



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**

**Evaluación de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja**

Trabajo de Titulación previo a la obtención  
del título Ingeniero en Manejo y  
Conservación del Medio Ambiente

**AUTOR:**

Jhonny Alexander Cabrera González

**DIRECTOR:**

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg.Sc

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 06 de diciembre de 2022

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de la autoría del estudiante **Jhonny Alexander Cabrera González**, con cédula de ciudadanía Nro. **1105352338**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**ERASMO VINICIO  
ALVARADO JARAMILLO**

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Jhonny Alexander Cabrera González**, declaro ser autor del trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105352338

**Fecha:** 21 de abril de 2023

**Correo electrónico:** [jhonny.cabrera@unl.edu.ec](mailto:jhonny.cabrera@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0996972332

**Carta de autorización por parte de autor/a, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Jhonny Alexander Cabrera González**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja**”, como requisito para optar el Título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiún días del mes de abril del dos mil veintitrés.

**Firma:** 

**Autor:** Jhonny Alexander Cabrera González

**Cédula de identidad:** 1105352338

**Dirección:** Urdaneta, Saraguro, Loja, Ecuador

**Correo electrónico:** jhonny.cabrera@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0996972332

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A mis padres, Rosa y Julio por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por la incesante lucha diaria para ayudarme y apoyarme incondicionalmente.

A mi abuelita Imelda por ser la luz guía en mi camino, por las enseñanzas y motivación a cumplir mis objetivos, por todo el amor y cariño brindado.

A mis hermanos: Thalia, Ítalo y Paola, por su apoyo y motivación para afrontar los momentos buenos y malos de la vida, por confiar siempre en mí.

A toda mi familia: primos, tíos y amigos que confiaron en mí, por apoyarme en cada etapa de mi vida y ayudarme a alcanzar uno de los objetivos trazados.

*Jhonny Alexander Cabrera González*

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por guiar mi camino, a mis padres, a mis hermanos, a mis abuelos, a mis amigos y a mis demás familiares, por su apoyo incondicional, todos representan una fuente de inspiración, bondad, cariño y fortaleza.

Así mismo, extender mi gratitud al personal de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, en especial a mi director de trabajo de titulación Ing. Vinicio Alvarado, por su apoyo, enseñanza y gentil atención durante el proceso y desarrollo de este estudio.

Al laboratorio de suelos, aguas y bromatología de la Universidad Nacional de Loja por proporcionarme los materiales y equipos para el levantamiento de información en campo y análisis de las muestras en laboratorio.

De igual manera agradecer el apoyo de Julio, Ítalo y Juan en la fase de campo, y así concluir de forma exitosa este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a mis amigos por los momentos compartidos durante todas las etapas de preparación profesional, por su valiosa amistad y apoyo incondicional, siempre supimos superar momentos complicados.

***Jhonny Alexander Cabrera González***

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras .....	x
Índice de Anexos .....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Cambio climático.....	7
4.1.1. Evidencias del cambio climático .....	7
4.2. Carbono .....	7
4.2.1. Ciclo del carbono.....	8
4.2.2. Factores que intervienen en el contenido de carbono en el suelo.....	8
4.2.3. Secuestro de carbono .....	9
4.2.4. El carbono y los suelos del páramo .....	9
4.3. El ecosistema de páramo .....	9
4.3.1. El ecosistema páramo como mitigador del cambio climático .....	10
4.3.2. Tipos de páramos en Ecuador.....	10
4.3.3. Tipos de ecosistemas de páramos en la provincia de Loja .....	11
4.4. Impacto de las actividades humanas en el páramo.....	11
4.4.1. Impacto de la ganadería.....	12
4.4.2. Impacto de cultivos.....	12
<b>5. Metodología</b> .....	<b>13</b>

5.1. Área de estudio.....	13
5.2. Metodología para el primer objetivo: Determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo; pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del páramo del sector Carboncillo.....	14
5.2.1. Muestras de suelo .....	14
5.2.2. Fase de laboratorio .....	15
5.3. Metodología para el segundo objetivo: Establecer comparaciones del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los tres tipos usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.....	17
5.4. Análisis estadístico.....	18
<b>6. Resultados.....</b>	<b>19</b>
6.1. Resultados para el objetivo 1: Determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo; pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del páramo del sector Carboncillo. ....	19
6.1.1. Calicatas .....	19
6.1.2. Densidad aparente .....	22
6.1.3. Porcentaje de Carbono orgánico.....	22
6.1.4. Contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) por hectárea.....	23
6.2. Resultados para el objetivo 2: Establecer comparaciones del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los tres tipos usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	24
6.2.1. Normalidad.....	24
6.2.2. ANOVA.....	25
<b>7. Discusión.....</b>	<b>29</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>32</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>33</b>
<b>10. Referencias.....</b>	<b>34</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>43</b>



## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Ecuaciones para obtener el contenido de materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico de las muestras del suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Ecuaciones para obtener la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico del suelo por hectárea. ....	17
<b>Tabla 3.</b> Descripción de los horizontes edafológicos del uso de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	20
<b>Tabla 4.</b> Densidad aparente de los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	22
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de carbono orgánico en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	23
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de materia orgánica en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	23
<b>Tabla 7.</b> Contenido de carbono orgánico en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Prueba de la normalidad del contenido de carbono orgánico en el suelo, en el sector Carboncillo. ....	25
<b>Tabla 9.</b> Test Tukey de las medias de usos de suelo del sector Carboncillo. ....	26
<b>Tabla 10.</b> Coeficiente de variación de COS los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	27

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio. ....	13
<b>Figura 2.</b> Calicatas de los usos de suelo en el páramo del sector Carboncillo. ....	15
<b>Figura 3.</b> Calicata de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo y sus horizontes edafológicos. ....	19

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Determinación de los usos de suelo en la zona de estudio: Cobertura natural, pastizal y cultivo de papa.....	43
<b>Anexo 2.</b> Delimitación de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. ....	43
<b>Anexo 3.</b> Interpretación de las propiedades del suelo encontradas en las calicatas, con base a la tabla de Munsell. ....	44
<b>Anexo 4.</b> Muestreo superficial en los usos de suelo (capa orgánica del suelo). ....	45
<b>Anexo 5.</b> Recolección de muestras de suelos no disturbadas, el método del cilindro de volumen conocido. ....	45
<b>Anexo 6.</b> Proceso de secado y tamizado de las muestras de suelo en laboratorio. ....	46
<b>Anexo 7.</b> Pesaje de las muestras de suelo, para el análisis de las propiedades químicas.....	46
<b>Anexo 8.</b> Cálculo de la materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico de las muestras de suelo disturbadas, método de Walkley y Black (1947). ....	47
<b>Anexo 9.</b> Cálculo de la densidad aparente de las muestras de suelo no disturbadas en laboratorio.....	47
<b>Anexo 10.</b> Base de datos de la densidad aparente de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio. ....	48
<b>Anexo 11.</b> Base de datos del porcentaje de carbono orgánico y materia orgánico de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio.....	48
<b>Anexo 12.</b> Base de datos del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio.....	49
<b>Anexo 13.</b> Certificación de traducción del Abstract. ....	50

## **1. Título**

Evaluación de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja.

## 2. Resumen

El páramo del sector Carboncillo perteneciente al cantón Saraguro, se destaca por cumplir con funciones ambientales importantes como el almacenamiento de carbono, sin embargo, el cambio de uso de suelo de la cobertura natural del páramo por cultivos anuales y pastizales ha desencadenado en afectaciones sobre este servicio ecosistémico. El estudio se realizó con la finalidad de evaluar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en tres usos de suelo: pastizales, cultivo de papa y cobertura natural. En cada uso de suelo, se delimitó una superficie de 1 hectárea, donde se tomó 6 muestras no disturbadas y 3 muestras compuestas disturbadas a una profundidad de 30 cm, en las muestras no disturbadas se determinó la densidad aparente, y en las muestras disturbadas la materia orgánica y el carbono orgánico. Para el análisis estadístico de los datos de contenido de COS se utilizó el software SPSS e InfoStat. De acuerdo a los resultados, el contenido de COS del páramo del sector Carboncillo fue de 461,75 tC ha<sup>-1</sup>, distribuidos en 164,06 tC ha<sup>-1</sup> para la cobertura natural, 154,67 tC ha<sup>-1</sup> para cultivo de papa y 143,02 tC ha<sup>-1</sup> para pastizal, asimismo, el uso cultivo de papa presentó el valor mínimo de densidad aparente, al contrario, el uso de suelo de pastizal alcanzó el valor máximo. Sin embargo, la relación entre porcentaje de carbono y materia orgánica presentó un menor valor en el uso de suelo por pastizales. Referente a las comparaciones de contenido de COS entre los usos de suelo, se evidenció que no existen diferencias estadísticamente significativas, no se descarta la influencia de factores ambientales y climáticos (rango altitudinal, pendiente, precipitación, temperatura). La cobertura natural presentó un mayor contenido de COS, frente a los usos de suelo antrópico. Asimismo, las propiedades físicas (densidad aparente) y químicas (carbono orgánico, materia orgánica) del suelo, influyeron directamente en el contenido de COS en el ecosistema páramo.

**Palabras clave:** carbono orgánico; uso de suelo; páramo; propiedades físicas y químicas.

## 2.1. Abstract

The moor of Carboncillo sector belonging to Saraguro canton, is highlight for fulfilling important environmental functions, such as carbon storage, however, the change in land use of the natural cover of moor for annual crops and pastures has triggered affectations on this ecosystem service. The study was carried out with the purpose of evaluating the organic carbon content of the soil (COS) in three land uses: pastures, potato cultivation and natural cover. In each land use, a surface of 1 hectare was delimited, where 6 undisturbed samples and 3 disturbed composite samples were taken at a depth of 30 cm, in the undisturbed samples the apparent density was determined, and in the disturbed samples the organic matter and organic carbon. For the statistical analysis of COS content data, the SPSS and InfoStat software were used. According to the results, the COS content of moor of Carboncillo sector was 461,75 tC ha<sup>-1</sup>, distributed in 164.06 tC ha<sup>-1</sup> for the natural cover, 154.67 tC ha<sup>-1</sup> for potato cultivation and 143.02 tC ha<sup>-1</sup> for pastures. Likewise, the use of potato cultivation presented the minimum value of apparent density, on the contrary, the use of pasture land reached the maximum value. However, the relationship between the percentage of carbon and organic matter presented a lower value in land use for pastures. Concerning the comparisons of COS content between land uses, it was evidenced that there are no statistically significant differences, the influence of environmental and climatic factors (altitudinal range, slope, precipitation, temperature) is not ruled out. The natural cover presented a higher COS content, compared to the anthropic land uses. In addition, the physical property (bulk density) and chemical property (organic carbon, organic matter) of the soil, they influenced directly in the COS content, in moor ecosystem.

**Keywords:** organic carbon; land use; moor; physical and chemical properties.

### 3. Introducción

El incremento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, tal como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se ha convertido en el principal motor del cambio climático, problema global que responde a la intensificación de las actividades humanas (IPCC, 2003; Rojas et al., 2018). Para reducir el impacto del cambio climático a nivel mundial, es necesario la conservación de los ecosistemas terrestres que actúan como sumideros de carbono, frente a esto; se destaca la capacidad y propiedades del suelo del ecosistema páramo para almacenar el carbono (Echeverría et al., 2018; Forkuor et al., 2017). En este sentido, los páramos son considerados como los principales sumideros de carbono del planeta, destacando entre los demás ecosistemas terrestres, no obstante, aún existen problemas frente al uso del suelo y aprovechamiento de sus recursos (Avellaneda et al., 2018; Castañeda & Montes, 2017). Además, el valor ambiental del ecosistema páramo cumple un papel fundamental en la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, su conservación es una prioridad a nivel global (Fernández et al., 2019; Gutiérrez et al., 2020; Segura et al., 2019).

A nivel mundial el ecosistema páramo cubre 7,5 millones de hectáreas y se encuentran en un rango de altitud que varía desde los 3 000 hasta los 4 700 m s.n.m (Hofstede et al., 2014; Horn & Kappelle, 2009), este ecosistema cumple con funciones esenciales para el planeta, principalmente la mitigación del cambio climático, a través de la captura de carbono en el suelo (Echeverría et al., 2018). Se conoce que el suelo de los páramos son un importante sumidero de carbono a nivel global; llegando a almacenar hasta 143 toneladas de carbono por hectárea (C/ha) (García et al., 2019; Thompson et al., 2021). Sin embargo, la intensificación de actividades antrópicas como el cambio de uso de suelo para la ampliación de las zonas de cultivos y ganadería, representan tasas de pérdida de carbono de un aproximado de  $1,6 \pm 0,8$  Pg C anuales (Vásquez & Macías, 2017). Todos estos procesos significan una amenaza para el equilibrio de los factores ambientales y los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono, regulación hídrica y conservación de la biodiversidad que proporcionan los páramos (Farley et al., 2011; Pesántez et al., 2018).

