


ARTÍCULOS


Captura de carbono orgánico en zonas con distinto nivel de intervención en páramos de Sayaro




Organic carbon capture in areas with different levels of intervention in Sayaro moors

Hurtado-Naranjo, Michelle Alexandra; Alulema-Del Salto, Rafael Alberto; Palacios-Cabrera, Teresa Alejandra

 **Michelle Alexandra Hurtado Naranjo**
mahurtado@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería Ambiental. Quito, Pichincha, Ecuador.

 **Rafael Alberto Alulema Del Salto**
raalulema@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Carrera de Geología. Quito, Pichincha, Ecuador.

 **Teresa Alejandra Palacios Cabrera**
tapalacios@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería Ambiental. Quito, Pichincha, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 16, núm. 2, 2023

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 14 septiembre 2022

Aprobación: 30 junio 2023

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4323>

Autor de correspondencia: tapalacios@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Agradecimientos: al Parque Nacional Cayambe-Coca por la apertura y ayuda en la toma de muestras de suelo en el Páramo, al GAD de Cayambe por su colaboración en la logística, al laboratorio de la FIGEMPA por el apoyo en los procesos para el análisis de los suelos.

Resumen: Los páramos son ecosistemas conocidos por su gran capacidad de retención hídrica y secuestro de carbono en los suelos, esto se atribuye a la variedad de flora y fauna de las zonas de humedales en los mismos. La presente investigación se realizó en el Páramo de Sayaro, ubicado en la parroquia de Juan Montalvo, perteneciente a el cantón Cayambe; con el objetivo de determinar la cantidad de carbono que se encuentra presente en tres zonas con distintos niveles de intervención y cuáles serían los factores a los que se atribuiría la diferencia. Zona Z1=sin intervención; Zona Z2=mediana intervención y Zona Z3= alta intervención. Se tomaron un total de 45 muestras de suelo, 15 en cada una de las zonas, para análisis fisicoquímicos del porcentaje de materia orgánica y la cantidad de carbono orgánico; determinados mediante el método de Walkey y Black (1947). Los valores promedios obtenidos de carbono orgánico fueron de 44,06 tC/ha en la zona sin intervención y de páramos jóvenes; 28,05 tC/ha en la zona con mediana intervención por la presencia de ceniza volcánica y 35,67 tC/ha en la zona con alta intervención por la vegetación y presencia de organismos como las lombrices.

Palabras clave: páramo; carbono orgánico del suelo; materia orgánica; cambio climático.

Abstract: The moors are ecosystems known for their high-water retention capacity and carbon sequestration in soils, this is attributed to the variety of flora and fauna of the wetland areas in them. The present investigation was carried out in the moors de Sayaro, located in the parish of Juan Montalvo, belonging to the canton of Cayambe; with the aim of determining the amount of carbon present in three areas with different levels of intervention and the factors to which the difference would be attributed. Zone Z1=no intervention; Zone Z2=medium intervention and Zone Z3= high intervention. A total of 45 soil samples, 15 in each of the zones, were taken for analysis of the physic-chemical parameters of the percentage of organic matter and the amount of organic carbon; determined by the Walkey and Black method (1947). The average values obtained of organic carbon were 44.06 tC/ha in the zone without intervention and young moors; 28.05 tC/ha in the zone with medium

Cómo citar: Hurtado-Naranjo, M. A., Alulema-Del Salto, R. A., Palacios-Cabrera, T. A. (2023). Captura de carbono orgánico en zonas con distinto nivel de intervención en páramos de Sayaro. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 79-92. <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4323>

intervention due to the presence of volcanic ash and 35,67 tC/ha in the area with high intervention by vegetation and presence of organisms such as worms.

Keywords: moorland; soil organic carbon; organic matter; climate change.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son fuentes importantes de carbono orgánico (C), cuando se trata de los mayores reservorios con relación a los ecosistemas terrestres. Sin embargo, el uso intenso continuo de los suelos para satisfacer las crecientes necesidades humanas, como las necesidades de alimentos, fibra y energía, ha resultado en una pérdida de carbono del suelo y, por lo tanto, provoca emisiones de gases de efecto invernadero (Cerri et al., 2021). La importancia del cambio de uso del suelo y su relación con el cambio climático ha sido objeto de debate científico durante muchos años. Los ecosistemas forestales son capaces de almacenar carbono en forma de biomasa superficial, lo que depende de factores como la composición vegetal, la edad y la densidad de población en cada nivel de la comunidad vegetal (Guillén et al., 2019).

