cabrera, S. A. (2023). *Análisis comparativo de las propiedades químicas e hidrofísicas del suelo con diferente cobertura vegetal en las microcuencas Yutujapina y Lluchucarrumi, ubicadas en la parroquia Cumbe del cantón Cuenca .*

Minga-Ochoa, D., Ansaloni, R., Verdugo-Navas, A., & Ulloa-Ulloa, C. (2019). *Flora del páramo del Cajas, Ecuador*. Casa Editora Universidad del Azuay. https://doi.org/10.33324/ceuazuay.42

Moreno Ramón, nombre, hecmora, H., Blanquer, prvupvesGisbert, & Manuel, J. (2010). *EL COLOR DEL SUELO*. http://hdl.handle.net/10251/8008

Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., & Román-Dañobeytia, F. (2022). *Servicios ecosistémicos hídricos de los pajonales altoandinos: ¿Qué sabemos?*

Mosquera Lenti, F. J. (2017). *VARIABLIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN UN SUELO AGRÍCOLA EN EL VALLE DEL MANTARO.* https://hdl.handle.net/20.500.12996/2923

Ocampo Quijano, L. E., Osorio Vega, W. N., Martínez Atencia, J., & Cabrera Torres, K. R. (2022). La densidad aparente y el tamaño de agregados del suelo controlan el crecimiento radical de Megathyrsus maximus. *Acta Agronómica*, *70*(4). https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.88785

Pérez -Trujillo, E., Asado - Hurtado, A. M., & Vega -Jara, L. (2022). Relación del contenido de materia orgánica con el pH de los análisis de suelo en cinco provincias de Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, *4*(2), 46-54. https://doi.org/10.47840/ReInA.4.2.1381

Pinos, D. S. (2022). *CALIDAD DEL SUELO A PARTIR DE INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS APLICADO A TRES USOS DE SUELO PARA LA GENERACIÓN DE PROPUESTAS DE GESTIÓN POR IMPACTOS EN EL SUELO POR ACCIONES ANTRÓPICAS EN EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTORES DE SUNSUN - YANASACHA* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf

Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O., & Durán-López, M. E. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, *55*(2), 157-179. https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8

Plaza Patiño, J. M. (2018). *Impacto del tipo cobertura forestal sobre las propiedades edáficas en una zona de bosque montano en el parque Nacional El Cajas, provincia del Azuay.* http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30305

Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO: PÁRAMO DE QUIMSACOCHA AL SUR DEL ECUADOR. *Suelos Ecuatoriales*, *42*(2), 138-153.

Ramírez Matamoros, M., & Cisneros Espinoza, P. (2015). Determinación de anomalías causadas a las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas, en los suelos de páramo en el sur del Ecuador, ocasionadas por alteraciones antrópicas. *Anales. Revista de la Universidad de Cuenca*, *58*, 123-137.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004a). *Propiedades Físicas del Suelo*. https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004b). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de la República.

Ruiz Hernández, J. J. (2014). *IMPACTO DE LA FORESTACIÓN CON PINO (Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham.) SOBRE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y LOS SUELOS EN EL PÁRAMO DE MUCABAJÍ, PARQUE NACIONAL SIERRA NEVADA*. http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39978

Sierra. (2013). *PATRONES Y FACTORES DE DEFORESTACIÓN EN EL ECUADOR CONTINENTAL, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años.* www.forest-trends.org

Soriano Soto, M. D. (2018). *pH del suelo Apellidos, nombre*.

Suárez Robalino, E. (2023). *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro* (P. Mena-Vásconez & R. Hofstede, Eds.). USFQ Pres. https://doi.org/10.18272/USFQPRESS.71

Yáñez Díaz, M. I., Cantú Silva, I., & Garza Ocañas, F. (2023). Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *14*(79), 58-79. https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1359

Anexos

Anexo A. Zona de estudio

Figura 9. Cobertura de Potrero

Figura 10. Cobertura de Pino

Figura 11. Cobertura de Bosque Natural

Figura 12. Cobertura de Pajonal

Anexo B. Determinación de las propiedades físicas y químicas en laboratorio

Figura 13. Muestras para la determinación de materia orgánica

Figura 14. Muestras para determinar la textura del suelo

Anexo C. Test de Levene en las diferentes variables

Tabla 12. Prueba de homogeneidad mediante test de Levene para las diferentes variables

Levene P>0.05	
	Probabilidad
pH	**0.2659**
CE	0.0002537
MO	0.03771
DA	**2.2e-16**
ARCILLA	**0.4447**
LIMO	0.04908
ARENA	0.0003189