En Ecuador el ecosistema páramo representan un 7% ( $18434.77 \text{ km}^2$ ) de todo el territorio nacional, presenta características biofísicas y socioeconómicas ambientalmente importantes (Quichimbo et al., 2015). Este ecosistema se encuentra generalmente por encima

de los 3 500 m s.n.m al Norte del país (Carchi), característica que se extienden hasta el centro de la Sierra (Cañar) por el rango altitudinal regular de la Cordillera de los Andes, en el caso de las provincias del Sur del país (Azuay, Loja) se encuentran a partir de los 2 800 m s.n.m (Hofstede et al., 2014; Josse et al., 2000). Los páramos en Ecuador sufren grandes presiones debido al cambio de uso de suelo, a causa de la sustitución de la cobertura natural por pastizales y cultivos, deteriorando la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico y alteración en las funciones como mitigador de emisiones de GEI: (CO<sub>2</sub>) (Segura et al., 2019; Yuste et al., 2017).

Los páramos de la Región Sur del Ecuador se caracterizan por tener una mayor diversidad y endemismo en relación a los páramos del resto del país, permitiéndoles brindar importantes servicios ecosistémicos, principalmente el almacenamiento de carbono, no obstante, han sufrido alteraciones en sus funciones ecológicas debido a las actividades de cambio de uso de suelo (Aguirre et al., 2015). Asimismo, en el cantón Saraguro el ecosistema páramo resalta su importancia hídrica, paisajística y ecológica (almacenamiento de carbono), sin embargo, durante los últimos 28 años se han perdido 3.295,49 ha de páramo, el cual ha sido reemplazado por pastizales, plantaciones forestales, cultivos anuales y mosaicos agropecuarios, amenazas que son latentes en el páramo del sector Carboncillo (GAD Municipal Intercultural de Saraguro, 2020).

Por lo cual, el presente estudio está enfocado en evaluar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), la influencia de factores ambientales directos e indirectos externos a la zona de estudio, para posteriormente establecer comparaciones entre las variables: carbono orgánico y los tipos de uso de suelo: pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del ecosistema páramo del sector Carboncillo, mismo que se encuentra dentro de la línea de investigación de Manejo de la contaminación ambiental de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Para esto se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Evaluar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), bajo diferentes usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja.



**Objetivos específicos:**

- Determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo; pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del páramo del sector Carboncillo.
- Establecer comparaciones del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los tres tipos usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Cambio climático**

El cambio climático se define según la CMNUCC (1992), como las variaciones del clima por influencia de las actividades antropogénicas, mismas que altera la composición de la atmósfera mundial, a esto se suman los eventos naturales del clima observado durante períodos de tiempo comparables. De forma general el cambio climático hace referencia a las variaciones que el clima puede experimentar a causa de procesos o eventos naturales y el desarrollo de actividades humanas (Moreno & Urbina, 2008). En contexto, se puede entender que la variación del clima a nivel global está influenciado con el avance y desarrollo de las actividades humanas (Mendizábal, 2015).

#### **4.1.1. Evidencias del cambio climático**

El cambio climático está caracterizado por el calentamiento de la Tierra, este proceso abarca medios terrestres y oceánicos, y avanza de manera progresiva desde hace varias décadas (León et al., 2017). Las mediciones de la temperatura promedio del mundo, demuestran variaciones en medios y sistemas donde los cambios físicos y biológicos son notorios, a través de eventos climáticos extremos como inundaciones, olas de calor, sequías y olas de frío (Jaramillo, 2004). Además, se evidencian efectos nocivos en el medio ambiente en referencia a su composición, la capacidad de resiliencia de ecosistemas naturales, la salud y el bienestar de la humanidad (CMNUCC, 1992).

Por tanto, se considera al cambio climático un problema a nivel mundial, definiéndose como el cambio de clima debido a factores naturales y antropogénicos (Díaz, 2012). Siendo así que, el incremento de gases de efecto invernadero, deforestación y actividades agrícolas son las causas principales para el aumento del cambio climático (Hofstede et al., 2014), en consecuencia, se producen modificaciones en el funcionamiento de la biosfera y ecosistemas, alterando los ciclos biogeoquímicos (González & Meira, 2020).

### **4.2. Carbono**

El carbono es uno de elementos químicos clave en los compuestos de naturaleza orgánica, está distribuido en diferentes medios del planeta; los océanos, el suelo y la atmósfera, representan los sumideros y reservas planetarias más importantes de carbono (Pontevedra et al.,

2004). Los procesos químicos, físicos y biológicos son fundamentales para que se establezcan relaciones entre las reservas o depósitos de carbono, y de tal manera se pueda establecer a la fotosíntesis, respiración y la emisión de gases como un intercambio de carbono terrestre y atmósfera (Burbano, 2018). El desarrollo de investigaciones demuestra como la disponibilidad de carbono no es infinita en el planeta, y a la vez se explica como el carbono circula desde el nivel molecular, orgánico y global, y a diferentes escalas del espacio temporal (Jaramillo, 2004).

#### **4.2.1. *Ciclo del carbono***

El ciclo del carbono abarca el flujo de carbono con los procesos físicos, químicos y biológicos, que están contenidos entre las reservas del planeta Tierra (atmósfera, hidrosfera, biosfera, rizosfera y la litósfera) (Martín, 2010). La fijación de carbono orgánico atmosférico a través de la fotosíntesis y microorganismos forma carbohidratos que sirven como fuente de energía para las plantas, y así mismo se libera  $CO_2$  por medio de las hojas o raíces, en el caso de los animales se da en procesos metabólicos. Además, la descomposición de plantas y animales devuelve el  $CO_2$  a la atmósfera (Orellana et al., 2012). En el suelo ocurre la respiración, donde se destaca la tasa de producción de  $CO_2$  como indicador de la tasa de descomposición de Materia Orgánica del Suelo (MOS), el análisis de estos parámetros permite conocer la contribución del suelo al balance de  $CO_2$  en la atmósfera (Lessard et al., 2006).

#### **4.2.2. *Factores que intervienen en el contenido de carbono en el suelo***

Los factores que influyen en el contenido de carbono orgánico en el suelo están contenidos por el clima, el tipo de residuo, la estructura, la textura, mineralogía y uso del suelo (Houghton et al., 1999). En base a diferentes estudios, los factores que tienen más influencia en el contenido de carbono en el suelo son el clima y el uso del suelo, y de tal manera se indica una menor influencia e importancia de los demás factores en estudio (Hontoria et al., 2004).

El factor clima influye en el tipo de vegetación, la producción de biomasa y la actividad microbiana en el suelo, de tal manera se establece una relación directa con el contenido de materia orgánica (Montaño et al., 2016). En los climas fríos la materia orgánica tiende a acumularse debido a los procesos de humificación, en comparación con los climas áridos que se caracteriza por una escasa vegetación y mayor desarrollo de procesos de mineralización, dando como resultado un menor contenido de materia orgánica (Ibáñez, 2006).

El uso del suelo influye en el contenido de carbono orgánico a través de las prácticas de manejo, donde el cumplimiento de las mismas se convierte en un potencial de fijación de carbono, incluso más representativa que el cambio de uso de suelo (IPCC, 2000). Dentro de las prácticas que aumentan el contenido de carbono orgánico en el suelo se puede mencionar el no laboreo o laboreo mínimo, el uso de cubiertas sobre el terreno, el control de la erosión, la fertilización, los sistemas agroforestales y el control del sobrepastoreo (Hontoria et al., 2004).

#### **4.2.3. *Secuestro de carbono***

El suelo y la biomasa almacena gran parte del carbono que resulta del proceso transformación del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en la atmósfera, y esta es la manera en que se queda inmovilizado en relación a la circulación biogeoquímica (Lopez et al., 2013). La representatividad de los suelos y la biomasa como sumideros de carbono es una realidad, donde gran parte de investigadores concuerdan con este enfoque (Macías et al., 2018). El secuestro de carbono representa muchos beneficios ambientales, estos abarcan; una mejor calidad del suelo, aumento de la estabilidad de los agregados, resistencia a la erosión, incremento de la capacidad de retención de agua y nutrientes, aumento de la actividad biológica y la biodiversidad de los organismos del suelo (Michel, 2001).

#### **4.2.4. *El carbono y los suelos del páramo***

El suelo del páramo posee la capacidad de acumular grandes cantidades de carbono, esto debido a las bajas temperaturas que caracterizan su clima que disminuyen las tasas de descomposición de la materia orgánica que se almacena en este ecosistema. De esta manera el gran potencial de captura de carbono influye de manera directa en la mitigación de los efectos del cambio climático (Castañeda & Montes, 2017). El suelo del ecosistema páramo almacena un aproximado de 119 y 397 t/ha de carbono entre los 0 y 40 cm de profundidad, esto en condiciones de una vegetación natural. Además, esta representa los valores más elevados de almacenamiento de Carbono Orgánico en el suelo (COS), principalmente el tipo de cobertura vegetal que se caracteriza por el nivel de protección y conservación de la superficie del suelo (Castañeda & Montes, 2017; Zimmerman et al., 2010).

### **4.3. El ecosistema de páramo**

El ecosistema páramo es conocido como un ecosistema de alta montaña del trópico húmedo, donde la vegetación abierta predomina, también se conoce a un páramo como, un

bioma, un área geográfica, un paisaje, una zona de vida, sitio de producción e incluso un estado del clima (Hofstede et al., 2014). Los suelos de los páramos brindan funciones y servicios ecosistémicos importantes para alcanzar un desarrollo sostenible, estos se agrupan en las siguientes categorías: servicios de provisión (almacenamiento de carbono), servicios de regulación (regulación climática), servicios culturales y servicios de soporte (Zúñiga et al., 2018). El ecosistema páramo representa un hábitat de gran diversidad en flora y fauna con características únicas (Chaparro & Chaparro, 2012), además, recalcar la retención y almacenamiento de carbono orgánico atmosférico en el suelo (Cabrera & Ramírez, 2014).

#### ***4.3.1. El ecosistema páramo como mitigador del cambio climático***

La diversidad biológica y los servicios ecosistémicos es algo característico del ecosistema páramo (Ayala et al., 2014). Este ecosistema se destaca por la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo, donde sus características climáticas facilitan el proceso que se ve influenciado directamente por la reducción de las tasas de descomposición de materia orgánica, y puede alcanzar hasta  $60 \text{ kg/C/m}^2$ , característica que lo ubica a nivel mundial como uno de los suelos con mayor reserva de carbono (Sevink, 2009). La conservación del ecosistema páramo influye de manera directa en la reducción de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera (Hofstede, 1999).

#### ***4.3.2. Tipos de páramos en Ecuador***

En Ecuador el ecosistema páramo representa el 7% del territorio nacional, se distribuye a lo largo de las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes de la región Interandina, y tienen una altitud promedio 3300 m.s.n.m. (Carrillo et al., 2019; Hofstede et al., 2014), este ecosistema forma parte de un país megadiverso (Mena, 2010). El estado de conservación del páramo en el Ecuador es variado, pues este va desde bien conservado hasta muy degradado. Donde el desarrollo de actividades antrópicas con fines de beneficio económico ha generado impactos negativos que van desde; la quema del pajonal para obtener alimentos más apetecibles para el ganado; el avance de la frontera agrícola; la plantación de especies arbóreas exóticas como los pinos, el turismo mal planificado y la minería. Este impacto, aparte de los daños inmediatos y mediatos sobre la biodiversidad y el ambiente en términos amplios, se manifiesta en un descenso en la calidad de vida tanto de la gente que vive y realiza un uso directo e indirecto de los servicios ecosistémicos (Mena & Hofstede, 2006).

