



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Título:

Efecto del cambio de uso del suelo de páramo a cultivo y pasto sobre fracciones orgánicas en la microcuenca Sicalpa

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

**Castro Castillo Joselyn Gabriela
Tapuy Chongo Yadira Alexandra**

Tutor:

Phd. Silvia Hipatia Torres Rodríguez

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Joselyn Gabriela Castro Castillo y Yadira Alexandra Tapuy Chongo con cédula de ciudadanía 092377651-2 y 160065137-4, autoras del trabajo de investigación titulado: EFECTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO DE PÁRAMO A CULTIVO Y PASTO SOBRE FRACCIONES ORGÁNICAS EN LA MICROCUENCA SICALPA certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autoras de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 12 de Abril del 2023



Joselyn Gabriela Castro Castillo
C.I: 0923776512



Alexandra Yadira Tapuy Chongo
C.I: 1600651374

DICTÁMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

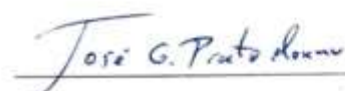
Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación EFECTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO DE PÁRAMO A CULTIVO Y PASTO SOBRE FRACCIONES ORGÁNICAS EN LA MICROCUENCA SICALPA por Joselyn Gabriela Castro Castillo y Yadira Alexandra Tapuy Chongo, con cédula de identidad número 092377651-2 y 160065137-4 , certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 12 de abril del 2023

Dra. Julia Calahorrano
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. José Prato,
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Patricio Santillán,
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Silvia Torres
TUTOR DE TESIS DE GRADO



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

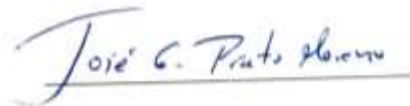
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación EFECTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO DE PÁRAMO A CULTIVO Y PASTO SOBRE FRACCIONES ORGÁNICAS EN LA MICROCUENCA SICALPA por Joselyn Gabriela Castro Castillo y Yadira Alexandra Tapuy Chongo, con cédula de identidad número 0923377651-2 y 160065137-4, bajo la tutoría de Dra. Carmen Omaira Márquez Pereira; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 12 de abril del 2023.

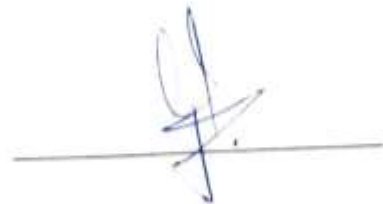
Presidente del Tribunal de Grado
Dra. Julia Calahorrano

Handwritten signature of Julia Calahorrano in blue ink, written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. José Prato

Handwritten signature of José C. Prato in blue ink, written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Patricio Santillán

Handwritten signature of Patricio Santillán in blue ink, written over a horizontal line.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con mucho cariño a Dios y a mi madre, Rosa Castillo, por todo su amor y su apoyo incondicional, a mi padre, Silvio Castro, quien a pesar de la distancia siempre me ha brindado su apoyo económico y moral para mantenerme firme hasta conseguir esta importante meta. A mis tíos, Jhony y Jenny, quienes de una u otra manera me han acompañado brindándome su consideración, amor y consejos en los momentos difíciles de mi vida y a toda mi familia por siempre estar pendientes de todos mis progresos y darme grandes momentos de felicidad.

Joselyn Gabriela Castro Castillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres, Rosa y Silvio, que han sido el motor de mi vida para impulsarme a seguir adelante día a día a pesar de las dificultades, a toda mi familia que siempre estuvieron apoyándome con cada palabra de aliento, siendo cada uno de ellos parte fundamental en mi vida.

A los amigos de mi etapa universitaria, con quienes he compartido grandes momentos inolvidables y además dificultades que hemos sabido superar y hoy a pesar de todas las dificultades en el camino estamos logrando cumplir nuestras metas. Agradezco a mi tutor de Tesis la PhD. Omaira Márquez por darme la oportunidad de pertenecer a su grupo de trabajo, y guiarme en cada una de las etapas durante este proyecto. Al Ing. Marco Rodríguez y al Ing. Jonathan Orozco por su colaboración y paciencia durante la elaboración de la tesis gracias a su experiencia y facilitarnos los recursos necesarios para que este trabajo se desarrolle de la mejor manera.

Joselyn Gabriela Castro Castillo

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico de todo corazón a mis padres por su apoyo y esfuerzo, sabiendo que durante estos años ha habido circunstancias difíciles, pero jamás me han dejado sola, siempre buscando que cumpla mis metas y que siga creciendo profesionalmente.

A mi hermano David por ser mi ejemplo a seguir, a mi hermana Sara por convertirse en mi mejor amiga, siendo los dos un apoyo incondicional en mi vida, y por último pero no menos importante a mi abuelita María, por su gran amor y consejos siendo la persona que más amo en esta vida.

Yadira Alexandra Tapuy Chongo

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, a mis padres Luisa y Julián, a mi abuelita María, a mis hermanos David, Sara e Isabel, que han sido una familia maravillosa y han estado siempre dándome su apoyo y alentándome para que nunca me rinda en los momentos difíciles de la vida universitaria, enseñándome a ser humilde pero siempre con el deseo de superación y triunfo en la vida.

Agradezco a mis amigas de la universidad con las cuales compartí mis mejores momentos, por convertirse en mi familia cuando me he encontrado sola, brindándome confianza y apoyo, agradezco de igual forma a la persona que conocí al final de mi carrera universitaria ya que me ha brindado su apoyo y cariño incondicional, cada una de las experiencias que he vivido dentro de la universidad me han ayudado a crecer como persona.

A mi tutora de Tesis la PhD. Omaira Márquez quien me permitió pertenecer a su grupo de estudio, brindando su apoyo en cada una de las etapas de este proyecto con el fin de lograr nuestros objetivos. Al Ing. Marco Rodríguez y al Ing. Jonathan Orozco por brindarme todos los recursos y herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto con sus extensos conocimientos, también agradecer el haberme brindado su amistad y confianza, haciendo que el desarrollo del proyecto fuera una de las experiencias más gratificantes que he realizado.

Yadira Alexandra Tapuy Chongo

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

C	Carbono
COT	Carbono orgánico total
COS	Carbono orgánico del suelo
CO3	Carbonatos
CO	Carbono orgánico
CO2	Dióxido de carbono
MO	Materia orgánica
MOS	Materia orgánica del suelo
MOT	Materia orgánica total
MOP	Materia orgánica particulada
MOAM	Materia orgánica minerales limo y arcilla
NaF	Fluoruro de sodio
Dap	Densidad aparente
N	Nitrógeno
GEI	Gases de efecto invernadero
g	Gramos
°C	Celsius
gC/kg	Gramos de carbono/kilogramos
MOP-MG	Material orgánico particulado muy grueso
MOP-G	Material orgánico particulado grueso
MOP-F	Material orgánico particulado fino
MOP-MF	Material orgánico particulado

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
DERECHOS DE AUTORÍA.....	
DICTÁMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO	
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
JUSTIFICACIÓN.....	20
OBJETIVOS.....	21
Objetivo General	21
Objetivos específicos.....	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
1.1 Páramo	22
1.2 Importancia y servicios que brinda el páramo.....	22
1.3 Pasto.....	23

1.4	Cambio de uso de suelo	23
1.5	Materia Orgánica	24
1.6	Fraccionamiento de la materia orgánica	24
1.7	Ciclo del Carbono	25
1.8	Dinámica del carbono orgánico en el suelo	25
1.9	Depósito de carbono en el ecosistema	26
1.10	Importancia del carbono orgánico en el suelo	26
1.11	Suelos Andosoles	26
1.12	Densidad Aparente.....	26
1.13	Textura del suelo.....	27
1.14	Estructura del suelo.....	28
1.15	pH del suelo	28
1.16	Color del suelo	28
CAPÍTULO III.		30
METODOLOGIA.....		30
1.	Área de Estudio	30
1.2	Puntos de muestreo	30
1.17	Diseño experimental	31
1.18	Muestreo de Campo	32
Figura 3. Muestreo de suelos.....		32
2.	Caracterización del suelo.....	32
2.1	pH del Suelo.....	32
2.2	Color	33
2.3	Densidad Aparente.....	33
2.4	Test de NaF.....	33
3.	Fraccionamiento de la materia orgánica.....	33
3.1.	Primer método	33

3.2. Segundo método.....	34
4. Materia Orgánica y carbono orgánico del suelo.....	34
5. Valoración económica del contenido de carbono en el suelo.....	35
6. Análisis Estadístico	36
CAPÍTULO IV.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
1. Propiedades físicas- químicas del suelo	37
1.1 pH.....	37
1.2 Densidad aparente	37
1.3 Color.....	38
1.4 Estructura	39
1.5 Test de Floururo de sodio (NaF).....	39
2. Distribución de tamaño de partículas en relación con los usos del suelo, usando el método de fraccionamiento 1.	40
3. Distribución de tamaño de partículas en relación con los usos del suelo, usando el método de fraccionamiento 2.	41
4. Carbono orgánico de las fracciones activas y pasivas en los diferentes usos de suelo de la microcuenca Sicalpa.....	42
5. Carbono orgánico y su relación con el tamaño de partículas en los diferentes usos de suelo de la microcuenca Sicalpa.....	43
CAPÍTULO V	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo.....	31
Tabla 2. Precios de la tonelada de dióxido de carbono (World Bank Group, 2017)	35
Tabla 3. Test de NaF del suelo	40
Tabla 4. Valores de cada factor para el cálculo del contenido de carbono en el suelo Fracción Pasiva.....	45
Tabla 5. Valores de cada factor para el cálculo del contenido de carbono en el suelo Fracción Activa.	45
Tabla 6. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción pasiva en diferentes usos del suelo.....	46
Tabla 7. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción activa en el suelo de páramo, pasto y cultivo de Sicalpa	46
Tabla 8. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción pasiva en diferentes usos del suelo.....	47
Tabla 9. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción activa en el suelo de páramo, pasto y cultivo de Sicalpa.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de la textura	27
Figura 2. Área de estudio.....	30

Figura 3. Muestreo de suelos.....	32
Figura 4. Fragmentación del suelo	34
Figura 5. pH de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.....	37
Figura 6. Densidad aparente de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes	38
Figura 7. Color del suelo, se aplicó la tabla de colores de Munsell, donde los valores indican el color específico del tipo de suelo.	39
Figura 8. Estructura del suelo. Según la forma en que se agrupan las partículas individuales de los tres tipos de suelos.	39
Figura 9. Clases del tamaño de partículas de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.....	41
Figura 10. Clases del tamaño de partículas de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.....	42
Figura 11. Carbono orgánico (gC/kg) en suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.....	43
Figura 12. Carbono orgánico (gC/kg) asociado a las Fracciones activas y pasivas de los suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p<0,05$), done los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.....	44

RESUMEN

Los cambios de las prácticas de manejo y usos del suelo alteran el aporte de carbono, así como la dinámica y nivel de equilibrio del carbono orgánico (CO) del suelo. Los cambios producidos por las prácticas de manejo o usos del suelo podrían predecirse con los cambios

en el corto plazo en las fracciones de CO más sensibles. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los cambios de uso de páramo a pasto y cultivo sobre las fracciones lábiles y estables del CO. Se analizaron 3 usos de suelo: páramo, pasto y monocultivos. En cada situación se tomaron 10 muestras compuestas de 0-30 cm. Se determinó: CO particulado grueso (COPg, 105-2000 μm), CO particulado fino (COPf, 53-105 μm), CO asociado a la fracción mineral (COM, 0-53 μm). Además, se realizaron análisis de pH, Índice melánico, test de NaF, densidad aparente y materia orgánica total. El mayor contenido de COPg se registró en suelos bajo páramo (128,43 gC/kg) y el menor valor en suelos bajo cultivo (106,87 gC/kg). El remplazo de páramo por cultivo ocasionó una disminución de aproximadamente (21,56gC/kg) de COPg. De manera similar el contenido de COPg en suelos bajo pasto (105,12 gC/kg) disminuyó cuando fue remplazado por pasto a (150gC/kg) lo que ocasionó una pérdida de (23,31 gC/kg). El valor económico más alto corresponde a paramo debido a su capacidad para almacenar carbono, evidenciando así que las áreas de paramo juegan un rol estratégico en cuanto al almacenamiento de carbono, brindando un servicio ecosistémico de captura de carbono.