Los ecosistemas de páramos se caracterizan por los diversos tipos de vegetación montañosa en los Andes del norte, son un excelente ejemplo del papel desproporcionado de los hábitats de montaña en la prestación de servicios ecosistémicos (Lazo et al., 2019), sin embargo, la capacidad de páramo para aportar altos niveles de carbono en el suelo está en riesgo debido al cambio de uso de la tierra de pastizales y arbustos a tierras de cultivo y su aporte de gases de efecto invernadero en el cambio climático (Thompson et al., 2021). En el periodo de 2007 a 2016 las actividades relacionadas con la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra son responsable de alrededor del 13% de las emisiones de CO₂, 44% metano (CH₄) y 81% óxido de nitrógeno (N₂O) de las actividades humanas en todo el mundo representa el 23% de todas las emisiones antropogénicas netas de gases de efecto invernadero (Dupar, 2020). El cantón de Cayambe está dominado por áreas naturales de PANE (Patrimonio de áreas Naturales del Estado), páramos, arbustos y vegetación herbácea, que cubren el 64,09% de la superficie terrestre. Alrededor del 40% del territorio del estado está formado por páramos, que corresponde esencialmente al Parque Nacional Cayambe-Coca. El mapa de cobertura natural del suelo muestra predominantemente ecosistemas herbáceos con mínima intervención (53,97%), pero también muestra la presencia de ecosistemas arbustivos y herbáceos moderadamente alterados (22,43%).

La deforestación conduce a la pérdida de hábitats, la reducción de especies y la pérdida de fertilidad del suelo afecta a todo el ecosistema. Los monocultivos y las actividades agrícolas intensivas conducen a una disminución de los niveles de MOS (materia orgánica del suelo), lo que provoca su deterioro estructural (Cantú Silva y Yañez Díaz, 2018). Los mayores impactos se ven reflejados en la capa superior a profundidad de 30 cm, el contenido de C en el suelo depende de factores en el largo plazo y puede visualizarse a través de una alteración, degradación o mejoramiento debido a cambios en el uso y manejo de suelos (Cantú Silva y Yañez Díaz, 2018).

Este estudio se realizó en el cantón Cayambe, en la parroquia de Juan Montalvo, en los humedales pertenecientes al páramo de Sayaro en el parque Nacional Cayambe; se analizaron

muestras de suelo para determinar la cantidad de materia orgánica y carbono orgánico presente en tres zonas con distinto nivel de intervención y condiciones. Y con estos datos determinar el potencial de captura de carbono en estos páramos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El área de estudio se ubica en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe, a una altitud de más de 2.700 m. s.n.m.; en la parroquia de Juan Montalvo, en la zona de Hato Espiga de Oro, dentro de la que se alberga el Páramo Sayaro (Gadip-Cayambe, 2019).

El páramo de Sayaro se encuentra en el volcán Cayambe por lo que cuenta con un clima usualmente frío con temperaturas que varían entre los 8.2°C y 13.4°C; y una media de precipitaciones mensuales de 100 mm, a la que se atribuye la gran humedad de sus suelos. La vegetación de páramo es en su mayoría arbustiva y herbácea que constituyen la cobertura vegetal que incide en gran parte a la descomposición de la materia orgánica y por consiguiente a la cantidad de carbono en el suelo (Gadip-Cayambe, 2019).

A pesar de que la zona de estudio se encuentra en un área protegida dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca, en esta zona se puede apreciar cambio de uso de suelo debido a las actividades ganaderas de la comunidad y habitantes de esta zona (Gadip-Cayambe, 2019).

Selección de puntos de muestreo en campo

Para la selección de los puntos de muestreo; se escogieron tres zonas distintas basadas en su nivel de intervención de actividades antropogénicas, en específico pastoreo de ganado vacuno: **zona 1** sin intervención, **zona 2** intervención media, **zona 3** mucha intervención.