### **4.3.3. Tipos de ecosistemas de páramos en la provincia de Loja**

En la región sur del Ecuador se encuentran dos tipos de ecosistemas de páramo; herbáceo y arbustivo. Los páramos herbáceos se encuentran en una altitud promedio mínima de 2 800 m.s.n.m., y una máxima de 4 000 m.s.n.m., su vegetación natural está constituida por gramíneas como la paja (*Stipa ichua*) y almohadillas duras, mismas que son favorecidas por las altas precipitaciones y la humedad relativa (Cuesta et al., 2014; Hofstede et al., 2003). Mientras que los páramos arbustivos están sobre 3 100 m.s.n.m., en la cordillera oriental, donde las condiciones geográficas dificultan el acceso y dentro de áreas protegidas, estos difieren con los páramos de pajonal principalmente por mejores condiciones de accesibilidad y su ubicación geográfica se encuentran en la zona interandina (Hofstede et al., 2002). En esta zona se destaca los aportes de la Universidad Nacional de Loja a través de investigaciones que fomenta el conocimiento ecológico de los páramos herbáceos y arbustivos del sur del país (Hofstede et al., 2014), en ese sentido, algunas características respecto a los páramos herbáceos y arbustivos son las siguientes (Aguirre et al., 2016):

- Páramo herbáceo: Abundancia de especies graminoideas como la *Neurolepis* y *Chusquea microphylla*, mismas que se desarrollan en densos penachos. Presencia de arbustos pequeños en las hondonadas y lugares protegidos del viento. Considerados como los páramos más diversos del Ecuador, principalmente por una elevada humedad atmosférica que es originada por la presencia de neblina y lluvia horizontal nocturna.

- Páramo arbustivo: vegetación característica de las zonas altoandinas del sur del Ecuador. Presencia de especies de gramíneas, gesnerias, valerianas, gentianelas, geranios, mismas que se desarrollan en hondonadas y laderas suaves. En áreas de pendientes planas y favorecidas por el macroclima predomina la vegetación arbustiva leñosas.

### **4.4. Impacto de las actividades humanas en el páramo**

Las actividades antrópicas en el ecosistema páramo se manifiestan principalmente a través de cultivos y pastizales, estas además de generar impactos en la disminución de la cobertura natural, también afectan a los niveles de carbono orgánico almacenado en el suelo del páramo. En el caso de pastizales, el pastoreo afecta al suelo de manera, directa: la compactación del suelo por el pisoteo de los animales, e indirecta: a través de la desaparición de la capa vegetal que recubre el suelo (Hofstede, 1995; Post & Kwon, 2000). Existen otras actividades

económicas como: plantaciones forestales, minería y el manejo inadecuado del agua, que representan una amenaza para el equilibrio de los servicios ecosistémicos: captura de carbono, regulación hídrica y conservación de la biodiversidad de los páramos (Hofstede et al., 2014). Muchos de los impactos de las actividades humanas dependerán de los niveles de intervención, que en muchos de los casos han transformado al páramo en un mosaico de paisajes, por ejemplo, la influencia de la expansión de la frontera agrícola y las zonas de pastoreo (Dercon et al., 2007).

#### **4.4.1. Impacto de la ganadería**

El impacto de la ganadería sobre el ecosistema páramo es dependiente de varios componentes, el tipo de animal: las características de sus pezuñas (afiladas, suaves) o cascos que influyen en los procesos de erosión por la destrucción de capa vegetal, peso del animal: animales de mayor peso ocasionan la compactación del suelo por el pisoteo, este proceso también se relaciona con la pérdida de la capacidad de infiltración de agua y erosión hídrica por precipitaciones y si el pastoreo está combinado con quema o no: adaptación a la alimentación y tipo de digestión del animal, por esa razón es complicado hacer generalizaciones (Hofstede et al., 2014). Es importante realizar un análisis sobre la extensión de las zonas de pasto para la ganadería, pues estas presenta una menor capacidad de almacenamiento de COS esto en comparación con las características de la cobertura natural del ecosistema páramo (Dercon et al., 2007).

#### **4.4.2. Impacto de cultivos**

Los cultivos representan una actividad de gran impacto en páramo y requiere un manejo cuidadoso para ser sostenible, los principales impactos de los cultivos están relacionados con monocultivos de papa: destrucción de la vegetación natural para su expansión agrícola que en muchos de los casos se lo realiza con maquinaria pesada, la utilización de agroquímicos: uso excesivo y aplicación incorrecta que contaminan el suelo, siembra de pastos introducidos: destrucción y reemplazo de la vegetación natural hasta convertirlos en potreros, estos procesos afectan directamente sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (Hofstede et al., 2014). Así mismo se debe considerar que la supresión de la vegetación nativa por cultivos anuales disminuye el ingreso de materia orgánica al suelo y aumenta la tasa de descomposición de residuos vegetales. Por otro lado, la labranza propicia la desintegración y emisión de carbono guardado en el suelo (Castañeda & Montes, 2017).

## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada al Sur de Ecuador, en las parroquias El Tablón y San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja (Figura 1). En la parroquia El Tablón se definió dos puntos de estudio, zona de pastizales (703476.82E y 9610630.49S) y páramo (704930.49E y 9610035.40S), donde el ecosistema páramo posee una superficie de 36,86% (3572,13 ha) del territorio parroquial, un rango altitudinal de 2800 a 4000 m s.n.m., la temperatura climática varía entre 12,03°C y 14,48°C, y la precipitación media anual es de 521 mm a 1200 mm (GAD Parroquia El Tablón, 2019).

Por otra parte, en la parroquia San Antonio de Cumbe se definió un punto de estudio, cultivo de papa (701162.05E y 9608516.46S), donde el ecosistema páramo posee una superficie de 15,98% (1244,05 ha) del territorio parroquial, un rango altitudinal de 2600 a 3787 m s.n.m., la temperatura varía entre 12°C y 15°C, y la precipitación media anual es de 600 mm a 900 mm (GAD Parroquia San Antonio de Cumbe, 2023).

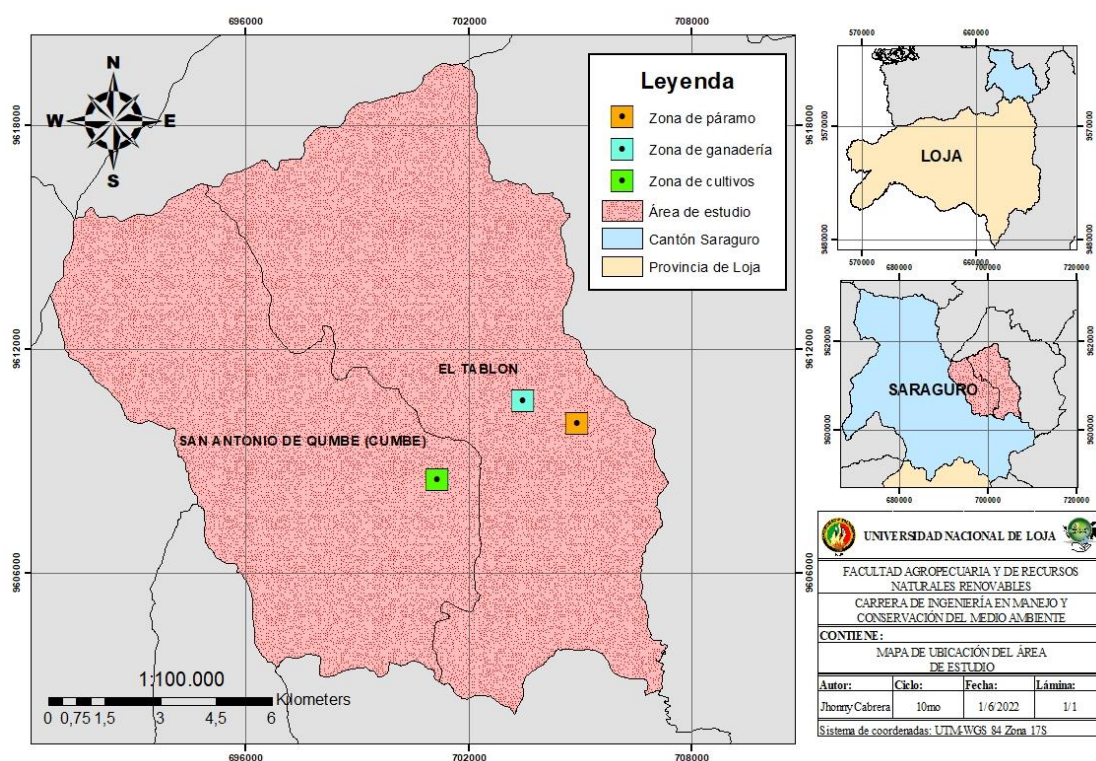


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



## **5.2. Metodología para el primer objetivo: Determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo; pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del páramo del sector Carboncillo.**

La investigación sobre la evaluación de carbono orgánico almacenado en el suelo del ecosistema páramo del sector Carboncillo, tuvo un enfoque cuantitativo, dado que, se basa en la medición numérica y análisis estadístico, transeccional, porque se recolectan los datos en un momento único, de tipo relacional, debido a que, se trata de establecer comparaciones entre las variables: Carbono Orgánico del Suelo (COS) (variable dependiente) con los tipos de uso de suelo; pastizales, cultivo de papa y cobertura natural (variable independiente), con un método deductivo. Además, es un estudio no experimental, puesto que no existe manipulación de variables (Hernández et al., 2014; Torres et al., 2021).

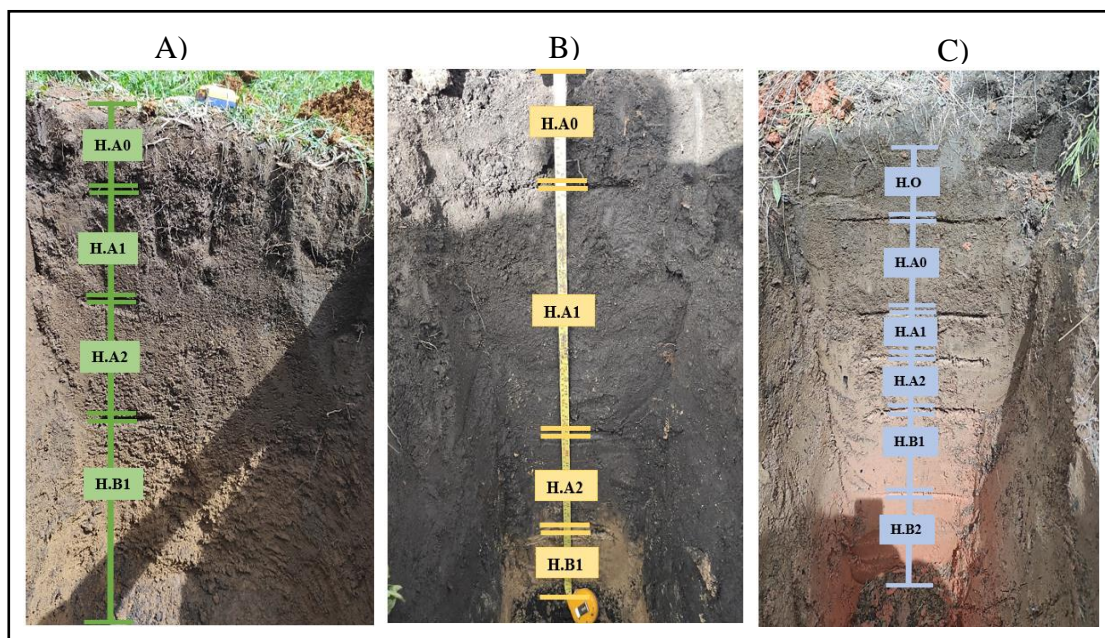
Para el estudio se delimitó tres tipos de usos de suelo: pastizales (1 hectárea), cultivo de papa (1 hectárea) y cobertura natural (1 hectárea), con un rango altitudinal de 2922, 2890 y 3000 m s.n.m, respectivamente (Anexo 1). Se empleó un diseño estratificado para la distribución de las unidades de muestreo, en donde los estratos fueron los 3 tipos de uso del suelo (Anexo 2).

De igual manera, para alcanzar la representatividad del estudio de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS), se realizó 3 repeticiones dentro de cada unidad de muestreo, con un total de 9 muestras compuestas disturbadas de suelo; a partir de 5 submuestras en cada punto de muestreo, y de tipo Zig-Zag. Además, para obtener la densidad aparente de cada unidad de muestreo, se realizó 6 repeticiones por cada uso de suelo, dando un total 18 muestras no disturbadas.

### **5.2.1. Muestras de suelo**

Se efectuó un muestreo empleando un diseño al azar Duval et al., (2014) con 3 tratamientos: pastizales, cultivo de papa y cobertura natural del páramo. Para cada tratamiento se realizó 3 repeticiones, con un total de 9 muestras de suelo, para el estudio se trabajó con muestras compuestas en cada punto de muestreo, considerando que las unidades experimentales deben establecerse en condiciones similares; relieve y topografía, y así evitar sesgos en los tratamientos (Carvajal & Andrade, 2021).