Palabras claves: Andosoles, cambio de uso de suelo, carbono, fraccionamiento, materia orgánica.

ABSTRACT

ABSTRACT

The changes in the practices of use and management of soil alter its CO intake as well as the dynamic and the balance level of CO in the soil. The changes produced by the soil management practices could be predicted considering the more sensible fractional changes, which are obtained in the first short periods. The objective of this work was to evaluate the impact of the changes from moorland to pasture and crop over the labile and stable CO fractions. Three kinds of soil were analyzed: moorland, pasture, and monocrops. In each situation, 10 samples from 0 to 30 cm were taken. It was determined: thick articulated CO (COPg, 105-2000 μm), thin articulated CO (COPE, 53-105 μm) and CO associated with mineral matter (COM, 0-53 μm). In addition, It was also performed pH and melanic index analysis, NaF test, bulk density, and total organic matter.

The highest COPg content was registered in moorland soil (128,43 gC/kg) and the lowest value was in crop soil (106,87 gC/kg). The replacement from the moorland to the crop caused a decrease of COPg at 21,56gC/kg approximately. Similarly, the way the content of COPg in low pasture soil (105,12 gC/kg) decreased when it was replaced with normal pasture soil by 150gC/kg leading to a loss of 23,31 gC/kg. The highest economical value found was related to moorland because of its capacity to store carbon, showing that moorland areas play a strategic role in carbon storage providing an ecosystem service of carbon sequestration.

Keywords: Andosols, change of soil use, carbon, fractionation, organic matter.

ALFONSO FABIAN
MARTINEZ
CHAVEZ

Reviewed by:
Mgs. Alfonso Fabian Martínez Chávez.
ENGLISH PROFESSOR
e.e. 0602778268

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El suelo actúa como un gran reservorio de carbono, gracias a la capacidad que posee para almacenar este elemento en forma orgánica, siendo el elemento más abundante en la materia orgánica del suelo (MOS). Las actividades relacionadas al uso del suelo y cambio del uso del suelo influyen fuertemente sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica. La transformación de praderas o áreas forestales a suelos de cultivo, a largo plazo, han provocado grandes pérdidas de carbono en el suelo (Galicia, María, et al., 2016).

La acumulación de la materia orgánica determina la calidad del suelo, debido a que actúa como fuente de nutrientes, le da estabilidad en su estructura mejorando la distribución y almacenamiento de agua para las plantas. El carbono orgánico del suelo (COS) influye en la mayoría de las propiedades del suelo tanto físicas, químicas y biológicas que actúan como indicadores de: materia orgánica del suelo, estructura, infiltración, retención de humedad, biomasa microbiana, respiración del suelo, actividad enzimática, entre otras (Torres, 2016).

Comprender la dinámica del suelo se dificulta debido a la complejidad de la formación de la materia orgánica al estar expuesta a diferentes procesos de mineralización. Para poder determinar la MOS existe el método de fraccionamiento físico el cual permite evaluar de forma más precisa los efectos ocasionados por los cambios de uso que se dan al suelo, mediante el estudio de sus fracciones (de Souza *et al.*, 2016). El fraccionamiento físico de separación por partículas se realiza a través de tamizado en agua, y es usado para obtener y cuantificar la fracción ligera o lábil y las fracciones parcialmente descompuestas (Lozano 2011)

Es de gran importancia conocer los efectos naturales y antrópicos ocurridos en el comportamiento del suelo para ello es necesario realizar estimaciones acerca de los contenidos y los balances de carbono en el suelo, considerando a la MO como el mejor indicador de calidad de los suelos, cuya sustentabilidad depende de la capacidad productiva. A pesar que inicialmente la pérdida de MO puede ser beneficioso para los sistemas de cultivos, debido a la liberación de los nutrientes que contienen, los efectos adversos se reflejan en la falta de la disponibilidad de nutrientes a largo plazo (Galantini, J.A.; Iglesias, J.O.; Maneiro, C.; Santiago, L.; Kleine, 2006)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de los dos últimos siglos, la frecuencia e intensidad de las malas prácticas de uso de la tierra ya sea por deforestación por conversión de superficies boscosas en suelos agrícolas o pastizales, han dejado consecuencias como la pérdida neta del carbono del suelo hacia la atmósfera alterando la distribución de materia orgánica (MO) es cual es un indicador significativo y también pierde nutrientes presentes en el suelo ya que la calidad y productividad del mismo es muy sensible ante cambios por factores naturales o antrópico (Ministerio del Ambiente, 2018).

Los cambios de uso de suelo conjuntamente con las prácticas de manejo para su uso, están directamente relacionado con la dinámica del carbono orgánico de los suelos (COS) puesto que determina las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y la captura de carbono (C) (Paz *et al.*, 2022)

La concentración de CO₂ ha ido en aumento desde el año de 1970 hasta el 2004 en un 70% a causa de excesivo consumo de combustibles fósiles y los cambios de vegetación a suelos agrícolas, el páramo actúa como un reservorio de carbono

El páramo es un ecosistema frágil y limitado por lo cual se ha visto sumamente afectado por factores antrópicos como el cambio de uso de suelo, que son muchas de las veces intensivos y no persistentemente sustentables, a pesar de que es considerando un ecosistema muy importante tanto a nivel regional como mundial, al ser el suelo de paramo un componente escasamente conocido y subvalorado dando lugar a alteraciones en las fracciones lábiles y la humificación de su materia orgánica (Paz *et al.*, 2022).

En las últimas décadas, varias técnicas se han refinado para separar las diferentes fracciones, tratando de identificar las fracciones lábiles y estables (Galantini & Suñer, 2008). Una de tales técnicas, el fraccionamiento físico por tamaño de partícula, permite la separación de fracciones lábiles de MO, que se caracterizan por ser un material fácilmente disponible para la descomposición microbiana, por ejemplo, hojas, raíces y restos de animales (Duxbury *et al.*, 1989), de la MO asociada a la fracción mineral del suelo (estable) (Cambardella & Elliott, 1992). Estas fracciones se han utilizado en estudios que incluyen el almacenamiento de MO bajo diferentes sistemas de manejo (Sá & Lal, 2009). Se ha hecho hincapié en el uso de estas fracciones como un atributo de COS (Conceição *et al.*, 2005) y su sensibilidad como un indicador de los cambios causados por la agricultura, cuando superficies de vegetación natural se convierten en suelos bajo agricultura (Ashagrie *et al.*, 2007). Vieira *et al.* (2007) demostró que la MO particulada (MOP) (> 53 µm) se puede utilizar para determinar el índice que mide la labilidad de la MO. En un estudio de Bayer *et al.* (2006), el CO en la fracción particulada (> 53 µm) indicó cambios en el manejo, con mayor sensibilidad que el COT.

Por lo anteriormente planteado esta investigación estudiara el efecto que tiene el cambio de uso de suelos bajo páramo a cultivo y pasto en la calidad, constitución y distribución de las diferentes fracciones presentes de la materia orgánica del suelo (MOS). Para ello se utilizará el método de fraccionamiento físico que permite aislar una fracción de tamaño mayor a 53 µm, de mayor labilidad llamada Materia Orgánica Particulada (MOP) y una fracción menor

que 53 μm , la materia orgánica asociada a fracción mineral limo y arcillas (MOFM), de mayor estabilidad.

JUSTIFICACIÓN

Los páramos son ecosistemas naturales ubicados en las zonas altas de los Andes, cuya importancia radica principalmente por la capacidad de captación de agua, jugando un papel crucial en el ciclo hidrológico, ya que en él se recolecta la lluvia que se filtra a través de sus suelos húmedos para luego ser liberada en arroyos y ríos.

Los páramos en el territorio Ecuatoriano se encuentran en la región Sierra y se extienden aproximadamente en un 6% de la superficie total del país, que representa 1.250.000 hectáreas, de los cuales debido a la actividad agrícola se han visto afectados 800.000 has sobre los 3.000 msnm (Cunalata & Inga, 2012).

Actualmente los páramos de la provincia de Chimborazo en el Ecuador, se encuentran sometidos al crecimiento continuo de la actividad agropecuaria, de modo que en el transcurso del tiempo disminuye la capacidad productiva, obligando a que los habitantes realicen sus cultivos cada vez a mayor altura (Cunalata & Inga, 2012).

Los problemas ambientales relacionados a la degradación del suelo de los páramos en el Ecuador, han ido incrementando en los últimos años, pero las investigaciones desarrolladas respecto a esta temática son limitadas, por lo que se refleja la necesidad de realizar estudios con el fin de incrementar los conocimientos y obtener datos de campo actualizados acerca de estos ecosistemas, con el fin de estimular su uso sostenible. Por tal motivo en el presente trabajo de investigación, se llevará a cabo un muestreo de campo y análisis de laboratorio que permitirán conocer los cambios que se han generado debido al cambio de uso de suelo de páramo a pasto y cultivo, en la microcuenca Sicalpa, en base al estudio de las fracciones orgánicas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar cambios de la cantidad de carbono en las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo que han ocurrido por remplazo de la vegetación natural de páramo por cultivo y pasto, en la microcuenca Sicalpa, Cantón Colta.

Objetivos específicos

- Determinar las fracciones activas de la materia orgánica en relación con los usos del suelo.
- Determinar las fracciones pasivas de la materia orgánica en relación con los usos del suelo.
- Cuantificar la cantidad de carbono orgánico asociado a las fracciones activas y pasivas en los diferentes tipos de usos del suelo

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO.

1.1 Páramo

Se define al páramo como un ecosistema de zonas altas de gran biodiversidad, que forman paisajes naturales únicos que albergan una rica fauna silvestre y flora endémica, cuya importancia radica en la gran riqueza ecológica que posee (Camacho, 2013).

El páramo cuenta con vegetación que ha desarrollado características fisiológicas que le han permitido adaptarse a diferentes condiciones ambientales como la sequedad, la baja presión atmosférica, cambios extremos de temperatura, intensa radiación ultravioleta y los efectos de los vientos, el granizo y la nieve (Yangora, 2014).

Los suelos y la vegetación que se acumulan en esta región ayudan en la retención del agua, actuando como esponjas de agua ya que son capaces de captar, almacenar y distribuir agua hacia las partes bajas, controlando la escorrentía superficial. Los páramos permiten en desarrollo económico de las comunidades aledañas dedicadas a actividades agropecuarias (Camacho, 2013).

1.2 Importancia y servicios que brinda el páramo.

Los páramos brindan diferentes servicios ecosistémicos de gran importancia a nivel biológico, hidrológico, social, cultural y económico, entre ellos están: regulación hídrica, captura de carbono, protección del suelo y conservación de la biodiversidad (Pinos *et al.*, 2021).

Entre los servicios fundamentales de los páramos está la continua provisión de agua, la cual es retenida por un periodo relativamente largo y distribuido de forma lenta para su aprovechamiento en diferentes actividades como la agricultura. Además los suelos de los páramos pueden almacenar grandes cantidades de carbono, esto debido a que la descomposición de la MO es más lenta gracias a las bajas temperaturas, por lo que juega un papel importante como reservorio de C evitando la emisión de este elemento y así disminuir los efectos del cambio climático por la acumulación de CO₂ en la atmósfera (Pinos *et al.*, 2021).

En el Ecuador los páramos se encuentran en una altura promedio de 3300 m.s.n.m, y ocupan una extensión de 1'337.119 has que abarca el 5% de su territorio aproximadamente. En la provincia de Chimborazo se registran más de 236.000 has, que corresponde el 36,9% del ecosistema páramo en la superficie total de la provincia, que a nivel nacional representa el 17,7% del total de los páramos en la superficie del país (Caranqui *et al.*, 2016). Debido a los cambios de uso del suelo, presencia de sistemas agrícolas y actividades como la quema

y el pastoreo, los páramos ecuatorianos se encuentran amenazados por la erosión, lo cual provoca pérdida de la capacidad de retención y regulación del agua en las cuencas de los páramos (Chuncho & Chuncho, 2019).