Descripción de cada zona de estudio

Zona 1 (sin intervención): con una altitud entre los 3727 m.s.n.m. y 3746 m.s.n.m., vegetación arbustiva combinada con estipa y almohadilla, no se evidencia la presencia de intervención de tipo antropogénica, el suelo presenta gran cantidad de raíces y abundante humedad. Como se observa en la figura 1.

Zona 2 (intervención media): altitud entre los 3604 a 3611 m.s.n.m., la vegetación en su mayoría es pasto, con poca intervención en su mayoría por ganado vacuno por lo que presenta compactación, y el suelo con gran cantidad de piedras, y ceniza. Como se observa en la figura 2.

Zona 3 (alta intervención): Esta zona con altitud de 3509 a 3562 m.s.n.m.; tiene una vegetación en su mayoría de almohadilla, se aprecia mayor intervención antropogénica lo que se evidencia en los cercados colocados, suelos de color negro, con gran presencia de lombrices. Como se observa en la figura 3.



FIGURA 1
Zona sin intervención



FIGURA 2
Zona con intervención media



FIGURA 3
Zona con intervención alta

Recolección de muestras

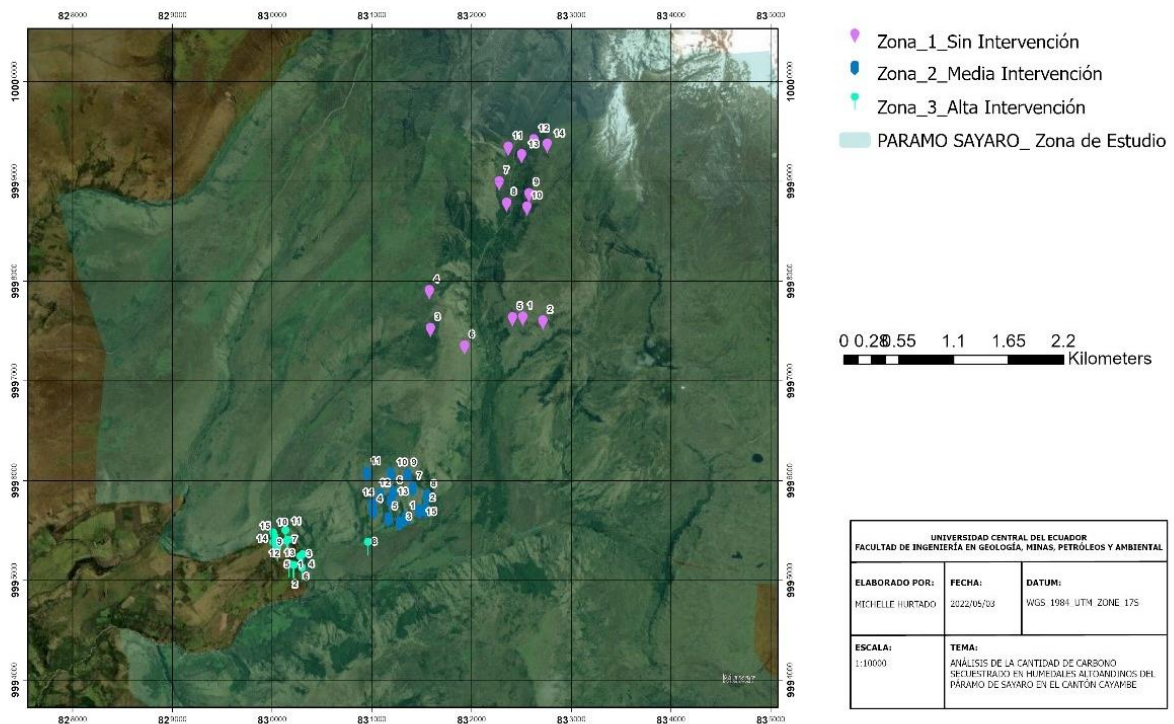


FIGURA 4

Ubicación de puntos de muestreo, zona sin intervención de color lila, zona de mediana intervención de color azul y zona de alta intervención de color verde claro

Para la toma de muestras se usaron los criterios determinados para la metodología del Registro oficial 387 (Art. 4.5.1. De la toma de muestras para caracterización de suelos) (Ministerio del Ambiente, 2015) por lo que se tomaron 15 muestras por zona (Ver Figura 4).