En las unidades experimentales seleccionadas, se realizaron calicatas de  $1m^3$  con el fin de identificar los horizontes y tiempo de formación del suelo de cada uso, según se especifica en la Figura 2. Además, se realizó la interpretación de las propiedades del suelo encontradas en las calicatas, con base a la tabla de Munsell se definió el tipo de coloración y estructura de los tres tipos de usos de suelo de cobertura natural, cultivo de papa y pastizal en campo (Anexo 3).



**Figura 2.** Calicatas de los usos de suelo en el páramo del sector Carboncillo.

Para la toma de muestras de suelo disturbadas se consideró el estudio realizado por Osinaga et al., (2014) en el ecosistema páramo de la Cordillera de los Andes de Colombia y Ecuador, en donde se plantean dos tipos de muestreo: superficial (hasta 30 cm de profundidad) y profundo (hasta 2 metros de profundidad), con base a ello, se realizó el muestreo a una profundidad de 0-30 cm (capa orgánica del suelo) (Anexo 4). Asimismo, de acuerdo a la IPCC, (2003) a esta profundidad del suelo (0-30 cm) se concentra un mayor contenido de carbono orgánico; conforme estas consideraciones, se desarrolló un estudio superficial de carbono orgánico del suelo. Además, para calcular la densidad aparente ( $d_a$ ) de las muestras de suelo se utilizó el método del cilindro de volumen conocido, para la profundidad previamente definida (Anexo 5).

### **5.2.2. Fase de laboratorio**

Las muestras de suelo recolectadas en la zona de estudio fueron trasladadas hasta el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja (UNL),

posteriormente se realizó el secado, tamizado (tamiz de 0.25mm) (Anexo 6), y pesaje de las muestras de suelo en la balanza analítica (0.1g) (Anexo 7). El contenido de materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo se determinó por el método de Walkley y Black (1947), según se muestra en el Anexo 8.

La utilización de este método para la investigación se fundamentó por su bajo costo de aplicación, evaluación aproximada rápida y por ser el método más recomendado en este tipo de estudios (Echeverría et al., 2018). Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo (combustión húmeda), a través de una solución de dicromato de potasio 1 N ( $K_2Cr_2O_7$ ) y el calor de reacción con ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ). El proceso requiere la adición de ácido ortofosfórico concentrado ( $H_3PO_4$ ), con el fin de evitar la influencia de iones férricos ( $Fe^{3+}$ ), así mismo, para tratar los excedentes de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) este será valorado con sulfato ferroso ( $H_2PO_4$ ). Además, se utilizó el factor de Van Bemmelen (1.72), para el cálculo del porcentaje de carbono orgánico.

Con base a esto, en la Tabla 1 se muestra las ecuaciones para el cálculo del contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico de las muestras de suelo.

**Tabla 1.** Ecuaciones para obtener el contenido de materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico de las muestras del suelo del páramo del sector Carboncillo.

Parámetro	Ecuación
Materia orgánica	$MO (\%) = \frac{(V_0 - V) * N * 0.39 * 1.72 * 1.1}{(PM)}$
Porcentaje de carbono orgánico	$\%C = \frac{(V_0 - V) * N * 0.39}{(PM)}$

$V_0$  = volumen gastado en la titulación del blanco;  $V$  = volumen gastado en la titulación de la muestra;  $N$  = normalidad exacta de sulfato de hierro; **0,39** = peso químico equivalente del carbono; **1,72** = constante de la conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58% de C en la generalidad de los suelos encontrados en Ecuador; **1,1** = error de conversión de C a MO (10 %); **PM** = peso de muestra de suelo.

**Fuente:** Elaboración propia, a partir del método de (Walkley & Black, 1947).

### Densidad aparente

Para calcular la densidad aparente ( $d_a$ ) de las muestras de suelo se utilizó el método del cilindro o anillo volumétrico (Principio analítico de la densidad aparente), a través del equipo de barrenación (Barreno tipo Uhland para la toma de muestra sin disturbar, juego de cilindros biselados), esto según lo sugerido del estudio de almacenamiento de COS realizado por Torres

et al., (2021). Inicialmente las muestras de suelo se pesaron en húmedo utilizando una balanza analítica, para posteriormente ser secadas en la estufa a 105°C por 24 horas (Anexo 9).

El principal motivo, por el cual, se utilizó este método es por su facilidad para la evaluación del estado de compactación de un suelo, del cual dependen un cierto número de propiedades físicas: circulación hídrica y la aireación. Además, la utilidad de este método en estudios similares se fundamenta en su eficiencia, para determinar la densidad aparente en muestras de suelo sin disturbar y de diferente procedencia, a partir de la diferencia entre los valores de las muestras pesadas (húmedo y seco).

En la Tabla 2, se presenta las ecuaciones para el cálculo de la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) por hectárea.

**Tabla 2.** Ecuaciones para obtener la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico del suelo por hectárea.

Parámetro	Ecuación
Densidad aparente	$Da \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{PCS - PCV}{VC}$
COS por hectárea	$COS = \%C * da * ps * 100$

**PCS** = Peso del cilindro con suelo seco (105°C); **PCV** = Peso del cilindro vacío; **VC** = Volumen del cilindro (100cc); **COS** = carbono orgánico en el suelo, en toneladas por hectárea (t. ha-1); **%C** = porcentaje de carbono en el suelo; **da** = densidad aparente; **ps** = profundidad del suelo en metros (m).

**Fuente:** Elaboración propia, a partir de (Torres et al., 2021).

### 5.3. Metodología para el segundo objetivo: Establecer comparaciones del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los tres tipos usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

Para establecer las comparaciones, se realizó la prueba de normalidad a través del método de Shapiro-Wilks, para establecer diferencias estadísticamente significativas entre la variable COS de los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo: pastizales, cultivo de papa y cobertura natural. Debido a que la variable COS es paramétrica, se efectuó un análisis ANOVA de una vía, la cual permite la comparación de las medias de más de dos poblaciones, en donde se definió como variable dependiente el COS y como factor de comparación (variable cualitativa) los tres usos de suelo (Rubio & Berlanga, 2012; Valenzuela & Visconti, 2018), empleando las siguientes hipótesis de contraste:

- $H_0$ : No hay diferencia entre las medias del COS de los tres usos (pastizales, cultivo de papa y cobertura natural):  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$
- $H_1$ : Al menos un par de medias del COS de los tres usos (pastizales, cultivo de papa y cobertura natural) es significativamente distintas la una de la otra:  $\mu_i \neq \mu_j$  al menos para un par  $(i, j)$

Por otra parte, se aceptó la hipótesis nula, por tanto se realizó la prueba de HSD Tukey al 5% de significancia, esta prueba permite hacer todas las posibles comparaciones entre los pares de medias, para este caso se realizaron un total de tres comparaciones (cobertura natural-pastizales, cobertura natural-cultivo de papa y pastizales-cultivo de papa) (Barrezueta, 2021). En base a los resultados de las comparaciones se dio paso a la interpretación de la variación de carbono orgánico en los tres usos de suelo.

#### **5.4. Análisis estadístico**

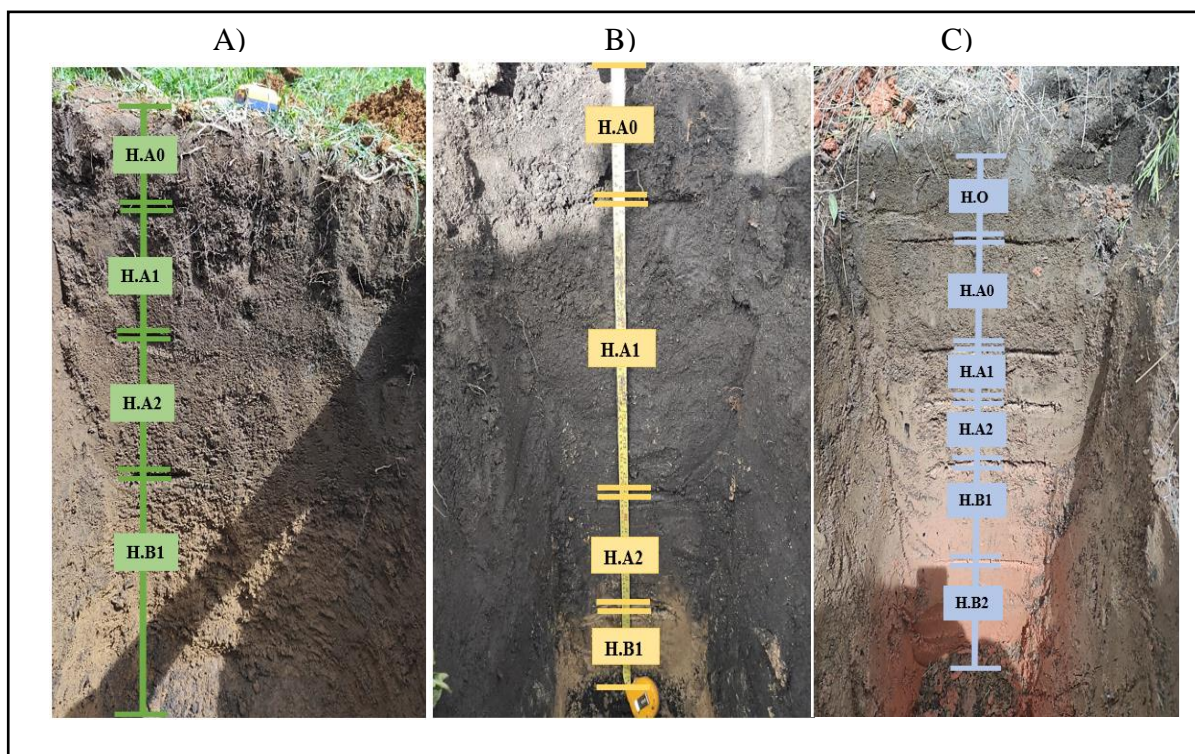
Para el análisis de datos se realizó la prueba de normalidad de Shapiro–Wilks; un análisis ANOVA de una vía para la variable paramétrica COS. Además, se aceptó la hipótesis nula y de tal manera se realizó la prueba de HSD Tukey al 5% de significancia (Barrezueta, 2021). Todos los análisis estadísticos se desarrollaron en los softwares InfoStat y SPSS versión 21 (Torres et al., 2021).

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el objetivo 1: Determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo; pastizal, cultivo de papa y cobertura natural del páramo del sector Carboncillo.

#### 6.1.1. Calicatas

En la Figura 3 se muestra el resultado de las calicatas ( $1m^3$ ) realizadas en cada uso de suelo. En los usos de suelo de pastizal (A) y cultivo de papa (B) se identificó la formación de los horizontes A (Subhorizontes: A0, A1, A2) y B (Subhorizontes: B1, B2). Para el caso de la cobertura vegetal (C) se identificaron tres horizontes edafológicos: O (Orgánico), A (Subhorizontes: A0, A1, A2) y B (Subhorizonte: B1, B2). Por otra parte, la formación del horizonte O (Orgánico) en el uso de cobertura natural responde principalmente a la presencia de raíces y material en proceso de descomposición (materia orgánica) en relación al tiempo, a comparación de los usos para pastizales y cultivo de papa, donde la formación de este horizonte es imposible por los procesos antrópicos de pastoreo de ganado y labranza del suelo, respectivamente.



**Figura 3.** Calicata de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo y sus horizontes edafológicos

Los tres usos de suelo muestran diferencias en la formación de los horizontes edafológicos. En el caso de las calicatas de los usos suelo destinados a pastizal y cultivo de papa, presenta un mejor grado de formación de horizontes y son suelos de color negro o tonos oscuros, lo que indica un alto contenido de materia orgánica, las características en mención indican que el grado de desarrollo genético de estos suelos es mayor y que en gran parte está relacionado con las actividades que se realizan en las mismas. En comparación al uso de suelo de la cobertura natural, en donde se encontró un menor grado de formación de sus horizontes, esto considerando que no se distinguió una intervención antrópica reciente o en los últimos años, además, la característica de un suelo constituido por colores claros o grises, representa un menor grado de desarrollo genético del suelo. Los datos de campo de las calicatas y las características de los horizontes edafológicos son descritos en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Descripción de los horizontes edafológicos del uso de suelo del páramo del sector Carboncillo.