1.3 Pasto

Los pastos son plantas pertenecientes a un grupo llamado familia (*Poaceae*). Se encuentran casi en todos los ecosistemas ya sea formando pastizales o siendo parte de ecosistemas como los bosques o selvas (Sanchez, 2019). Desde un punto de vista ecológico los pastizales son de gran importancia estos sirven de alimento para animales, siendo ideal para el desarrollo de actividades pecuarias ya que este constituye el alimento más barato y ofrece los nutrientes necesarios para la alimentación del ganado (León *et al.*, 2018).

Los pastizales de altura contienen una gran cantidad de CO debido a las condiciones climáticas en las que se desarrollan, lo cual permite que actúen como regulador hídrico. El agua se almacena en el suelo gracias a que los pastos dejan que penetre en él, permitiendo la disponibilidad de agua en épocas secas (Núñez *et al.*, 2018).

Existen diferentes causas que deterioran la salud de los pastizales, entre ellas están el sobrepastoreo, avance de la frontera agrícola y la quema de pastos. Un pastizal puede abastecer de alimento a una cantidad limitada de animales, por lo que al llevar un número excesivo de animales y la mala distribución de los mismos, impide que los animales sean bien alimentados, además la presión de muchos animales no permite la regeneración de los pastos limitando su disponibilidad (Núñez *et al.*, 2018).

La quema de pastos se practica en lugares con pastos muy duros y leñosos, siendo una actividad dañina que provoca cambio en las propiedades del suelo, disminuye la disponibilidad de nutrientes, el contenido de agua, temperatura y presencia de microorganismos en el suelo que inciden en el crecimiento de la vegetación y genera erosión en los suelos (Núñez *et al.*, 2018).

1.4 Cambio de uso de suelo

El cambio de uso del suelo se refiere a la transformación o remoción de la cubierta vegetal de la superficie terrestre ya sea de forma parcial o total, con el fin de utilizarlos para actividades humanas diferentes a la original (Borrelli & Olivia, 2013).

Las modificaciones antropogénicas de la vegetación natural, da como consecuencia la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat natural pero además la pérdida del valor cultural y estético del entorno (Lázaro & Tur, 2018).

La deforestación da lugar a la pérdida de hábitats, reducción de número de especies y la pérdida de la fertilidad del suelo afectando a todo el ecosistema. Los monocultivos y la

actividad agrícola intensiva generan una disminución de los niveles de MOS, causando así un deterioro en su estructura (Cantú & Yañez, 2018).

El mayor efecto en el cambio del uso de la tierra se presenta en los estratos superiores hasta una profundidad de 30 cm, la cantidad de C en el suelo depende de factores a largo plazo que pueden ser modificados, degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra (Cantú & Yañez, 2018).

1.5 Materia Orgánica

La MOS comprende todos los componentes orgánicos presentes en el suelo, es una mezcla heterogénea de residuos vegetales y animales en distintos grados de descomposición, este proceso de transformación es continuo y dinámico, es decir que varía con el tiempo. La MOS es considerada indispensable en la actividad biológica del suelo, siendo la principal fuente de energía, nutrientes y hábitat para los organismos que viven en el suelo (Laban *et al.*, 2018).

La MOS mejora la estructura del suelo con la mayor capacidad de retención de agua disponible para las plantas, siendo mayor este efecto en el suelo de texturas gruesas además aumenta la capacidad calorífica del suelo reduciendo las oscilaciones térmicas, mantiene las reservas de nitrógeno y carbono que aportan al suelo elementos esenciales para las plantas (Banegas, 2014).

1.6 Fraccionamiento de la materia orgánica

Las fracciones específicas de MOS se asocian con partículas minerales y mineralógicas de arcillas y por tanto a ciertos tamaños de agregados. El fraccionamiento permite separar una fracción de mayor tamaño MOP, de mayor labilidad, de una fracción de menor tamaño asociada a los minerales, limo y arcilla (MOAM), de mayor estabilidad, la fracción de la MOS del tamaño de la arena se considera más lábil que aquella del tamaño de limo y las arcillas, en las fracciones de mayor tamaño de MO estará menos transformada, es decir, que va a presentar menor complejidad y su tiempo de resistencia en el suelo será menor (Salazar *et al.*, 2013).

El fraccionamiento físico permite obtener información sobre como el MOS está unida dentro del matiz del suelo y se utiliza para separar fracciones parcialmente descompuesta de las asociaciones con partículas minerales ver (tabla 1). Se usan para evaluar el efecto de diferentes prácticas agronómicas en la dinámica de COS, y también la posibilidad de servir de indicador o de generar índices para caracterizar el estado del suelo y los efectos de las diferentes prácticas de manejo (Salazar *et al.*, 2013).

Tabla 1. Distribución de los diferentes tamaños de partículas minerales y orgánicas

Arena gruesa	Material orgánico particulado grueso	>250 μm
	Material orgánico particulado medio	250 – 150 μm
Arena fina	Material orgánico Particulado fino	150 – 75 μm
Arena muy fina	Material orgánico particulado muy fino	75 – 53 μm
Limo y Arcilla	Sustancias húmicas	< 53 μm

Elaborado por: Autores

1.7 Ciclo del Carbono

El ciclo del C inicia desde la fijación del CO_2 atmosférico mediante procesos de fotosíntesis realizada por plantas y microorganismos. Se produce una reacción entre dióxido de CO_2 y el agua para formar carbohidratos y simultáneamente liberar oxígeno a la atmosfera. Estos carbohidratos se consumen directamente para proporcionar energía a la planta y el anhídrido carbónico se libera a través de sus hojas o raíces. La parte que es consumida por los animales también liberan CO_2 en sus procesos metabólicos. Finalmente son descompuestos plantas y animales por microorganismos que se encuentran en el suelo dando como resultado que el C que se encuentra en sus tejidos se oxiden en anhídrido carbónico y retorne a la atmosfera (Torres, 2016).

1.8 Dinámica del carbono orgánico en el suelo

El COS es dinámico, una vez el C entra en el suelo en forma de material orgánico gracias a la fauna y flora del suelo, puede persistir en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios. El COS puede perderse en forma de CO_2 o CH_4 emitido así de nuevo a la atmósfera, como material erosionado o como CO disuelto que desemboca en ríos y océanos en forma de carbonatos (CO_3) (Márquez *et al.*, 2017).

Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de los alimentos. Además, el COS mejora la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que con la porosidad aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de la planta, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI) como el cambio de uso, manejo forestal, incendios forestales, la regeneración y la sustitución de especie (Lefèvre *et al.*, 2017).

1.9 Depósito de carbono en el ecosistema

Las reservas que almacenan una gran cantidad de C son: atmosfera, océanos, combustibles fósiles y ecosistemas terrestres, todos estos se encuentran interconectados mediante procesos, físico y biológicos (Castañeda & Montes, 2017).

Los sistemas ecológicos terrestres son importantes sumideros de C, el cual queda retenido en la vegetación viva, material vegetal en descomposición y en el suelo. El CO se almacena en suelos de manglares, humedales, bosques, pasturas cultivadas, páramo, pajonales altoandinos, siendo los suelos presentes en las regiones Andinas donde existe mayor concentración de CO (Huamán *et al.*, 2021).

1.10 Importancia del carbono orgánico en el suelo

El COS es uno de los elementos más importantes para mejorar la calidad y la fertilidad del suelo, la productividad, el crecimiento de vegetación ya que los suelos con mayor contenido orgánico poseen gran capacidad para el desarrollo de una mayor diversidad vegetal con lo cual aumenta la biodiversidad de los suelos, a su vez esta biodiversidad contribuye a la formación de la MOS a través de la descomposición y la generación de humus. Con el aumento de la cantidad y la calidad del COS, favorece a la estabilidad estructural del suelo, lo cual le permite cumplir con una amplia gama de servicios ecosistémicos como una mayor producción de alimentos agrícolas, capacidad de almacenar agua en el suelo, almacenamiento de C y regulación del clima (Laban *et al.*, 2018).

1.11 Suelos Andosoles

Los andosoles son suelos jóvenes que se encuentran en su mayoría en zonas montañosas o volcánicas, poseen altos valores de MO además que estos tienen un alto potencial para la producción agrícola ya que son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua (Galicía, Gamboa, *et al.*, 2016).

El material parental y el clima son los principales factores de formación de las características químicas y físicas de este tipo de suelo, el color característico de este suelo lo proporciona la ceniza volcánica dándole así su coloración oscura, el cual se intemperiza para dar lugar a la formación de minerales secundarios no cristalinos o de bajo orden estructural. Los suelos andosoles tienen una gran capacidad de almacenar C gracias a las características mencionadas anteriormente (Silva *et al.*, 2021).

1.12 Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo (D_a), es la relación que existe entre la masa seca y el volumen total de los sólidos en el suelo incluyendo el espacio poroso. El resultado refleja el comportamiento dinámico de la estructura y nos indica la porosidad del suelo (Novillo *et al.*, 2018). Entre los métodos para determinar la densidad aparente, el más utilizado es el método del cilindro que consiste en introducir un cilindro metálico en el suelo y extraer el suelo en él para luego determinar la masa de suelo seco que se obtuvo en su interior (Marín,

2017). La densidad aparente puede variar a causa de diferentes factores como la textura del suelo y el contenido de MO. Los suelos que presentan una textura fina y altos contenidos de MO suelen tener valores bajos de densidad aparente, en relación a los suelos con textura gruesa y bajos contenidos de MO (Marín, 2017).

1.13 Textura del suelo

La textura se refiere a las proporciones en que se encuentran las partículas inorgánicas de diámetro menor de 2 mm siendo estas Arena, Limo y Arcillas (Marín, 2017). Esta es una propiedad importante que influye en la fertilidad del suelo, capacidad para retener agua, aireación y contenido de MO. Una herramienta muy usada para determinar el tipo de textura de un suelo es el triángulo de textura de suelos según la FAO ver (Figura 1) . (Novillo *et al.*, 2018).

Los suelos que contienen mayor proporción de arenas pueden retener poca agua debido a que se forman espacios porosos más grandes, por otro lado si el porcentaje de arcillas es mayor se forman poros pequeños aumentando la capacidad de retener agua con altos contenidos de humedad (Marín, 2017).

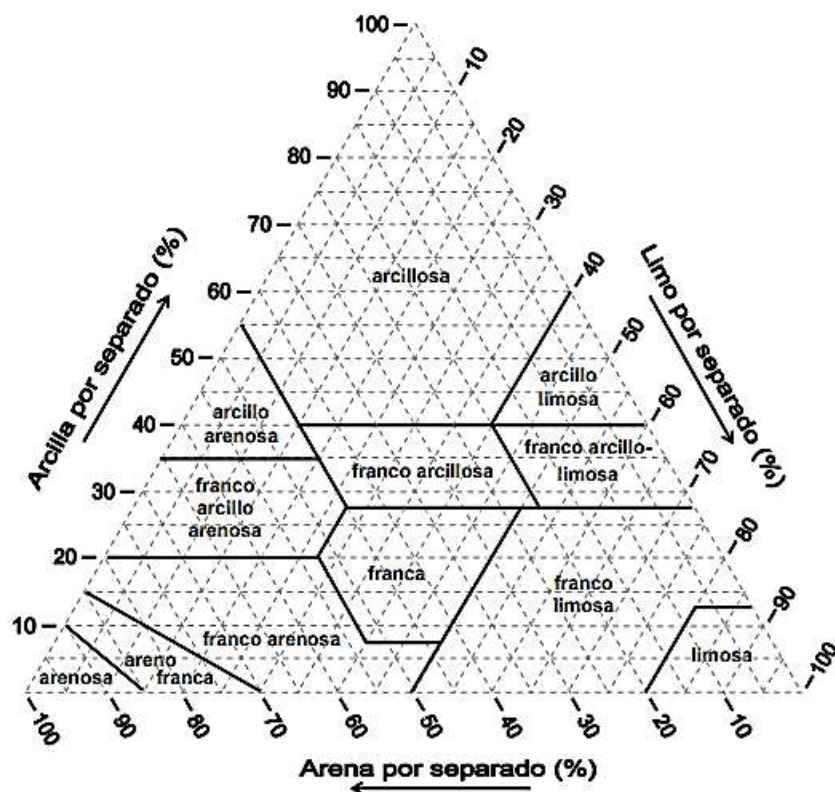


Figura 1. Triángulo de la textura

Fuente: (Pellegrini, 2019)

1.14 Estructura del suelo

La estructura del suelo se refiere al arreglo de las partículas texturales como arena, limo y arcilla conocidas como partículas primarias, a partir de estas se da lugar a la formación de agregados que consisten en elementos estructurales de mayor tamaño que se forman por la agrupación de las partículas primarias, principalmente arcilla (Maldonado, 2016).