<b>Uso de suelo de pastizal</b>	
<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
H.A0	Profundidad: 0-9 cm Nombre color húmedo: Dark reddish Brown Matiz: 2.5 YR (3/3) Características: Suelo con un alto contenido de materia orgánica (color negro), siempre es mineral, mayor actividad biológica y presenta una estructura migajosa y granular.
H.A1	Profundidad: 9-26 cm Color húmedo: Brown Matiz: 7.5 YR (4/3) Características: Presenta una menor concentración de materia orgánica, presenta un color más claro, y se puede encontrar minerales ya formados por eluviación.
H.A2	Profundidad: 26-50 cm Color húmedo: Dark yellowish Brown Matiz: 10 YR (4/6) Características: Pierde gran parte del material parental del suelo, es una capa de transición no diferenciada. Muy arenosos y de colores claros por efecto del lavado
H.B1	Profundidad: 50-100 cm Color húmedo: Yellowish Brown Matiz: 10 YR (5/8) Características: Horizonte de transición de naturaleza opuesta a un horizonte A, enriquecimiento mineral u óxidos de arcilla, constituye una zona de acumulación de coloides formados por arcillas silicatadas.
<b>Uso de suelo de cultivo de papa</b>	
<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
H.A0	Profundidad: 0-10 cm Nombre color húmedo: Dark bluish gray Matiz: 2 FOR GLEY (3/10B)

	Características: Un horizonte enriquecido por la acumulación de materia orgánica, donde se encuentran residuos orgánicos parcialmente descompuestos.
H.A1	Profundidad: 10-50 cm Color húmedo: Dark bluish gray Matiz: 2 FOR GLEY (4/5PB) Características: Reducción del % materia orgánica (transformada) que los horizontes situados debajo. Típicamente de color gris oscuro, más o menos negro, en suelos cultivados puede ser claro. Estructura migajosa y granular.
H.A2	Profundidad: 50-74 cm Color húmedo: Very dusky red Matiz: 10 YR (2.5/2) Características: Típicamente situado entre un A y un B. Muy arenosos y de colores claros por efecto del lavado. Estructura de muy bajo grado de desarrollo.
H.B1	Profundidad: 74-100 cm Color húmedo: Yellow Matiz: 10 YR (7/8) Características: Horizonte de transición de naturaleza opuesta a un horizonte A, enriquecimiento en arcilla, óxidos de Fe y Al que representan propiedades de los horizontes B.

#### Uso de suelo cobertura natural

Horizonte	Descripción
H.O	Profundidad: 0-10 cm Nombre color húmedo: Dusky red Matiz: 10R (3/4) Características: Un horizonte con un contenido moderado de materia orgánica, siempre es orgánico, presenta un color claro por efecto de su bajo grado de desarrollo genético.
H.A0	Profundidad: 10-30 cm Color húmedo: Weok red Matiz: 2.5YR (4/2) Características: Un horizonte con una baja acumulación de materia orgánica, residuos orgánicos parcialmente descompuestos. Típicamente de color claro por efecto de su bajo grado de desarrollo genético. Estructura migajosa y granular.
H.A1	Profundidad: 30-40 cm Color húmedo: Stong Brown Matiz: 7.5 YR (4/6) Características: Típicamente situado entre una baja cantidad de materia orgánica, arcilla y óxidos de Fe y Al. Colores muy claros.
H.A2	Profundidad: 40-50 cm Color húmedo: Stong Brown Matiz: 7.5 YR (5/8) Características: Horizonte de baja concentración de materia orgánica, enriquecimiento en arcilla, óxidos de Fe y Al, se puede encontrar minerales ya formados por eluviación.
H.B1	Profundidad: 50-70 cm Color húmedo: Yellowish red Matiz: 5 YR (5/8) Características: Horizonte de transición de naturaleza opuesta a un horizonte A, enriquecimiento en arcilla, óxidos de Fe y Al que representan propiedades de los horizontes B. Material original. Sin desarrollo de estructura edáfica, ni rasgos edáficos.



Horizonte	Descripción
H.B2	Profundidad: 70-100 cm Color húmedo: Reddish yellow Matiz: 5 YR (6/8) Características: Horizonte con una alta concentración de minerales y óxidos de arcilla, donde el color vario de amarillo a rojizo. Además, presentó la acumulación de coloides formados por arcillas silicatas.
Horizonte orgánico ( <b>H.O</b> ); Horizonte mineral ( <b>H.A</b> : Subhorizontes <b>A0</b> , <b>A1</b> , <b>A2</b> ); Horizonte mineral ( <b>H.B</b> : Subhorizontes <b>B1</b> , <b>B2</b> )	

### 6.1.2. Densidad aparente

En la Tabla 4, se presentan los resultados de la densidad aparente de los tres usos de suelo: pastizales, cultivo de papa y cobertura natural del páramo, el valor mínimo de densidad aparente fue de 0,74 g/cm<sup>3</sup> y la media fue de 0,8 g/cm<sup>3</sup> para el uso de suelo de cultivo de papa, lo que indica un menor estado de compactación del suelo, en comparación con el uso de suelo de pastizal que alcanza un valor máximo de densidad aparente de 1,08 g/cm<sup>3</sup> y una media de 1,06 g/cm<sup>3</sup>, lo que denota un mayor estado de compactación del suelo, a causa del pisoteo de los animales de pastoreo. Este proceso desencadena en un suelo con mayor grado de alteración en la estructura del suelo (Hofstede et al., 2014). La base de datos de la densidad aparente de los tres usos de suelo se muestra en el Anexo 10.

**Tabla 4.** Densidad aparente de los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

Parámetro	Unidad	Uso de suelo	Mín	Máx	Media	D.E.
Da	g/cm <sup>3</sup>	Cobertura natural	0,86	0,96	0,9	0,05
		Cultivo de papa	0,74	0,84	0,8	0,05
		Pastizal	1,04	1,08	1,06	0,02
Densidad aparente ( <b>Da</b> ); Mínimo ( <b>Mín</b> ); Máximo ( <b>Max</b> ); Desviación Estándar ( <b>D.E.</b> ).						

### 6.1.3. Porcentaje de Carbono orgánico

Respecto al porcentaje de carbono de los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 5, el uso de suelo pastizal presenta un porcentaje mínimo de carbono de 3,97% y una media de 4,48%, esto responde principalmente a la baja actividad enzimática de microorganismos encargados en la descomposición de la materia orgánica, en comparación al uso de suelo de cultivo de papa donde el máximo porcentaje de carbono es de 6,58% y una media 6,41%, lo cual se relaciona con el aporte adicional de abonos orgánicos utilizados para el desarrollo del cultivo de papa.

**Tabla 5.** Porcentaje de carbono orgánico en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

Parámetro	Unidad	Uso de suelo	Mín	Máx	Media	D.E.
CO	%	Cobertura natural	5,82	6,29	6,04	0,24
		Cultivo de papa	6,24	6,58	6,41	0,17
		Pastizal	3,97	4,84	4,48	0,46

Carbono Orgánico (CO); Mínimo (Mín); Máximo (Max); Desviación Estándar (D.E.).

De acuerdo, a los porcentajes de la materia orgánica de los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo (Tabla 6), el menor porcentaje de materia orgánica entre los usos de suelo corresponde al pastizal con 8,50%, resultado que se relaciona con su porcentaje mínimo de carbono, mientras que, el mayor porcentaje de materia orgánica correspondió al uso de suelo de cultivos con un 12,16%, valor asociado por una mayor presencia de microorganismo para su descomposición, a esto se suma el aporte adicional por el tipo de cultivo. La base de datos del porcentaje de carbono y materia orgánica de los tres usos de suelo se muestra en el Anexo 11.

**Tabla 6.** Porcentaje de materia orgánica en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

Parámetro	Unidad	Uso del suelo	Mín	Máx	Media	D.E.
MO	%	Cobertura natural	11,04	11,93	11,45	0,45
		Cultivo de papa	11,83	12,49	12,16	0,33
		Pastizal	7,53	9,17	8,50	0,86

Materia orgánica (MO); Mínimo (Mín); Máximo (Max); Desviación Estándar (D.E.).

#### 6.1.4. Contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) por hectárea

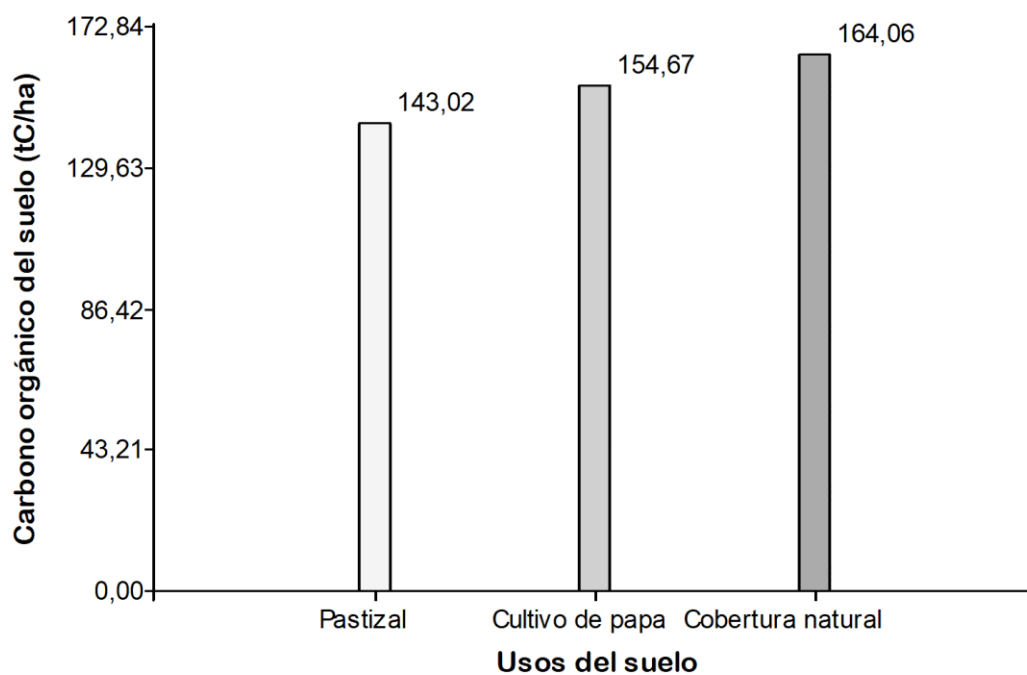
En relación, a los valores mínimos, máximos, media y desviación estándar del contenido de COS en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo (Tabla 7), la cobertura natural presentó el máximo contenido de COS con 173,7 tC.ha<sup>-1</sup> y una media de 164,06 tC.ha<sup>-1</sup>, esto principalmente por constituirse como una zona conservada, en cambio, el uso de suelo de pastizal presentó un mínimo contenido de COS de 129,1 tC.ha<sup>-1</sup> y una media de 143,02 tC.ha<sup>-1</sup>, esto debido a que se constituye como una zona intervenida por la actividad humana. Además, cabe resaltar que la variación del contenido de carbono orgánico del suelo está en función de la densidad aparente, el porcentaje de carbono y materia orgánica del uso de suelo, características que están relacionadas con la formación o grado de desarrollo genético de los suelos (Anexo 12).

**Tabla 7.** Contenido de carbono orgánico en los tres usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

Parámetro	Unidad	Usos de suelo	Mín	Máx	Media	D.E.
COS	tC. ha <sup>-1</sup>	Cobertura natural	150,44	173,7	164,06	12,13
		Cultivo de papa	139,28	166,51	154,67	13,96
		Pastizal	129,1	154,74	143,02	12,96

Carbono Orgánico del Suelo (COS); Mínimo (Min); Máximo (Max); Desviación Estándar (D.E.).

Respecto a la evaluación del contenido de carbono orgánico en el páramo del sector Carboncillo, los valores de la media de los usos de suelo se organizan (Figura 4) pastizal (143,02 tC. ha<sup>-1</sup>), cultivo de papa (154,67 tC. ha<sup>-1</sup>) y cobertura natural (164,06 tC. ha<sup>-1</sup>), mismos que indican un almacenamiento total de 461,75 tC. ha<sup>-1</sup> y una media general de 153,91 tC. ha<sup>-1</sup> en el páramo del sector Carboncillo.



**Figura 4.** Contenido de COS por uso de suelo del páramo del sector Carboncillo.

## 6.2. Resultados para el objetivo 2: Establecer comparaciones del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los tres tipos usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

### 6.2.1. Normalidad

A través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, modificado para un número de datos menor o igual a 50 ( $n \leq 50$ ), se analizó la distribución de los datos de carbono orgánico en los primeros 0,30 metros de profundidad de los usos suelo de pastizal, cultivo de papa y

cobertura natural del páramo del sector Carboncillo. Donde, los datos de contenido de la variable COS se distribuyeron normalmente, con un nivel de significancia  $p$  de 0,8352, valor superior al nivel de significancia (0,05) utilizado para el estudio, por lo tanto, la variable COS presenta un comportamiento normal o paramétrico.

**Tabla 8.** Prueba de la normalidad del contenido de carbono orgánico en el suelo, en el sector Carboncillo.

Variable	Unidad	n	Media	D.E	W*	P (Unilateral D)
COS	tC. ha <sup>-1</sup>	9	153,91	14,52	0,96	0,8352

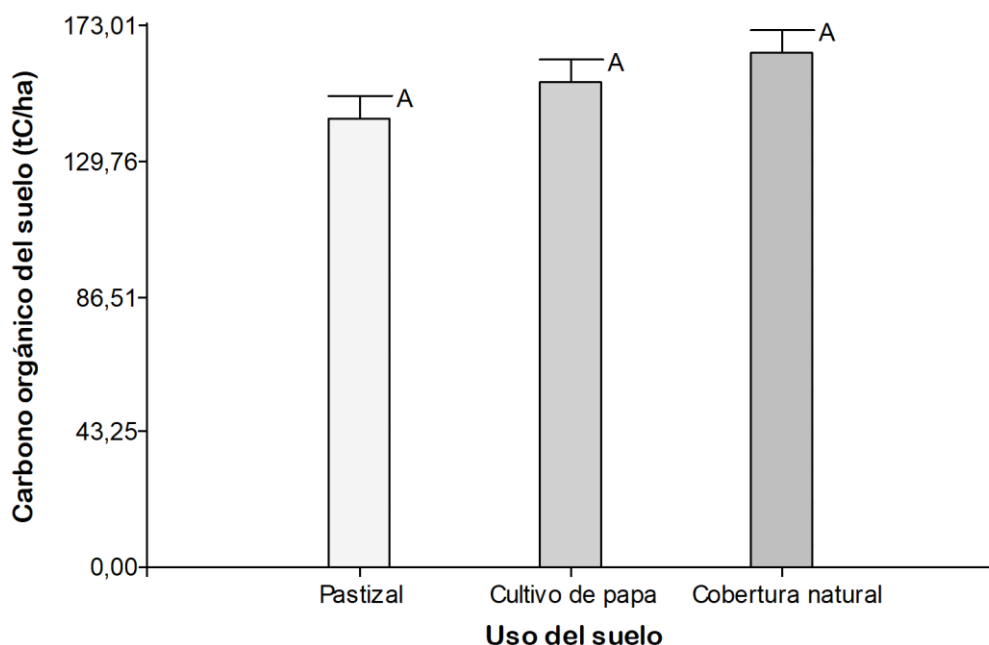
Número de datos (**n**); Desviación Estándar (**D.E**); Estadístico calculado (**W\***); Significancia (**P**).

### 6.2.2. ANOVA

A través del análisis de varianza (ANOVA), se realizó la evaluación de las variaciones del contenido del carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo: pastizal, cultivo de papa y cobertura natural (Figura 5), donde, el  $p$ -valor es igual a 0,2211. Además, se utilizó el Test de Tukey con un alfa de 0,05. Donde, se plantearon las hipótesis de contraste respectivas para el análisis:

$H_0$ : No hay diferencia entre las medias del COS de los tres usos (pastizales, cultivo de papa y cobertura natural):  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1$ : Al menos un par de medias del COS de los tres usos (pastizales, cultivo de papa y cobertura natural) es significativamente distintas la una de la otra:  $\mu_i \neq \mu_j$  al menos para un par  $(i, j)$ .



**Figura 5.** Comparación de medias (Test de Tukey, alfa de 0,05) de COS por uso de suelo.

De acuerdo, a los resultados de la aplicación del Test de Tukey (Tabla 9), las medias del contenido de COS de los tres usos de suelo no son significativamente diferentes (Medias con una letra común) y es por esto que se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ). El resultado del análisis, está relacionado a la discrepancia en el grado de desarrollo genético entre los suelos evaluados, y el rango altitudinal, respecto al rango altitud, investigaciones previas demuestran la relación de un mayor contenido de COS a una mayor altitud.

En base al rango altitud donde se desarrolló el estudio (2890 hasta 3000 m s.n.m), no se descarta la influencia de este factor, en la inexistencia de cambios significativos, con respecto al contenido COS entre los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo. Adicionalmente, la similitud de contenido de COS entre la cobertura natural y los usos de suelo antrópicos: pastizal y cultivo de papa, puede estar relacionado con los sistemas rotativos que presentan las dos prácticas antrópicas, y de tal manera existe una disminución del impacto antrópico frente al contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en el páramo del sector Carboncillo.

**Tabla 9.** Test Tukey de las medias de usos de suelo del sector Carboncillo.

Uso de suelo	Medias	E.E.	
Pastizal	143,02	7,53	A
Cultivo de papa	154,67	7,53	A
Cobertura natural	164,06	7,53	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

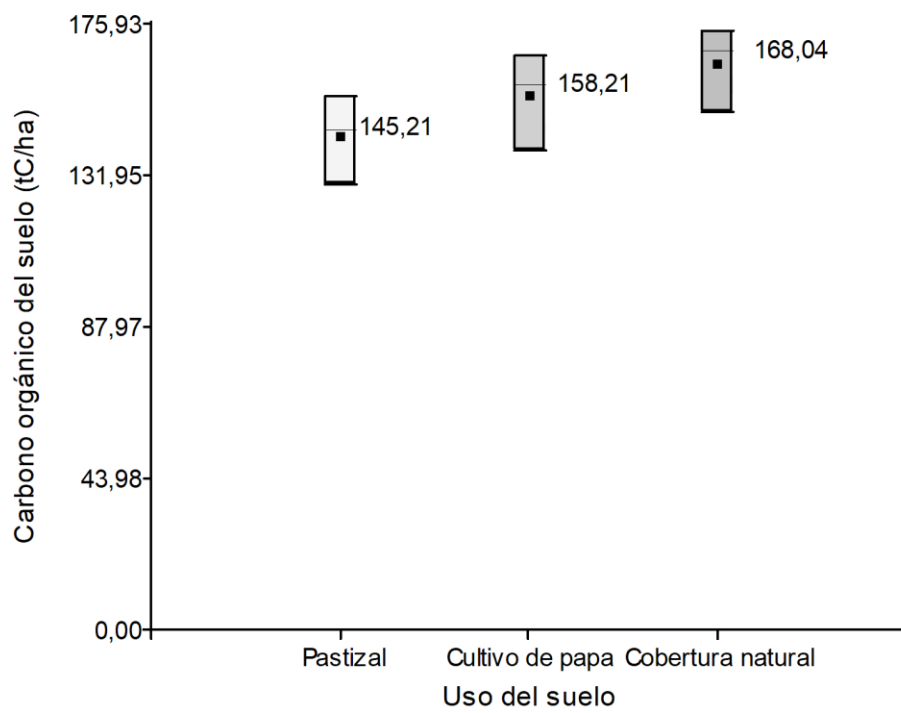
Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) del contenido de COS (Tabla 10) en los usos de suelo: cobertura natural, cultivo de papa y pastizal, mostraron un porcentaje de 7,39%, 9,02%, 9,06%, respectivamente, estos porcentajes de coeficiente de variación son considerados bajos, pues se establecen por debajo del 30% (Gordón & Camargo, 2015). Además, los resultados obtenidos demuestran una homogeneidad de los datos de la media aritmética y una baja dispersión del contenido de COS de cada uso de suelo del páramo del sector Carboncillo, al mismo tiempo, el bajo porcentaje de coeficiente de variación demostró la representatividad de la media, respecto al conjunto de datos recolectados en la fase de campo.

**Tabla 10.** Coeficiente de variación de COS los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Uso del suelo</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>CV</b>	<b>Mediana</b>
COS	tC. ha <sup>-1</sup>	Cobertura natural	3	164,06	7,39	168,04
		Cultivo de papa	3	154,67	9,02	158,21
		Pastizal	3	143,02	9,06	145,21

Número de datos (**n**); Coeficiente de variación (**CV**).

En base a los valores de la mediana del contenido de COS. En la Figura 6 se presenta el análisis Box-Plot del contenido de COS que, a pesar de que los usos de suelo no muestran diferencias significativas referente a sus medias, los valores de las medianas presentaron una distribución asimétrica negativa o sesgada a la izquierda (parte inferior más larga a la mediana), es decir, el 50% de los datos de los usos de suelo para pastizales, cultivo de papa y cobertura natural se distribuyen por encima de la mediana, 145,21 tC. ha<sup>-1</sup>, 158,21 tC. ha<sup>-1</sup> y 168,04 tC. ha<sup>-1</sup> respectivamente. Adicionalmente, el uso de suelo para pastizal presentó una mayor dispersión de los datos, respecto a los usos de suelo para cultivo de papa y cobertura natural.



**Figura 6.** Análisis Box-Plot del contenido de COS en el páramo del sector Carboncillo.

## 7. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran una gran capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) ( $461,75 \text{ tC. ha}^{-1}$ ) en el páramo del sector Carboncillo, hallándose un mayor contenido de COS en la cobertura natural y un menor contenido en los usos de suelo para cultivos y pastizales. Estos resultados concuerdan con Montes et al., (2017), quienes en su investigación realizada en el páramo de Sumapaz en Colombia, determinaron que la cobertura natural tiene una alta capacidad de almacenamiento de COS ( $550 \text{ tC. ha}^{-1}$ ), frente a los usos de suelo antrópicos que presentaron una capacidad de acumulación de COS baja ( $274 \text{ tC. ha}^{-1}$ ). Asimismo, de acuerdo con Fernández et al., (2019) en una investigación llevada a cabo en el páramo Rabanal, Colombia, mencionan que el suelo de la cobertura natural tiene un mayor capacidad de almacenamiento ( $108 \text{ tC. ha}^{-1}$ ), en contraste con el uso de suelo de plantación de pinos ( $51,4 \text{ tC. ha}^{-1}$ ), evidenciando que las actividades antrópicas reducen la capacidad de almacenamiento de COS.

En cuanto, al contenido de COS en los usos de suelo en el páramo del sector Carboncillo, a partir de los resultados encontrados se determinó que la cobertura natural presenta el mayor contenido de COS ( $164,06 \text{ tC. ha}^{-1}$ ), en comparación con los usos de suelo de cultivo de papa ( $154,67 \text{ tC. ha}^{-1}$ ) y pastizales ( $143,02 \text{ tC. ha}^{-1}$ ) que presentan un menor contenido de COS, esto se debe a que la cobertura natural se constituye como una zona conservada, mientras que, los usos de suelo de cultivos y pastizal se establecen como una zona intervenida por la actividad humana. Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores como, Rojas et al., (2018), quienes identificaron que en el páramo de Santa Isabel – Tolima, Colombia existe un mayor almacenamiento de COS en el bosque nativo ( $112,4 \text{ tC. ha}^{-1}$ ), frente a los usos de suelo para sistemas silvo-pastoriles ( $79,8 \text{ tC. ha}^{-1}$ ) y cultivos agrícolas ( $79,6 \text{ tC. ha}^{-1}$ ). En este sentido, Lis et al., (2019) mencionan que en el páramo de Guerrero, Colombia el cambio de uso del suelo de bosque natural a cultivos y pastos disminuyen la reservas de COS.

Referente a la influencia de las propiedades físicas (densidad aparente) y químicas (carbono orgánico) del suelo en el contenido de COS, conforme a los resultados obtenidos, la densidad aparente de los usos de suelo: cultivo de papa, cobertura natural, y pastizales presentaron valores de  $0,8 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,9 \text{ g/cm}^3$  y  $1,06 \text{ g/cm}^3$  respectivamente, los valores identifican el estado de compactación del suelo, donde los pastizales presenta un mayor grado



de compactación y alteración en la estructura del suelo, estos datos coinciden con la investigación de Rojas et al., (2018), quienes mencionan que la densidad aparente en los usos de suelo para cultivos agrícolas ( $0,61 \text{ g/cm}^3$ ), sistemas silvo-pastoriles de pasturas con árboles dispersos ( $0,65 \text{ g/cm}^3$ ) aumenta en un 80%, frente a la densidad aparente del suelo de un bosque nativo ( $0,35 \text{ g/cm}^3$ ). Asimismo, Africano et al., 2016 y Fernández et al., 2019, señalan en sus estudios sobre el almacenamiento de COS en los páramos (Guantiva - La Rusia y Rabanal, Colombia), que la densidad aparente presentó un mayor valor en coberturas antrópicas frente a la cobertura natural, indicando así un mayor grado de compactación del suelo.