La proporción y disposición de estas partículas en el suelo determinan la cantidad de agua y aire que puede almacenar, los espacios formados alrededor de las partículas permiten que exista porosidad actuando como una esponja para absorber el agua, nutrientes y el aire que son necesarios para el crecimiento de las plantas. Los suelos arenosos contienen más espacios libres debido a que las partículas son de mayor tamaño, así el aire y el agua fluyen más rápidamente, favoreciendo la infiltración. En el caso de las arcillas, al ser partículas de menor tamaño los espacios entre ellas son más pequeños, por lo tanto el agua y el aire fluyen de manera más lenta (González, 2015).

1.15 pH del suelo

El pH es un indicador que mide la acidez o alcalinidad de una solución de suelo, en otras palabras el pH es el potencial de iones libres de hidrógeno (Osorio, 2012). Esta es una de las propiedades de mayor importancia ya que la disponibilidad de nutrientes para las plantas depende del pH el cual determina la solubilidad y actividad microbiana que mineraliza la MO. Para medir el pH el método de mayor precisión es mediante un pH-metro, el cual se sumerge en una mezcla de suelo con agua. El valor del pH en el suelo se encuentra en un rango entre 3,5 considerado muy ácido, a 9,5 que es muy alcalino, siendo 7 el valor que indica una reacción neutra (López & Estrada, 2015).

En los suelos ácidos existe baja disponibilidad de calcio y fosfatos, aumentando el porcentaje de aluminio, manganeso y hierro solubles, presentes en exceso creando un medio tóxico que limita el crecimiento de las plantas, en cambio la alcalinidad del suelo impide solubilizar los microelementos para que sean aprovechados por las raíces (Álvarez & Rimski, 2016).

1.16 Color del suelo

El color del suelo es una característica morfológica fácil de identificar que permite determinar la composición mineral del suelo y el origen del material parental. Esta propiedad es usada comúnmente para reconocer y describir los diferentes grupos genéticos del suelo, además guarda relación con la temperatura, la dinámica de los elementos, contenido de MO, la movilidad del agua y la evolución de los suelos (Domínguez *et al.*, 2012).

Para determinar el color del suelo se utiliza el Sistema de Notación Munsell (1975), siendo una de las técnicas más utilizadas, la cual consiste en un modelo tridimensional en el que

cada color está compuesto por tres elementos básicos que son: matiz, la luminosidad y croma (Poch, 2022).

Cuando el suelo presenta un color oscuro comúnmente se debe a la MO en descomposición y refleja un alto contenido de humus. Una coloración roja del suelo es una tonalidad común de suelos bastantes viejos, debido a la oxidación e hidratación de los compuestos minerales de hierro del suelo (López & Estrada, 2015).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

1. Área de Estudio

La zona de estudio, está localizada en la microcuenca Sicalpa, ubicada en el cantón Colta específicamente en la parroquia Villa la Unión, ubicado al Noroccidente de la provincia de Chimborazo a 19 km de la ciudad de Riobamba (Figura 2). La delimitación del área de estudio se realizó utilizando la cartografía temática del Instituto Geográfico Militar (IGM), identificando un área aproximada de 11218 ha; en las coordenadas UTM en X: 743830.13 Y: 9812271,66 (Cayambe, 2012).

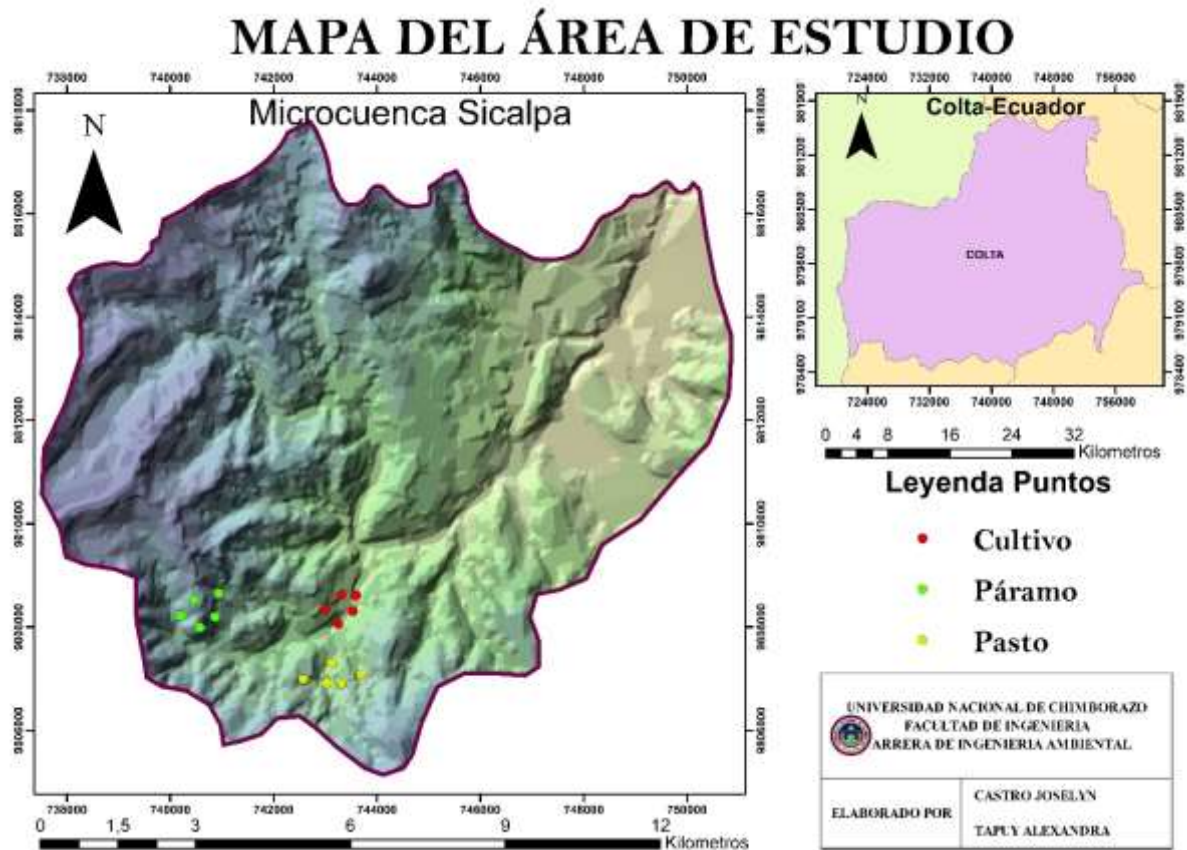


Figura 2. Área de estudio
Elaborado por: Autoras

1.2 Puntos de muestreo

Para la obtención de los puntos de muestreo, se realizó un mapa de la zona de estudio en el programa ArcGIS en base a los tipos de uso de suelo: páramo, pasto y cultivo, cuyas coordenadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Nº	Tipo de uso de suelo	Parcela	X	Y
1	Páramo	P13	741445	9811351
2	Páramo	P14	741061	9807120
3	Páramo	P15	740899	9807314
4	Páramo	P17	741008	9807199
5	Páramo	P18	740747	9807071
6	Páramo	P19	741149	9806857
7	Páramo	P20	741084	9806796
8	Páramo	P21	741076	9806878
9	Páramo	P27	740233	9808406
10	Páramo	P52	740343	9807287
11	Pasto	P1	743356	9807296
12	Pasto	P2	743250	9807383
13	Pasto	P3	743262	9807303
14	Pasto	P4	743232	9807215
15	Pasto	P5	743238	9807023
16	Pasto	P6	743175	9807206
17	Pasto	P7	742895	9807103
18	Pasto	P8	743070	9806946
19	Pasto	P9	743053	9807046
20	Pasto	P10	743298	9807186
21	Cultivo	P1	743285	9807356
22	Cultivo	P2	743209	9807176
23	Cultivo	P3	743249	9807179
24	Cultivo	P4	743134	9807161
25	Cultivo	P5	743130	9807103
26	Cultivo	P6	743171	9807088
27	Cultivo	P7	743184	9807095
28	Cultivo	P8	743058	9807169
29	Cultivo	P9	743062	9807178
30	Cultivo	P10	743160	9807163

Elaborado por: Autores

1.17 Diseño experimental

En la presente investigación se aplicó un diseño de bloques al azar con diez replicaciones, donde los tratamientos son los diferentes tipos de vegetación (páramo, pasto y cultivo). Los diferentes usos de suelo están localizados en una misma unidad taxonómica perteneciente al orden Andosol.

1.18 Muestreo de Campo

Las muestras de suelo fueron recolectadas en la parcela de 20 x 20 m, en cada uno de los diferentes usos (páramo, pasto y cultivo), en donde se establecieron 5 puntos de muestreo, distribuidos 1 en el centro y 1 en cada extremo de los cuatro vértices, ver (Figura 3), para posteriormente mezclarlas y formar una muestra compuesta (extracción de varias submuestras del mismo volumen y profundidad).

En el punto central de la parcela se verificó si es un suelo andosol con el test del NaF y se observó el color en campo en condiciones de humedad comparándolo con la tabla de colores de suelo Munsell siguiendo la guía de descripción de perfiles.

Las muestras se tomarán de (0-30 cm) de profundidad en cada punto de muestreo con el propósito de conseguir una muestra compuesta por cada una de las parcelas, usando 10 repeticiones, también se recolectó suelo por medio de un cilindro de volumen conocido, para el cálculo de la densidad aparente.

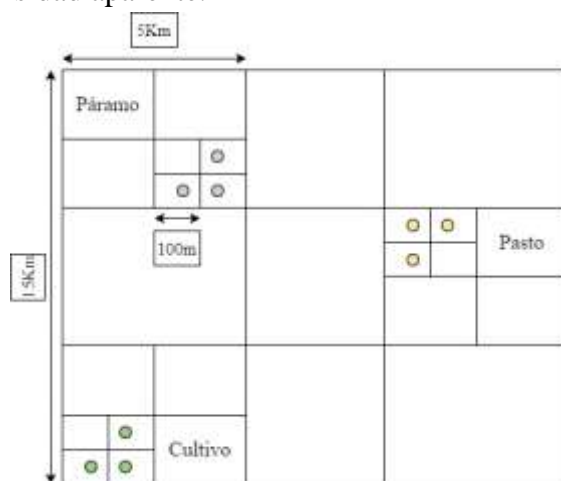


Figura 3. Muestreo de suelos

Elaborado por: Autores

2. Caracterización del suelo

De acuerdo con la “Guía para la Descripción de Suelos” según la FAO 2015 se caracterizó los siguientes parámetros: pH, color, test de NaF, densidad aparente, y materia orgánica.

2.1 pH del Suelo

El pH en el suelo expresa la actividad de los iones de hidrógeno en la solución del suelo. Para medir el pH se preparó una solución con 10 g de suelo y 25 ml de agua destilada (1:2.5), posteriormente se agitó por 30 min. Después, con ayuda de un pH-metro se procede a leer en el sobrenadante sin agitar (FAO, 2017).

2.2 Color

La determinación de color se realizó mediante el diagnóstico de matices, valores y cromas como se muestra en la Tabla de Colores de Suelo Munsell. Las lecturas fueron registradas tanto en un suelo seco como húmedo, de cada uno de los diferentes estratos (Poch, 2022).

2.3 Densidad Aparente

El cálculo de la densidad aparente se realizó mediante el método del cilindro de volumen conocido, sin disturbar la estructura natural del suelo. Este método consistió en tomar una muestra de suelo *in situ* dentro del cilindro, a una profundidad de 0 a 30 cm. Estas muestras fueron colocadas en fundas plásticas ziploc previamente etiquetada para su traslado al laboratorio. En laboratorio las muestras fueron previamente pesadas y colocadas en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, transcurrido este tiempo fueron pesadas nuevamente para obtener el peso seco (Marín, 2017).

$$Dap \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{Pss}{Vc}$$

Donde: la densidad aparente expresada en g/cm³; Pss es el peso del suelo seco en gramos y Vc es el volumen del cilindro.

2.4 Test de NaF

El test de NaF sirvió para determinar la presencia de aluminosilicatos; por lo que este test consiste en colocar una muestra pequeña de suelo sobre papel absorbente para después, añadir de 2 a 3 gotas de fluoruro de sodio y la misma cantidad de fenoltaleína. Si habría aluminosilicatos disueltos, tomará una coloración violeta (FAO, 2017)

3. Fraccionamiento de la materia orgánica

3.1. Primer método

Se utilizó el método desarrollado por (Márquez *et al.*, 2019), donde se agregó 50 ml de hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ que se encuentre al 5%, a una muestra de 30 g de suelo, inmediatamente fueron sometidas a agitación durante 12 horas, luego fraccionadas usando tamices de 250, 150, 75 y 53 µm de diámetro de malla ver (Figura 4). El fraccionamiento consistió en hacer movimientos de vaivén hasta que el agua de salida a través del tamiz resultase limpia. Cada una de las fracciones fueron llevadas a la estufa a 70 °C hasta tener un peso constante. Una vez seca se trituró y se pesó para determinar el C (Paz *et al.*, 2016).

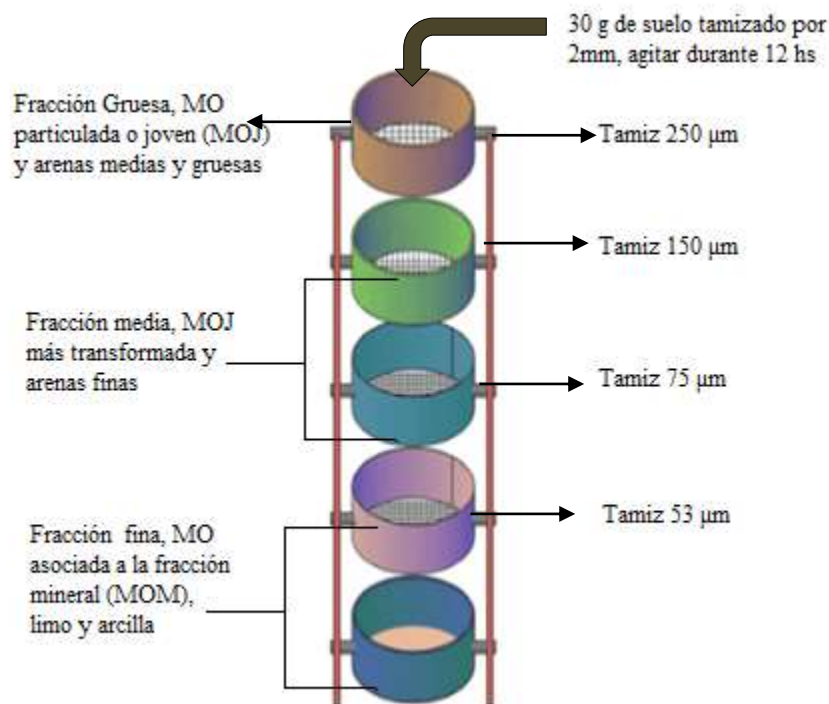


Figura 4. Fragmentación del suelo

Elaborado por: Autores

3.2. Segundo método

En este caso se agregaron 50 ml de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ que se encuentre al 5%, a una muestra de 30 g de suelo, inmediatamente fueron sometidas a agitación durante 12 horas, luego se fraccionaron usando el tamiz de 53 µm de diámetro de malla. Igual que en el caso anterior el fraccionamiento consistió en hacer movimientos de vaivén hasta que el agua de salida a través del tamiz resulte limpia. Cada una de las fracciones se las llevó a la estufa a 70 °C hasta peso constante. Una vez seca se trituran y se pesaron para determinar el carbono localizado en cada fracción.

4. Materia Orgánica y carbono orgánico del suelo

La MO se determinó mediante el método Lost-Ignition o pérdida de ignición. Es importante indicar que todas las muestras fueron previamente secadas al aire libre y pasadas por el tamiz de 2 mm. Para la cuantificación de carbono por LOI (calcinación) se utilizó el método expuesto en (Chambers, Beilman y Yu 2011; Isaza *et al.*, 2009) de acuerdo al siguiente detalle:

- Se ingresó la muestra de suelo en una estufa a 105 °C/24 h00.
- Pesamos 5 g de muestra de suelo seco en un crisol.
- Luego colocar durante 4 h en una mufla a 550 °C.

- A continuación, se transfirió a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente.

El cálculo de MO se realizó a través de la diferencia de pesos (Ecuación 1), de acuerdo a la formula expuesta por (Chambers, Beilman y Yu 2011; Isaza *et al.*, 2009).

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{Peso del suelo (5g)} - \text{peso despues de la ignición}}{\text{Peso del suelo (5g)}} \quad (1)$$

El contenido de COS, se estimó a partir del % de MO relacionándola con factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1,724 que resulta ($1/0,58 = 1,724$) de la suposición de que la MO del suelo contiene un 58% de carbono (Ecuación 2).

$$\% \text{ COS} = \frac{\% \text{ MO}}{1,724} \quad (2)$$

Con los resultados del contenido de carbono orgánico y la densidad aparente, se reporta el contenido de carbono (toneladas de CO₂ por hectárea), para determinar el contenido actual (Ecuación 3).

$$\text{Contenido de C suelo} \left[\frac{\text{tonCO}_2}{\text{ha}} \right] = (Da * P * C * 100) * \frac{44}{12} \quad (3)$$

Dónde:

Da = Densidad del suelo [g/cm^3]

P = Profundidad a la que se toma la muestra [cm]

C = Porcentaje en peso de carbono orgánico en el suelo

$44/12$ = La relación $44/12$ proviene de la relación estequiométrica de pesos moleculares con la finalidad de conocer cuánto CO₂ puede originarse por la descomposición del carbono orgánico.

5. Valoración económica del contenido de carbono en el suelo

Para calcular la valoración económica del contenido de carbono se usaron los valores señalados abajo reportados por (World Bank Group, 2017) El contenido de carbono en ton CO₂/ha (Ecuación 3) se multiplicó por cada precio establecido por el Banco mundial. El resultado de la (Ecuación 4) se extrapoló a toda la superficie del área de estudio, de esa manera se obtuvo el valor económico total del contenido de carbono para los diferentes años.

$$V \text{ carbono} \left[\frac{\text{USD}}{\text{ha}} \right] = \text{Contenido de C suelo} \left[\frac{\text{ton CO}_2}{\text{ha}} \right] * \text{Costo social del C} \left[\frac{\text{USD}}{\text{ton CO}_2} \right] \quad (4)$$

Tabla 2. Precios de la tonelada de dióxido de carbono (World Bank Group, 2017)

Año	Precio (*USD/tonCO ₂)
2011	15
2017	10
2020	40 - 80
2030	50 - 100

Fuente: Elaborado por: autoras.

6. Análisis Estadístico

Se realizó pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos por fracciones de agregados estables e inestables y el contenido de carbono asociado a estas fracciones. Se realizó un ANOVA de una sola vía, ($p < 0,05$), para detectar diferentes estadísticas entre tratamientos y se realizó la prueba de medias de Tukey. Para el análisis estadístico se usó el software MINITAB V17.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Propiedades físicas- químicas del suelo

1.1 pH

El pH de suelo bajo páramo fue de 5,30 a 6,00 con un valor medio de 5,64; en pasto fue de 6,09 a 5,50 con un valor medio de 5,70% y en el suelo bajo cultivo presento un valor de 5,82 a 5,20 con un valor medio de 5,51 ver (Figura 5). Estos valores corresponden a un pH moderadamente ácido que permiten una mayor asimilación de los elementos químicos como: fósforo (P), azufre (S), materia orgánica (MO) e intercambio de bases (Osorio, 2012). Es importante mencionar que los suelos de cultivo normalmente presentan un valor de pH de 4 a 10, sin embargo valores bajos están relacionados con una mayor concentración de Aluminio (Al^{3+}), lo cual resulta tóxico para las plantas (Sadeghian, 2016). El rango de pH óptimo del suelo es de 6 a 7, debido a que permite una mayor disponibilidad de nutrientes (Toledo, 2016).

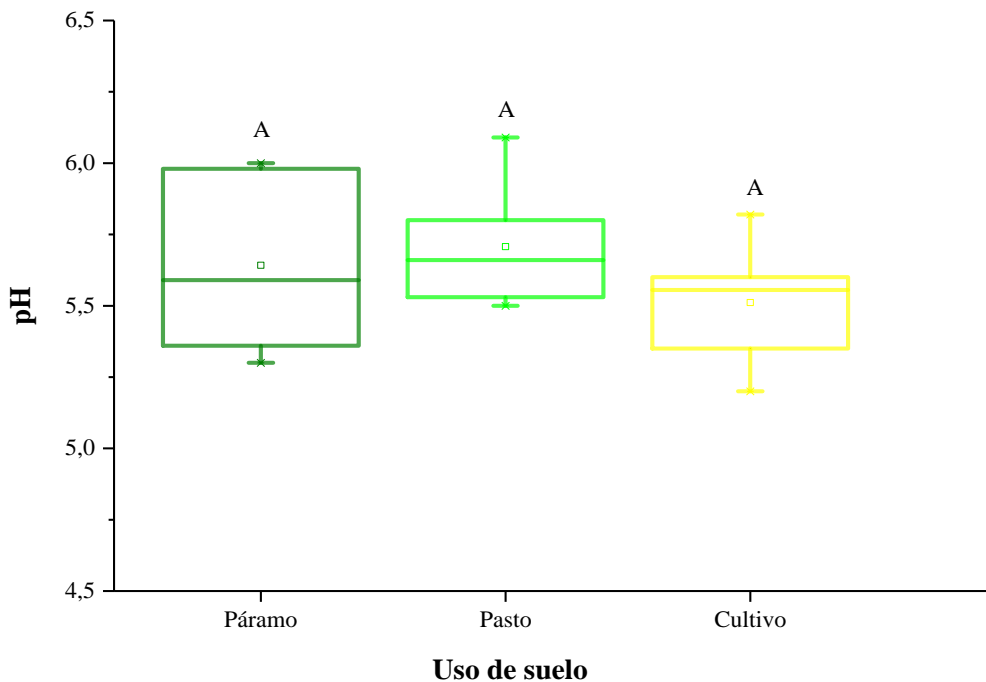


Figura 5. pH de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.

Elaborado por: Autores

1.2 Densidad aparente

La Figura 6, muestra valores de la Dap del área de estudio, donde el suelo bajo páramo presento un valor medio de $0,76 \text{ g/cm}^3$ con un máximo de $0,92 \text{ g/cm}^3$ y un mínimo de $0,57$

g/cm³; el suelo bajo pasto presento un valor medio de 0,89 g/cm³ con un máximo de 1,05 g/cm³ y un mínimo de 0,78 g/cm³ y el suelo bajo cultivo presento un valor medio de 0,79 g/cm³ con un máximo de 0,87 g/cm³ y un mínimo de 0,70 g/cm³. Estos valores muestran diferencias significativas entre los usos de suelo bajo paramo y pasto, debido a que el páramo al ser un ecosistema de altura y poseer bajas temperaturas contienen altos contenidos de MO y por consiguiente su Dap es baja (Castañeda & Montes, 2017). Por otro lado, los suelos bajo pasto y cultivo presentan valores de Dap altos como resultado de las actividades antrópicas a los que han sido sometidos. El valor de la Dap se ve modificada por la incorporación de MO y por factores antrópicos como las labores agrícolas (Cid-Lazo et al., 2021).