En cuanto al porcentaje carbono orgánico, conforme a los resultados obtenidos, el pastizal presentó un menor porcentaje de carbono orgánico: 4,48%, principalmente por el bajo porcentaje de materia orgánica (8,50), en comparación a la cobertura natural y el cultivo de papa que presentaron un mayor porcentaje de carbono orgánico, 6,04% y 6,41% respectivamente, esto puede explicarse por los altos niveles de materia orgánica (11,45% y 12,16%). El alto porcentaje de materia orgánica en cultivo de papa, donde se suman aportes de origen antrópico por abonos orgánicos, a base de estiércol de origen animal o residuos de cultivos (materia orgánica en disgregación) (Males & Ortíz, 2017), y el tipo de vegetación, son condiciones que posibilitan un mayor almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (Gutiérrez et al., 2020). En este sentido, tal como lo señala Cuervo et al., (2016) en su estudio, los suelos con cobertura natural mantienen un alto porcentaje de carbono orgánico, frente al uso de suelo por pastizales, donde no existe una gran disponibilidad de materia orgánica y aportes antrópicos significativos.

En la investigación sobre la evaluación de contenido de COS, también se incluyó la limitación o influencia de factores ambientales y climáticos indirectos como: la altitud, clima, desarrollo, tiempo del uso del suelo y tipo de vegetación, esto debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres usos de suelo, consideraciones que concuerdan con la investigación de Gutiérrez et al., (2020) quienes resaltan que los factores ambientales: clima, altitud, tipo de vegetación y pendiente del suelo, controlan la distribución o el contenido de COS. Por otra parte, Buol et al., (2011) y Xu et al., (2018) mencionan que, el factor clima influye en los patrones de distribución de COS y las tasas de descomposición de materia orgánica, que por lo general tiende a acumularse, en el caso del páramo del sector

Carboncillo los tres usos de suelo estudiados presentan un clima frío (12 °C, temperatura promedio).

Con relación al factor de edad del uso de suelo, también influye en la similitud del contenido de COS entre la cobertura natural y los usos de suelo antrópicos: pastizal (5 años) y cultivo de papa (2 años), mismos que cuentan con sistemas rotativos, información que fue detallada por los propietarios de las haciendas donde se ubicaron las zonas de estudio. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores como Echeverría et al., (2018), quienes en su estudio hecho en el páramo de Igualata, provincia de Chimborazo-Ecuador, indican que existen prácticas antrópicas que dependiendo del nivel y tiempo de intervención antrópica pueden favorecer la acumulación del contenido de COS.

Referente al factor de la gradiente altitudinal, no se descarta su influencia para que no existan diferencias significativas entre el contenido de COS de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, las zonas de estudio fueron evaluadas en un rango altitud que varía de 2890 hasta 3000 m s.n.m, altitud promedio de los páramos del sur del Ecuador. En este contexto, el contenido total de COS del páramo del sector Carboncillo fue de 461,75 tC. ha<sup>-1</sup>, mismo que puede considerarse bajo a comparación con el estudio de Thompson et al., (2021), quienes mencionan que entre las regiones de la Reserva Ecológica y el Parque Nacional Cayambe – Coca en el Norte de Ecuador, con una altitud que se extiende de los 3500 a 5000 m s.n.m, el contenido total de COS fue de 561 tC. ha<sup>-1</sup>. Estos resultados demuestran la variación del COS frente al aumento de la altitud, condición que no solo se mantiene en los páramos del Ecuador, dado que, de forma similar Li et al., (2020) registraron, que el suelo montañoso y en alturas considerables, por lo general poseen grandes cantidades de carbono almacenado en el suelo, esto se confirmó en su estudio realizado en la montaña de Daxing'anling, al Noreste de China, misma que contiene una gran cantidad de carbono orgánico en el suelo (COS).

## 8. Conclusiones

En este estudio se evaluó el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, donde se estableció que el uso de suelo de cobertura natural presentó un mayor contenido de COS, en comparación con los suelos bajo cultivo de papa y pastizales, que mostraron un menor contenido de COS

Referente a las propiedades físicas del suelo, se determinó que el uso de suelo de pastizales tiene el mayor valor de densidad aparente, de tal manera que presenta un alto grado de compactación y alteración en la estructura del suelo, frente a los usos de suelo de cultivo y cobertura natural.

En cuanto a las propiedades químicas del suelo, se determinó que el porcentaje de carbono orgánico es menor en uso de suelo de pastizal, principalmente por el bajo porcentaje de materia orgánica, esto en comparación a la cobertura natural y el cultivo de papa que presentaron un mayor porcentaje de carbono orgánico, debido a los altos niveles de materia orgánica.

Respecto a los factores ambientales climáticos indirectos a la zona de estudio del contenido de COS: altitud, clima, desarrollo y tiempo del uso del suelo, no se descarta su influencia, para que no existan diferencias estadísticamente significativas entre el contenido de COS de los usos de suelo para pastizales, cultivo de papa y cobertura natural, por lo tanto, se podría decir que la altitud y el corto tiempo de uso del suelo (intervención antrópica), desencadenaron en diferencias mínimas en el contenido de COS del páramo del sector Carboncillo.

## **9. Recomendaciones**

Realizar estudios para el monitoreo del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en los usos de suelo de cobertura natural, pastizales y cultivos del páramo del sector Carboncillo, para determinar su estado y fomentar la conservación de este ecosistema.

Socializar los resultados del contenido de COS, con los dueños y trabajadores de las haciendas de la localidad, para incentivar y fortalecer buenas prácticas agropecuarias, enfocadas a conservar los servicios ambientales (almacenamiento de COS).

Realizar charlas de educación ambiental en las parroquias de San Antonio de Cumbe y El Tablón, orientadas a los agricultores y ganaderos de la localidad, con la finalidad de concientizar y fomentar un aprovechamiento sostenible de los recursos del ecosistema páramo.

Desarrollar investigaciones complementarias a la evaluación del contenido de COS en el ecosistema páramo del Sur del Ecuador, donde se consideren otros usos de suelo, y la influencia de factores ambientales y climáticos (rango altitudinal, pendiente, precipitación, temperatura), con la finalidad de generar y contribuir con información base para el planteamiento de estrategias y medidas de conservación.

## 10. Referencias

- Africano, K., Cely, G., & Serrano, P. (2016). Potencial de captura de CO<sub>2</sub> asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(1), 91–110.
- Aguirre, Z., Aguirre, N., Merino, B., & Ochoa, I. (2015). Los páramos del Parque Nacional Podocarpus: una aproximación a su diversidad ecosistémica y florística. In N. Aguirre, T. Ojeda, P. Eguiguren, & Z. Aguirre (Eds.), *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador* (p. 66).
- Aguirre, Z., Loja, Á., Solano, C., & Aguirre, N. (2016). *Especies forestales mas aprovechadas del sur del Ecuador* (Universidad Nacional de Loja (ed.); Primera).
- Avellaneda, L., León, T., & Torres, E. (2018). Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of Neotropical high Andean Páramo ecosystem soils. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1600–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.137>
- Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., & Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz*, 4(1).
- Barrezueta, S. (2021). Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(35), 43–53.
- Buol, S., Southard, R., Graham, R., & McDaniel, P. (2011). *Soil Genesis and Classification* (John Wiley (ed.); Sixth).
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35, 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cabrera, M., & Ramírez, W. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación. *Instituto Humboldt*, 1. <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/562-restauracion-paramos>

- Carrillo, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Célleri, R., & Bendix, J. (2019). The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265(0168–1923), 30–47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.006>
- Carvajal, B. N., & Andrade, H. J. (2021). Carbono orgánico en suelos con diferentes sistemas de uso en Tacarimena Yopal, Colombia. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1–9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1921>
- Castañeda, A. E., & Montes, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210–221. <https://doi.org/0000-0003-1560-3464>
- Chaparro, J., & Chaparro, N. (2012). Beneficios del Ecosistema Páramo, Organizaciones y Políticas de Conservación. Aproximaciones al páramo El Consuelo del municipio de Cerinza, Boyacá. *Desarrollo, Economía y Sociedad*, 1, 1:20. [https://www.didacticamultimedia.com/registro/estudios/7/documentos/ecosistema\\_paramo.pdf](https://www.didacticamultimedia.com/registro/estudios/7/documentos/ecosistema_paramo.pdf)
- Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático*. Naciones Unidas. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cuervo, E. L., Cely, G. E., & Moreno, D. F. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno*, 7(2), 139–149.
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L., & De Bièvre, B. (2014). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*.
- Dercon, G., Govers, G., Poese, J., Sánchez, H., Rombaut, K., Vandebroek, E., Loaiza, G., & Deckers, J. (2007). Animal-powered tillage erosion assessment in the southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology*, 87(1–2), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.045>.
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227–240.
- Duval, M., De Sa Pereira, E., Iglesias, J., & Galantini, J. (2014). Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un argiudol. *Ciencia Del Suelo*, 32(1),

105–115. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100011&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100011&script=sci_arttext&tlng=es)

Echeverría, M., Mur, R. J., Lindao, V., Erazo, N., Logroño, W., & Córdova, R. (2018). Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador. *AIP Conference Proceedings*, 2003(August). <https://doi.org/10.1063/1.5050356>

Farley, K., Anderson, W., Bremer, L., & Harden, C. (2011). Compensation for ecosystem services: An evaluation of efforts to achieve conservation and development in Ecuadorian páramo grasslands. *Environmental Conservation*, 38(4), 393–405. <https://doi.org/10.1017/S037689291100049X>

Fernández, C. J., Cely, G. E., & Serrano, P. A. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121–133. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152>

Forkuor, G., Hounkpatin, O. K. L., Welp, G., & Thiel, M. (2017). High resolution mapping of soil properties using Remote Sensing variables in south-western Burkina Faso: A comparison of machine learning and multiple linear regression models. *PLoS ONE*, 12, 1–21. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0170478>

GAD Municipal Intercultural de Saraguro. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Intercultural de Saraguro 2020-2030*.

GAD Parroquia El Tablón. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia El Tablón*.

GAD Parroquia San Antonio de Cumbe. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Antonio de Cumbe*.

García, V., Márquez, C., Isenhardt, T., Rodríguez, M., Crespo, S., & Cifuentes, A. (2019). Evaluating the conservation state of the páramo ecosystem: An object-based image

- analysis and CART algorithm approach for central Ecuador. *Heliyon*, 5(10), e02701. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02701>
- González, É., & Meira, P. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), 157–174. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>
- Gordón, R., & Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 55–63. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Gutiérrez, J. S., Ordoñez, N., Bolívar, A., Bunning, S., Guevara, M., Medina, E., Olivera, C., Olmedo, G., Rodríguez, L. M., Sevilla, V., & Vargas, R. (2020). Estimación del carbono orgánico en los suelos de ecosistema de páramo en Colombia. *Ecosistemas*, 29(1), 1855. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1855>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (S. A. D. C. . INTERAMERICANA EDITORES (ed.); McGRAW-HIL).
- Hofstede, R. (1995). Effects of livestock farming and recommendations for management and conservation of páramo grasslands (Colombia). *Land Degradation & Development*, 6(3), 133–147. <https://doi.org/10.1002/ldr.3400060302>
- Hofstede, R. (1999). El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. In *El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico* (Vol. 1).
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los páramos andinos ¿Qué Sabemos?* 16–17.
- Hofstede, R., Coppus, R., Mena, P., & Segarra, P. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3–18.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos* (Global Pea).
- Hontoria, C., Rodríguez, J. C., & Saa, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología*, 11, 149–157. <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo11b/articulo149.pdf>