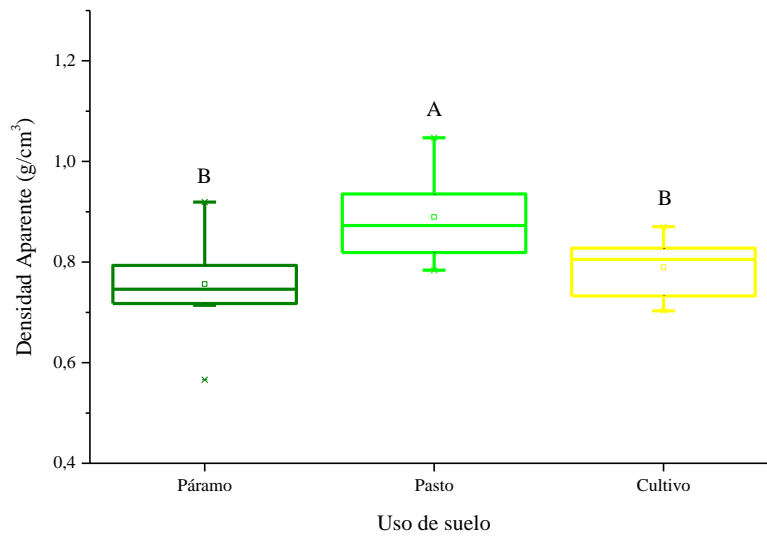


Figura 6. Densidad aparente de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes

Elaborado por: Autores

1.3 Color

El color del suelo es una de las más importantes y fácil de determinar, está definido por factores como: el clima, el contenido y estado de los minerales del hierro, manganeso, materia orgánica, vegetación natural (FertiLab, 2018). Para la interpretación del color del suelo se realizó haciendo uso de la tabla de colores de Munsell, los datos se deben registrar en condiciones de seco y húmedo. Los valores de color del suelo bajo paramo, pasto y cultivo se encuentran dentro del matiz 10 YR (yellow red) con una luminosidad (value) de 2 a 4 y una pureza (chroma) de 1 a 2 (Figura 7).

Los suelos presentan colores oscuros a muy oscuros por la razón que tienen alto contenido de humedad y materia orgánica, teniendo esta última una lenta descomposición ya que la zona donde se encuentra tiene bajas temperaturas.

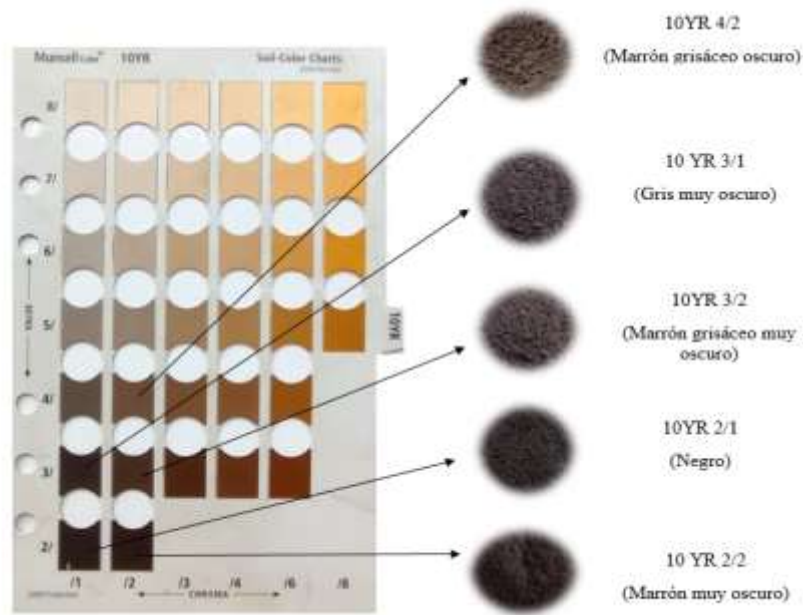


Figura 7. Color del suelo, se aplicó la tabla de colores de Munsell, donde los valores indican el color específico del tipo de suelo.

Elaborado por: Autores

1.4 Estructura

“Propiedad física que resulta del modo en que se unen las partículas sólidas, agregación” (Arrias *et al.*, 2019). Los suelos de estudio presentan un tipo de estructura granular, muestran poca porosidad, son suaves y sueltos permitiendo que haya mejor flujo del aire y agua, debido a su fuerte actividad de microorganismos son ricos en materia orgánica y a su tipo tienen una mejor estabilidad que favorece a disminuir la erosión y distribución de sus agregados que genera retención de agua y haya mejor drenaje ver (Figura 8) (Kolmans, 2020).



Figura 8. Estructura del suelo. Según la forma en que se agrupan las partículas individuales de los tres tipos de suelos.




Elaborado por: Autores

1.5 Test de Floururo de sodio (NaF)

Se aplicó el test de NaF en cada una de las muestras para poder confirmar a qué tipo de suelo pertenecen. En las cuales se pudo comprobar la presencia de aluminosilicatos debido a que

presentaron un color violeta. En este caso las muestras de suelo bajo páramo, pasto y cultivo presentaron una reacción de un 70% y moderada de un 30%, datos que nos señalaron que estos suelos pertenecen al tipo andosol, ver (Tabla 3).

Tabla 3. Test de NaF del suelo

Test de NaF		Observaciones
Páramo	Fuerte	
Pasto	Fuerte/Moderado	
Cultivo	Fuerte	

Elaborado por: Autores

2. Distribución de tamaño de partículas en relación con los usos del suelo, usando el método de fraccionamiento 1.

En la figura 9 se muestra el tamaño de partícula asociado a cada uso de suelo, donde la fracción 1 arena gruesa ($> 250 \mu\text{m}$) presento un valor medio de 1,13%, con un valor máximo de 1,62% en el uso de suelo bajo páramo y un mínimo de 0,84% en el uso de suelo bajo cultivo, siendo estos significativamente diferentes.

En los usos de suelo bajo páramo, pasto y cultivo la fracción 2, (250 - 150 μm), que corresponde a la arena media, registro valores de 3,73%; 2,59% y 2,42% respectivamente, con un promedio de 2,91%. La fracción 3 (150 - 75 μm), que corresponde a la arena fina presento un valor medio de 10,79%, siendo similares tanto en suelos bajo páramo, pasto y cultivo, lo que indica que no presentan diferencias significativas entre tratamientos.

La fracción 4 arena muy fina (75 - 53 μm), presento un valor medio de 10,29%, con un valor máximo de 11,82%, en suelos bajo pasto, seguido de cultivo con 10,15% y un mínimo de 8,91% en suelos bajo páramo, siendo significativamente diferentes entre páramo-pasto y pasto-cultivo.

La fracción 5 ($< 53 \mu\text{m}$), corresponde al limo + arcilla, presento un valor medio de 74,85%, con un valor máximo de 76,28% en suelos bajo cultivo, y un mínimo de 73,27%, en suelos bajo pasto, lo que indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos.

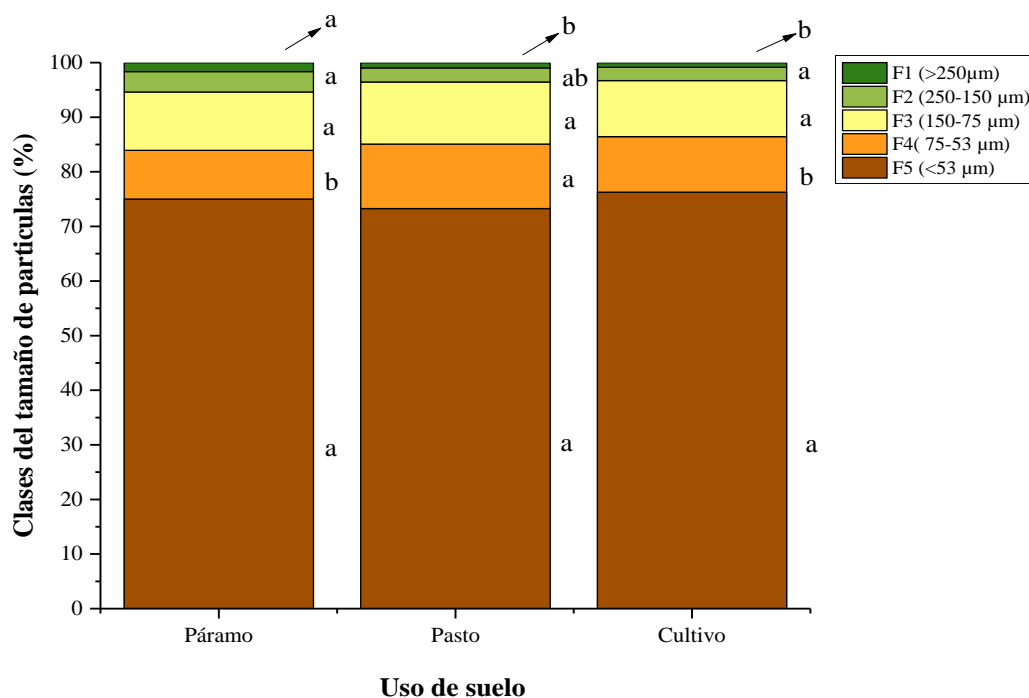


Figura 9. Clases del tamaño de partículas de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.

Elaborado por: Autoras

3. Distribución de tamaño de partículas en relación con los usos del suelo, usando el método de fraccionamiento 2.

En la figura 10, se muestra los valores de las fracciones (F1 - F2), de los usos de suelo del área de estudio, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: Páramo: F1 (27,74%) y F2 (72,26%); Pasto: F1 (26,07%) y F2 (73,92%) y Cultivo F1 (26,14%) y F2 (73,85%). Estos valores indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, la mayor concentración se registra en la F2, lo que indica que el suelo presenta mayor contenido de limo y arcilla en su composición. Estos valores concuerdan con estudios realizados por Cueva & Viteri, (2021) en su estudio sobre la materia orgánica particulada como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por los cambios de uso y la geología.

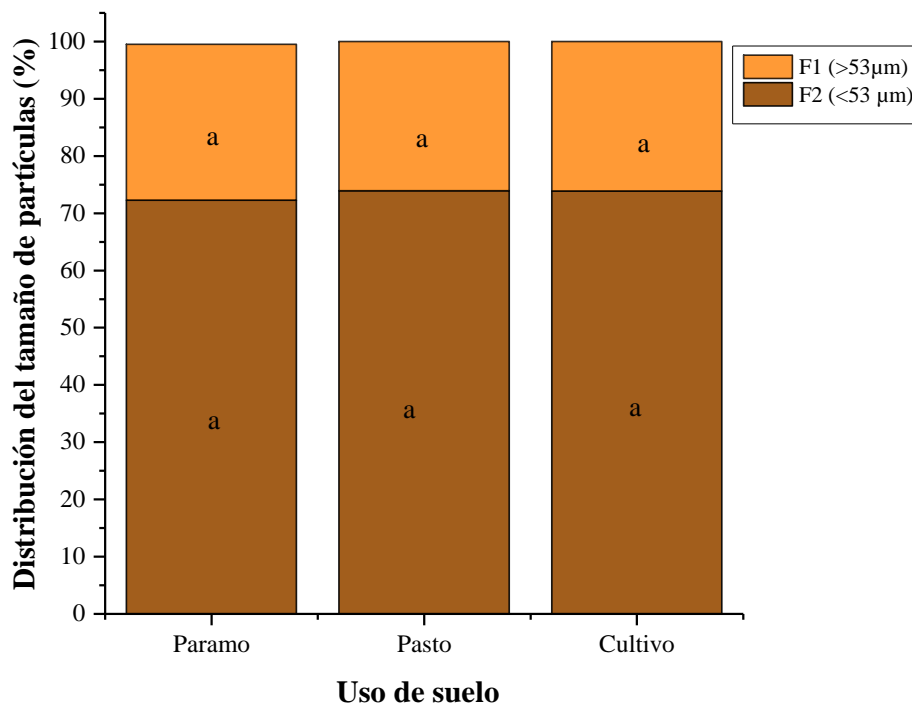


Figura 10. Clases del tamaño de partículas de suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.

Elaborado por: Autoras.

4. Carbono orgánico de las fracciones activas y pasivas en los diferentes usos de suelo de la microcuenca Sicalpa

La Figura 11, muestra la variabilidad del contenido de carbono orgánico en los diferentes tipos usos de suelo, donde la mayor concentración (153,94 gC/kg) se encuentra en la fracción 1 del uso de suelo bajo páramo y la menor cantidad (80,17 gC/kg) se registró en el uso de suelo bajo cultivo. La fracción 2 presento un valor de 17,85 gC/kg en páramo; 11,49 gC/kg en pasto y 13,31 gC/kg en cultivo. La fracción 3 la mayor cantidad de C se registró en el suelo bajo páramo con un valor de 13,64 gC/kg, seguido de pasto con 7,94 gC/kg y cultivo 8,89 gC/kg, estos valores no presentan diferencias significativas entre tratamientos. La fracción 4 corresponde a la fracción fina presento valores de 16,54 gC/kg en páramo, 13,65 gC/kg en cultivo y 11,81 gC/kg, en pasto. Por último, la fracción 5 que corresponde a la fracción muy fina mostro una concentración de 128,43 gC/kg en paramo, 106,87 gC/kg en cultivo y 105,12 gC/kg suelo bajo pasto. La disminución en el contenido de C, está relacionado con los cambios de uso de suelo de páramo-pasto y de páramo-cultivo sucediendo también por deforestación, erosión y el manejo de los usos de suelo que han generado que el suelo se convierta de un reservorio de carbono a una fuente de emisión de gases de efecto invernadero que genera un aporte al cambio climático (Burbano, 2018).

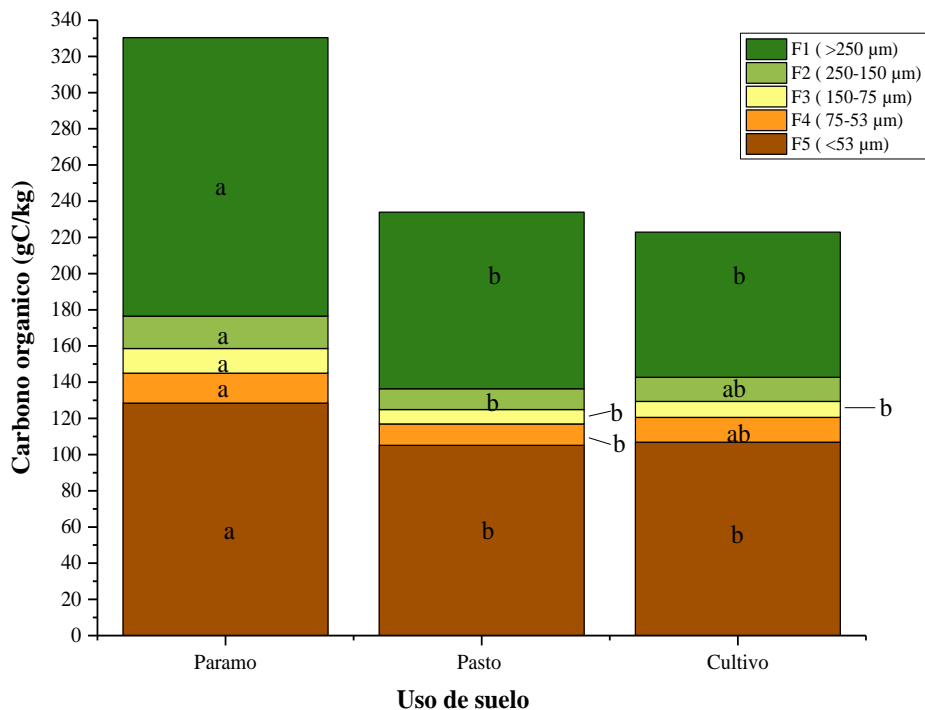


Figura 11. Carbono orgánico (gC/kg) en suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.

Elaborado por: Autores

5. Carbono orgánico y su relación con el tamaño de partículas en los diferentes usos de suelo de la microcuenca Sicalpa

La Figura 12, muestra la variabilidad del contenido de carbono orgánico en los diferentes tipos usos de suelo, donde la mayor concentración (48,78 gC/kg) se encuentra en la fracción 1 (>53 μm) del uso de suelo bajo páramo y la menor cantidad (17,48 gC/kg) se registró en el uso de suelo bajo pasto, no presento diferencias significativas entre los tratamientos. La fracción 2 (<53 μm) presento un valor de 129,07 gC/kg en páramo; 106,38 gC/kg en cultivo y 90,91 gC/kg en pasto, estos valores tienen diferencias significativas entre paramo-pasto y paramo-cultivo.

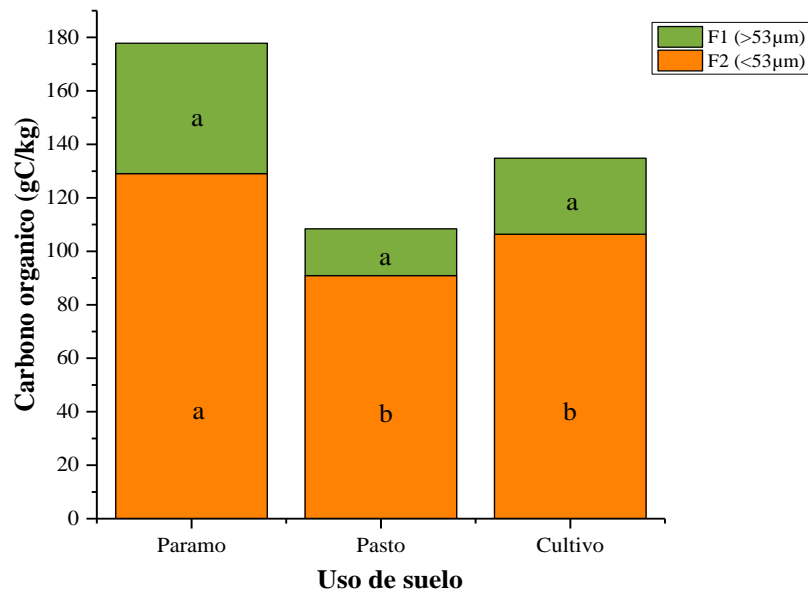


Figura 12. Carbono orgánico (gC/kg) asociado a las Fracciones activas y pasivas de los suelos bajo páramo, pasto y cultivo. Se aplicó el test de Tukey con un ($p < 0,05$), donde los valores que no comparten letra son significativamente diferentes.

Elaborado por: Autores

6. Valor económico del almacenamiento de carbono en los suelos de la microcuenca Sicalpa.

En las Tablas 4 y 5 se obtuvieron resultados del contenido de carbono de los diferentes usos de suelo los cuales presentaron valores altos de carbono en $\text{ton } \frac{\text{CO}_2}{\text{ha}}$ en el uso de suelo bajo páramo y cultivo, en la fracción pasiva. Respecto a la fracción activa se obtuvieron valores altos de contenido carbono en $\text{ton } \frac{\text{CO}_2}{\text{ha}}$ en el suelo bajo páramo, seguidamente de los suelos bajo cultivo y pasto.

El punto clave de la preservación del contenido de carbono en los suelos son las estrategias y planes para su conservación ya que contienen altos contenidos de estas, tomando en cuenta que al ser intervenidos los suelos hay una liberación de CO_2 , siendo un gas que contribuye al efecto invernadero. La conservación de estos suelos es de suma importancia dado su alto potencial para ser sumideros de carbono, que se ve demostrado con los resultados obtenidos en las tablas en $\text{ton } \frac{\text{CO}_2}{\text{ha}}$ en los suelos de la microcuenca Sicalpa.

Tabla 4. Valores de cada factor para el cálculo del contenido de carbono en el suelo Fracción Pasiva.

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Densidad aparente (g/cm ³)	0,76	0,89	0,79
Profundidad (cm)	30	30	30
Porcentaje de carbono orgánico- promedio (%C)	12,91	9,09	10,64
Factor de compensación*	100	100	100
Relación estequiométrica**	44/12	44/12	44/12
Contenido de carbono en el suelo (ton CO ₂ /ha)	1079	890	925

* El factor 100 es el resultante de las unidades de cm, m y ha ** La relación 44/132 proviene de la relación estequiométrica de pesos moleculares con la finalidad de conocer cuánto CO₂ puede originarse por la descomposición del carbono orgánico (1 unidad de C = 3,6 unidades de CO₂).

Elaborado por: Autores.

Tabla 5. Valores de cada factor para el cálculo del contenido de carbono en el suelo Fracción Activa.

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Densidad aparente (g/cm ³)	0,76	0,89	0,79
Profundidad (cm)	30	30	30
Porcentaje de carbono orgánico- promedio (%C)	4,88	1,75	2,84
Factor de compensación*	100	100	100
Relación estequiométrica**	44/12	44/12	44/12
Contenido de carbono en el suelo (Ton CO ₂ /ha)	408	171	247

* El factor 100 es el resultante de las unidades de cm, m y ha. ** La relación 44/12 proviene de la relación estequiométrica de pesos moleculares con la finalidad de conocer cuanto CO₂ puede originarse por la descomposición del carbono orgánico (1 unidad de C = 3,6 unidades de CO₂).

Elaborado por: Autores.

El valor económico más alto corresponde al área de suelo bajo páramo, si traducimos a términos económicos la capacidad que tienen los suelos de páramo naturales para contener carbono. La superficie total de páramo en estudio representaría 23 millones de dólares americanos, al capturar cantidades considerables de carbono de la fracción pasiva en sus

suelos y 8 millones en la fracción activa (Tabla 6 y Tabla 7). Evidenciando así que las áreas de páramo juegan un rol estratégico en cuanto al almacenamiento de carbono, las mismas que deberían estar tomadas en cuenta como áreas protegidas, puesto que brindan un servicio ecosistémico de captura de carbono.

Tabla 6. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción pasiva en diferentes usos del suelo.

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Contenido de carbono en el suelo (ton CO ₂ /ha)	1079	890	925
Fondo de carbono Precio por ton CO ₂ (dólares)*	5	5	5
Valor del carbono en el suelo	5396	4450	4623
Área (ha)	4365,72	2954,83	2966,26
Valor del Carbono en el suelo en función del escenario planteado (M USD)	23.559.084	13.147.679	13.713.257

* Precios del Banco mundial

Elaborado por: Autores.

Tabla 7. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción activa en el suelo de páramo, pasto y cultivo de Sicalpa

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Contenido de carbono en el suelo (ton CO ₂ /ha)	408	171	247
Fondo de carbono Precio por CO ₂ (dólares)*	5	5	5
Valor del carbono en el suelo	2040	857	1234
Área (ha)	4365,72	2954,84	2966,26
Valor del Carbono en el suelo en función del escenario planteado (M USD)	8.905.370	2.531.181	3.660.306

* Precios del Banco mundial

Elaborado por: Autores.

Tomando en cuenta el valor de 20 dólares que serían pagados por tonelada de carbono retenida, el valor económico más alto corresponde al área de suelo bajo páramo. La superficie total de páramo en estudio representaría 94 millones de dólares americanos, al capturar cantidades considerables de carbono de la fracción pasiva en sus suelos y 34 millones en la fracción activa (tabla 8 y tabla 9).

Tabla 8. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción pasiva en diferentes usos del suelo.

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Contenido de carbono en el suelo (ton CO ₂ /ha)	1079	890	925
Fondo de carbono Precio por ton CO ₂ (dólares)*	20	20	20
Valor del carbono en el suelo	21586	17798	18492
Área (ha)	4365,72	2954,83	2966,26
Valor del Carbono en el suelo en función del escenario planteado (M USD)	94.236.336	52.590.714	54.853.029

* Precios del Banco mundial

Elaborado por: Autores.