- Horn, S., & Kappelle, M. (2009). Fire in the páramo ecosystems of Central and South America. *Tropical Fire Ecology*, 505–539. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_18)
- Houghton, R. A., Hackler, J. L., & Lawrence, K. T. (1999). The U.S. Carbon Budget: Contributions from Land-Use Change. *Science*, 285, 574–578. <https://doi.org/10.1126/science.285.5427.574>
- Ibáñez, J. (2006). *Factores que intervienen en el contenido de materia orgánica en los suelos*. Madrid Blogs. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/02/08/13137>
- IPCC. (2000). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry* (R. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. Ravindranath, D. Verardo, & D. Dokken (eds.)).
- IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraiishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, & F. Wagner (eds.)). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Jaramillo, V. (2004). El ciclo global del carbono. In Instituto Nacional de Ecología (Ed.), *Cambio climático: una visión desde México* (Primera ed, pp. 76–84).
- Josse, C., Mena, P., & Medina, G. (2000). *El páramo como fuente de recursos hidricos* (Abya Yala, Vol. 3).
- León, P., Tapia, E., & Rodríguez, F. (2017). Valor económico del almacenamiento de carbono en los páramos de la reserva ecológica del El Angel. *Revista Geospacial*, 14(1), 65–82. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v14i1.1596>
- Lessard, R., Gignac, D., & Rochette, P. (2006). *El ciclo del carbono: Midiendo el flujo del CO2 del suelo*.
- Li, J., Zhang, D., & Liu, M. (2020). Factors controlling the spatial distribution of soil organic carbon in Daxing'anling Mountain. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69590-y>
- Lis, M., Rubiano, Y., & Loaiza, J. (2019). Soils and land use in the study of soil organic carbon in Colombian highlands catena. *AUC Geographica*, 54(1), 15–23. <https://doi.org/10.14712/23361980.2019.2>

- Lopez, M., Poch, R., & Porta, J. (2013). *Edafología: Uso y protección de suelos* (Mundi-Prensa (ed.); 3 er ed.). [https://www.todostuslibros.com/libros/edafologia-uso-y-proteccion-de-suelos\\_978-84-8476-661-2](https://www.todostuslibros.com/libros/edafologia-uso-y-proteccion-de-suelos_978-84-8476-661-2)
- Macías, F., Camps, M., & Rodríguez, L. (2018). Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurales*, 1, 71–85. <https://doi.org/10.15304/rr.id5342>
- Males, D., & Ortíz, Á. (2017). *Almacenamiento de carbono en diferentes usos de suelo en el municipio de Pasto*. Universidad de Nariño.
- Martín, J. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 18(1), 33–46. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/33310/1/200083-267667-1-PB.pdf>
- Mena, P. (2010). *Los páramos ecuatorianos: Paisajes diversos, frágiles y estratégicos*. 54, 97–122. <https://afese.com/img/revistas/revista54/paramos.pdf>
- Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 2001, 91–109. [https://beisa.au.dk/Publications/BEISA\\_Book\\_pdf/Capitulo\\_06.pdf](https://beisa.au.dk/Publications/BEISA_Book_pdf/Capitulo_06.pdf)
- Mendizábal, G. (2015). La seguridad social ante los retos del cambio climático. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 48(142), 697–730. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2015.143.4943>.
- Michel, R. (2001). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. In *FAO* (Vol. 96). <https://www.fao.org/publications/card/es/c/324786c6-bf3f-4ffe-986e-01cf35dd0e03/>
- Montaño, N., Ayala, F., Bullock, S., Briones, O., Oliva, F., Sánchez, R., Maya, Y., Perroni, Y., Siebe, C., Tapia, Y., Troyo, E., & Yépez, E. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana*, 34, 39–59. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00039.pdf>
- Montes, C., Ramos, J., & San José, A. (2017). Estimation of soil organic carbon (SOC) at

- different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca-Colombia. *Acta Agronómica*, 66(1), 95–101. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n1.53171>
- Moreno, A., & Urbina, J. (2008). *Impactos sociales del cambio climático en México*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG009994.pdf>
- Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., García, N., & Tamariz, J. (2012). Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(1), 123–135. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627685012>
- Osinaga, O., Báez, S., Cuesta, F., Malizia, A., Carilla, J., Aguirre, N., & Malizia, L. (2014). Monitoreo de biodiversidad vegetal y carbono en bosques andinos - Protocolo extendido. In *CONDESAN* (Vol. 1).
- Pesántez, J., Mosquera, G. M., Crespo, P., Breuer, L., & Windhorts, D. (2018). Effect of land cover and hydro-meteorological controls on soil water DOC concentrations in a high-elevation tropical environment. *Hydrological Processes*, 32(17), 2624–2635. <https://doi.org/10.1002/hyp.13224>
- Pontevedra, X., Martínez, A., & Buurman, P. (2004). Las turberas de montaña de Galicia como sumideros de carbono. *Edafología*, 11(3), 295–307.
- Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6(3), 317–327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2015). 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.
- Rojas, A., Andrade, H., & Segura, M. (2018). Los suelos del paisaje alto-andino de Santa Isabel (Tolima, Colombia) ¿Son sumideros de carbono orgánico? *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 51–59. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.662>
- Rubio, M. J., & Berlanga, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de

- Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *Revista D Innovació i Recerca En Educació*, 5, 83–100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Segura, M., Andrade, H., & Mojica, C. (2019). Estructura, composición florística y almacenamiento de carbono en bosques nativos del páramo de Anaime, Tolima, Colombia. *Ciencia Florestal*, 29(1), 157–168. <https://doi.org/10.5902/1980509826551>
- Sevink, J. (2009). Los páramos y sus reservas de carbono. *En Cuantificación y Estimación de Los Stocks de Carbono En Ecosistemas de Alta Montaña*, 20.
- Thompson, J., Zurita, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48–59. <https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- Torres, E., Maza, J., & Barrezueta, S. (2021). Impacto de dos usos de suelo en el almacenamiento carbono orgánico en el Litoral Ecuatoriano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9 (2), 78–85.
- Valenzuela, I. G., & Visconti, E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 233–243. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7349>
- Vásquez, J., & Macías, F. (2017). Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 7–17. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i1.237>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining carbon in soils. Effect of variation in digestion condition and inorganic soil constituents. *Soil Sci*, 63(4), 251–264.
- Xu, L., Yu, G., He, N., Wang, Q., Gao, Y., Wen, D., Li, S., Niu, S., & Ge, J. (2018). Carbon storage in China's terrestrial ecosystems: A synthesis. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20764-9>
- Yuste, J., Hereş, A.-M., Ojeda, G., Paz, A., Pizano, C., García-Angulo, D., & Lasso, E. (2017).

Soil heterotrophic CO<sub>2</sub> emissions from tropical high-elevation ecosystems (Páramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. *Soil Biology and Biochemistry*, *110*, 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.016>.

Zimmerman, M., Meir, P., Silman, M., Fedders, A., Gibbon, A., Malhi, Y., Urrego, D., Bush, M., Feeley, K., García, K., Dargie, G., Farfán, W., Goetz, B., Johnson, W., Kline, K., Modi, A., Rurau, N., Staudt, B., & Zamora, F. (2010). No Differences in Soil Carbon Stocks Across the Tree Line in the Peruvian Andes. *Ecosystems*, *13*, 62–74. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9300-2>

Zúñiga, F., Huertas, J., Guerrero, G., Sarasty, J., Dörner, J., & Burbano, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Terra Latinoamericana*, *36*, 183–196. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.363>

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Determinación de los usos de suelo en la zona de estudio: Cobertura natural, pastizal y cultivo de papa.



**Anexo 2.** Delimitación de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo.





**Anexo 3.** Interpretación de las propiedades del suelo encontradas en las calicatas, con base a la tabla de Munsell.



**Anexo 4.** Muestreo superficial en los usos de suelo (capa orgánica del suelo).



**Anexo 5.** Recolección de muestras de suelos no disturbadas, el método del cilindro de volumen conocido.





**Anexo 6.** Proceso de secado y tamizado de las muestras de suelo en laboratorio.



**Anexo 7.** Pesaje de las muestras de suelo, para el análisis de las propiedades químicas.



**Anexo 8.** Cálculo de la materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico de las muestras de suelo disturbadas, método de Walkley y Black (1947).



**Anexo 9.** Cálculo de la densidad aparente de las muestras de suelo no disturbadas en laboratorio.



**Anexo 10.** Base de datos de la densidad aparente de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio.

Fecha	N° Lab	Cod. Campo	PC+SS	PC	SS	D.A. (g/cm3)	Promedio
7/6/2022	3196	17G1	201,70	95,70	106,00	1,06	
7/6/2022	3197	18VG2	204,90	97,60	107,30	1,07	1,07
7/6/2022	3198	19G3	211,60	95,20	116,40	1,16	
7/6/2022	3199	5VG4	197,30	96,90	100,40	1,00	1,08
7/6/2022	3200	6G5	208,50	95,90	112,60	1,13	
7/6/2022	3201	6G6	186,70	90,80	95,90	0,96	1,04
7/6/2022	3202	2XC1	177,40	96,10	81,30	0,81	
7/6/2022	3203	24VC2	181,40	98,30	83,10	0,83	0,82
7/6/2022	3204	23XC3	178,00	97,60	80,40	0,80	
7/6/2022	3205	10C4	184,00	95,80	88,20	0,88	0,84
7/6/2022	3206	17VC5	171,40	97,20	74,20	0,74	
7/6/2022	3207	14XC6	171,30	96,70	74,60	0,75	0,74
7/6/2022	3208	2P1	190,80	95,50	95,30	0,95	
7/6/2022	3209	15XP2	193,40	95,80	97,60	0,98	0,96
7/6/2022	3210	18P3	182,20	95,80	86,40	0,86	
7/6/2022	3211	15VP4	183,60	97,70	85,90	0,86	0,86
7/6/2022	3212	1P5	188,50	99,90	88,60	0,89	
7/6/2022	3213	13P6	188,10	98,70	89,40	0,89	0,89

**Anexo 11.** Base de datos del porcentaje de carbono orgánico y materia orgánica de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio.

Fecha	Código laboratorio	Código campo	Peso muestra	Gasto (blanco)	Vol. Titulación	% C	% M.O
22/6/2022	3243	CP1G1	0,1008	10,0	7,50	4,84	9,17
22/6/2022	3244	CP2G2	0,1007	10,0	7,95	3,97	7,53
22/6/2022	3245	CP3G3	0,1008	10,0	7,60	4,64	8,80
22/6/2022	3246	CP1C1	0,1003	10,0	6,70	6,42	12,17
22/6/2022	3247	CP2C2	0,1007	10,0	6,60	6,58	12,49
22/6/2022	3248	CP3C3	0,1000	10,0	6,80	6,24	11,83
22/6/2022	3249	CP1P1	0,1007	10,0	6,90	6,00	11,38
22/6/2022	3250	CP2P2	0,1005	10,0	7,00	5,82	11,04
22/6/2022	3251	CP3P3	0,1007	10,0	6,75	6,29	11,93

**Anexo 12.** Base de datos del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) de los usos de suelo del páramo del sector Carboncillo, fase de laboratorio.

Código campo	Cobertura	D.A	Coordenadas UTM		P(m)	% C	% M.O.	Cantidad de COS (tnc/ha)
			Norte	Este				
CP1G1	Pastizal	1,07	9610634.00	703522.00	0,3	4,84	9,17	154,74
CP2G2		1,08	9610630.00	703476.00	0,3	3,97	7,53	129,10
CP3G3		1,04	9610628.04	703432.19	0,3	4,64	8,80	145,21
CP1C1	Cultivos	0,82	9608450.43	701194.87	0,3	6,42	12,17	158,21
CP2C2		0,84	9608516.00	701162.00	0,3	6,58	12,49	166,51
CP3C3		0,74	9608575.08	701119.85	0,3	6,24	11,83	139,28
CP1P1	Cobertura natural	0,96	9610093.68	704928.05	0,3	6,00	11,38	173,70
CP2P2		0,86	9610035.00	704930.00	0,3	5,82	11,04	150,44
CP3P3		0,89	9609979.01	704933.20	0,3	6,29	11,93	168,04

**Anexo 13.** Certificación de traducción del Abstract.

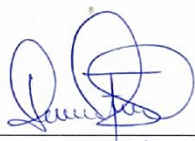
**CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN**

Yo, Diego Fernando Ordoñez Silva, con número de cédula 1104872476 y con título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-15-1428431.

**CERTIFICO:**

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado: **“Evaluación de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de suelo del páramo del sector de Carboncillo, cantón Saraguro, provincia de Loja”** de autoría del señor **Jhonny Alexander Cabrera González**, portador de cédula de identidad número **1105352338**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente en la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previo a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



\_\_\_\_\_  
**Lic. Diego Fernando Ordoñez Silva**

**C.I. 1104872476**

**Registro del SENESCYT: 1008-15-1428431.**