Tabla 9. Valor económico total del contenido de carbono en la fracción activa en el suelo de páramo, pasto y cultivo de Sicalpa

Factores considerados	Páramo	Pasto	Cultivo
Contenido de carbono en el suelo (ton CO ₂ /ha)	408	171	247
Fondo de carbono Precio por CO ₂ (dólares)*	20	20	20
Valor del carbono en el suelo	8159	3427	4936
Área (ha)	4365,72	2954,83	2966,26
Valor del Carbono en el suelo en función del escenario planteado (M USD)	35.621.481	10.124.725	14.641.222

* Precios del Banco mundial

Elaborado por: Autores.

Uno de los principales problemas mundiales es el cambio climático, siendo un contribuyente la liberación de CO₂ y al mantener protegido el páramo de Sicalpa, aseguramos que esta liberación no ocurra, preservando una cantidad considerable de carbono bajo suelo, obteniendo a la vez un costo monetario que ayuda a las comunidades cercanas al páramo. En Ecuador hay una deficiencia de estudios sobre el servicio de almacenamiento de carbono en suelos bajo páramo, es decir que no se cuenta con información amplia sobre la variación que ha sufrido este ecosistema en los últimos años (Espinosa, 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El remplazo de la vegetación natural de páramo por cultivo y pasto ha generado la disminución de la cantidad carbono, el aumento de la densidad aparente es decir cambios tanto físicos como químicos, notorios a lo largo de los últimos años que dan también como resultado la degradación de los suelos.
- Los tamaños de partícula no mostraron diferencias significativas en ninguno de los métodos lo que confirma que los suelos provienen del mismo material parental y pertenecen a el orden Andosol.
- En el primer método de fraccionamiento, la mayor concentración de C se registró en el uso de suelo bajo páramo bajo la forma de carbono orgánico particulado grueso con una concentración (153,94 gC/kg), mientras que la concentración menor fue menor en el uso de suelo bajo cultivo con una concentración de (80,17 gC/kg).
- En el segundo método de fraccionamiento, el contenido de carbono orgánico correspondiente a la fracción del carbono orgánico particulado grueso presento una concentración (48,78 gC/kg) en suelos bajo páramo, el cambio de uso ocasiono una disminución en la concentración de C a (17.48 gC/kg) en el uso de suelo bajo pasto y este valor no presento diferencias significativas con los suelos bajo cultivo.
- De acuerdo con los escenarios planteados en este estudio, los suelos intervenidos del páramo poseen un 3 % menos en el contenido de carbono en la fracción pasiva, en comparación con el carbono en suelos naturales. Si traducimos esta capacidad a términos monetarios usando un precio de 4 \$, y los contrastamos entre sí, el monto económico del páramo intervenido pierde un 6 % (9.8 millones de USD) del valor con respecto al monto proporcionado por el páramo natural.
- Por consiguiente, al conservar el suelo del páramo, se disminuye la cantidad de CO₂ liberada a la atmósfera, evidenciando el servicio ecosistémico de captura de carbono, que se incluye como una opción de mitigación de los efectos del cambio climático. El contenido de carbono por hectárea en suelos de páramo es mayor que el que contiene la vegetación de una selva tropical, lo que lo convierte en uno de los mayores reservorios de carbono.

RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta la gran importancia del almacenamiento y captura del carbono se deben realizar estudios más amplios de este tema debido a que no se cuenta con información actualizada de los cambios que se han dado a lo largo de los últimos años sabiendo que las fronteras agrícolas han ido en aumento.
- Realizar una validación de campo para determinar el grado de afectación en los diferentes ecosistemas y los cambios de uso de suelo que se han dado.
- Se recomienda evaluar, monitorear y proteger el ecosistema páramo de los impactos potenciales de las actividades antropogénicas, debido a que este es el más frágil.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C., & Rimski, H. (2016). Evaluación de la capacidad productiva de los suelos. *Manejo de La Fertilidad Del Suelo En Planteos Orgánicos*, 45–58. https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf%0Ahttps://www.agro.uba.ar/sites/default/files/libro_fertilidad_de_suelo_s-pvo_isbn.pdf
- Arrias, J. C., Alvarado, D., & Calderón, M. (2019). *MORFOLOGÍA DEL SUELO*. 5–10.
- Banegas, N. (2014). Calidad y salud del suelo. *Universidad Nacional Del Tucuman*, 1(1), 1–6. www.edafologia.com.ar
- Borrelli, P., & Olivia, G. (2013). Ganadería Sustentable en la Patagonia Austral. *Ganadería Sustentable En La Patagonia Austral*, 99–128.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. The soil organic carbon and its role on climate change. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 1–15.
- Camacho, M. (2013). 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>
- Cantú, I., & Yañez, M. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 122–151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33–45. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.86>
- Castañeda, A., & Montes, C. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210–221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Cayambe, M. (2012). Plan de desarrollo turístico comunitario para la parroquia Sicalpa, provincia de Chimborazo. *Repositorio Institucional de La Universidad Politécnica Salesiana*, 1–246.
- Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7(7), 1–10.
- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71–83.
- 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* (Vol. 11, Issue 2, pp. 3–9). <file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/1358-5465-1-PB.pdf>
- Cueva, Y., & Viteri, L. (2021). La materia orgánica particulada como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por los cambios de uso y la geología. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo Universidad Nacional de

Chimborazo.

- de Souza, G. P., de Figueiredo, C. C., & de Sousa, D. M. G. (2016). Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems. *Scientia Agricola*, 73(6), 535–542. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0047>
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., & Acevedo, O. (2012). *Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos*. 3, 141–155.
- Duval, M. (2015). CONTENIDO, CALIDAD Y DINÁMICA DE LAS FRACCIONES ORGÁNICAS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS BAJO DIFERENTES MANEJOS EN SIEMBRA DIRECTA. In *Ekp* (Vol. 13, Issue 3).
- Espinosa, F. R. (2019). *ALMACENAMIENTO DE CARBONO COMO SERVICIO CARBON STORAGE AS ENVIRONMENTAL SERVICE IN THREE NATURAL RESERVES OF ECUADOR*. 1–14.
- FAO. (2017). *Soil Carbon Dynamics an integrated Methodology*. 298.
- FertiLab. (2018). El Color del Suelo como Indicador de su Fertilidad. *FertiLab*, 1–3. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Color-del-Suelo-como-Indicador-de-su-Fertilidad.php>
- Galantini, J.A.; Iglesias, J.O.; Maneiro, C.; Santiago, L.; Kleine, C. (2006). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35, 15–30.
- Galicia, L., Gamboa, A., Cram, S., Vergara, B., Ramírez, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Stocks and dynamics of soil organic carbon in temperate forests of Mexico. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1–29.
- Galicia, L., María, A., Cáceres, G., Cram, S., Vergara, B. C., Ramírez, V. P., & Saynes, V. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana (1998)*, 34(1), 1–29.
- González, C. (2015). Guía Educativa Sobre la salud del Suelo. *Servicio de Extensión Agrícola*.
- Huamán, M. L., Espinoza, F., Barrial, A. I., & Ponce, Y. (2021). Influence of altitude and soil characteristics on organic carbon storage capacity of high Andean natural pastures. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 83–90. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.010>
- Isaza, G., Pérez, M., Laines, J., & Castañón, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia*, 25(3), 233–243.
- Kolmans, D. (2020). *Manual de agricultura ecológica* (pp. 12–13).
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. In *Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2018.03.es>
- Lázaro, A., & Tur, C. (2018). Los cambios de uso del suelo como responsables del declive de polinizadores. *Ecosistemas*, 27(2), 23–33. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1378>
- Lefèvre, C., Rekik, F., V, A., & Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo*.

www.fao.org/publications

- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador. In *ABYA-YALA*. López, M., & Estrada, H. (2015). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. 3–11.
- Maldonado, A. (2016). *EVALUACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO (NaPO₃)₆, EN LA DETERMINACIÓN DE TRES TIPOS TEXTURALES DE SUELO, MEDIANTE EL METODO DE BOUYOUCOS*.
- Marín, R. (2017). *Diagnóstico de la Densidad aparente en relación con otras propiedades físicas del suelo en tres sistemas productivos y bosque nativo, en terrazas altas del piedemonte llanero*. 11.
- Márquez, C., García, V., Schultz, R., & Isenhardt, T. (2017). Assessment of Soil Aggradation through Soil Aggregation and Particulate Organic Matter by Riparian Switchgrass Buffers. In *Agronomy* (Vol. 7, Issue 4, p. 76). <https://doi.org/10.3390/agronomy7040076>
- Márquez, C., García, V., Schultz, R., & Isenhardt, T. (2019). A conceptual framework to study soil aggregate dynamics. *European Journal of Soil Science*, 70(3), 466–479. <https://doi.org/10.1111/ejss.12775>
- Ministerio del Ambiente. (2018). Sinergias entre degradación de la Tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador. *Ministerio Del Ambiente Del Ecuador*, 88, 5–88. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., & Moreira, V. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187.
- Núñez, E., De la Cruz, H., & Proaño, R. (2018). Buenas prácticas para la recuperación de pastizales de altura. *Consortio Para El Desarrollo Sostenible de La Ecorregion Andina CONDESAN*, 50.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1–4. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Paz, F., Covalada, S., Hidalgo, C., Etchevers, J., & Matus, F. (2016). Modelación simple y operativa de la distribución del carbono orgánico por fracciones físicas en los suelos. *Terra Latinoamericana*, 321–337.
- Paz, F., Covalada, S., Hidalgo, C., Matus, F., Báez, A., & Velázquez, A. S. (2022). *primarias del suelo Patterns of the distribution of organic carbon by fractions of primary soil particles*. 1–13.
- Pellegrini, A. (2019). Textura y color del suelo. *Suelos*, 1(1), 1–21. http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/33036/mod_resource/content/1/TEMA 5 - POROSIDAD Y AIREACIÓN.pdf
- Pinos, D., Morales, O., & Durán, 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>
- Poch, R. (2022). EL COLOR EN EL SUELO. *Sociedad Española de La Ciencia Del Suelo*,

1.
http://200.69.103.48/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap5.pdf
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Cenicafé, Tabla 1*, 1–12.
- Salazar, J. C. M., Flores, J. C. M., & Del Socorro Bravo Realpe, I. (2013). Fraccionamiento y cuantificación de la materia orgánica en andisoles bajo diferentes sistemas de producción. *Acta Agronomica*, 62(4), 333–343.
- Sanchez, G. (2019). Pastos: importancia y diversidad. *U.M.S.N.H.*, 43(March), 34–36. https://www.researchgate.net/publication/331556558_Pastos_importancia_y_diversidad
- Silva, J., Martínez, R. C., Serrano, C. M., & Lescano, G. C. (2021). Allophane, a natural nanoparticle present in andisoles of Ecuador, properties and applications. *Granja*, 33(1), 53–66. <https://doi.org/10.17163/LGR.N33.2021.05>
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de honduras* (M. Villeda (ed.)). <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0188461117300481?token=DFAF8CF6F2F3BB297F616A6180FA404057812F1AD922AD584AB56EC26FFBBF9C06002BA981A288F411E5CF1EF749CF62>
- Torres, D. V. S. (2016). DINÁMICA DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES CAFETEROS EN TIBACUY, CUNDINAMARCA. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69).
- World Bank Group. (2017). Annual Report. *The World Bank*, 80.
- Yangora, J. (2014). “COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURA DE LA FLORA PARAMUNA, EN LA GRADIENTE ALTITUDINAL VOLCÁN SUMACO” DEL Autor.

ANEXOS



Fotografía 1 Recolección de la muestra



Fotografía 2 Recolección de la muestra



Fotografía 3 Recolección de muestra para Dap



Fotografía 4 Test de NaF en campo



Fotografía 5 Secado de las muestras



Fotografía 6 Registro de peso para determinar el Dap.



Fotografía 7 Registro de peso para C



Fotografía 8 Tamizado de muestras



Fotografía 9 Medición de Ph



Fotografía 10 Agitación de muestras



Fotografía 11 Test de NaF en laboratorio



Fotografía 12 Lost ignition