Procedimiento de muestreo

- Identificación *in-situ* de las zonas para el muestreo según su accesibilidad.
- Elección de puntos al azar y georreferenciación.
- Eliminación de cobertura vegetal con ayuda del barrenador cilíndrico con una profundidad de 10 cm aproximadamente.
- Toma de muestras con el cilindro muestreador a 30 cm de profundidad y colocación en una zona plana para realizar el cuarteo.
- Limpieza de muestra retirando piedras y raíces de la muestra. Se procede con técnica de cuarteo a homogenizar las submuestras hasta obtener un total de aproximadamente 1 kg de la muestra ya homogenizada.
- Almacenamiento de las muestras en fundas ziploc debidamente etiquetadas para su posterior traslado a los laboratorios de la FIGEMPA para los análisis respectivos y conservación (Ministerio del Ambiente, 2015).

Análisis en el laboratorio

Cuantificación de la materia orgánica

Para cuantificar la materia orgánica y el porcentaje de carbono en el suelo, se utilizó el método de Walkley & Black (1974) para las 45 muestras obtenidas, como se detalla a continuación:

- Se prepara la solución de dicromato de potasio 1 N(normal), para lo cual se disuelve 49.04 g del dicromato de potasio en agua destilada hasta el aforo de 1 litro
- Se procede a preparar la solución del sulfato amino ferroso (FAS) 0,6 N, para lo cual se disuelve 196.1 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 800 ml de agua destilada, luego se agrega 20 ml de H_2SO_4 concentrado y se lleva la disolución al aforo de un 1 litro.
- Con las dos soluciones preparadas, se procede a pesar entre 0,3 y 0,5 gramos de muestra seca y triturada con anterioridad.
- La muestra ya pesada se coloca en un matraz Erlenmeyer de 500 ml y se adiciona 10 ml de dicromato de potasio junto con 10 ml de H_2SO_4 concentrado y se agita el matraz hasta que se incorporen las soluciones.
- La solución anterior obtenida se deja reposar por 20 minutos, pasado este tiempo se procede a adicionar 170 ml de agua destilada con 10 ml de ácido fosfórico al 85% y 5 gotas de 1-complejo ferroso-10-fenantrolina.
- La solución se coloca en el agitador magnético y se procede a titular con la solución preparada anteriormente de FAS hasta que el color de la solución cambie de un tono anaranjado a verde y por último a rojo vino. Se registra el dato de la cantidad de FAS utilizado.
- Para obtener el blanco se realiza el mismo procedimiento anterior, pero sin muestra, estandarizada de sulfato amino ferroso (FAS).
- Posteriormente se procede a calcular el % de carbono y de materia orgánica usando las ecuaciones 1 y 2.

Cálculo de la materia orgánica

$$\%C = \frac{(B-S) * N * 12 * 100}{g \text{ de suelo} * 4000} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

%C= Porcentaje de carbono en el suelo (%)

B= Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco. (ml)

S= Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra (ml)

N= Normalidad del dicromato de potasio empleado en la muestra y el blanco (0,5)

g= masa del suelo (g)

$$\%MO = \%C * \frac{1,72}{0,58} \quad \text{Ec. 2}$$

%MO= Porcentaje de materia orgánica en el suelo

Cálculo de Carbono orgánico en t/ha

Para transformar de porcentaje de carbono (%C) a toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), se utilizó las siguientes fórmulas (Torres, 2016) (Ver Ecuación 3 y 4).

$$Pss = Da * Pm * 10000 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

Pss= Peso seco del suelo en t/ha

Da= Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Pm= Profundidad del muestreo

10000 m^2 equivale a 1 ha

$$CC = \frac{\%C}{100} * Pss \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

CC= Contenido de carbono t/ha

%C= Porcentaje de carbono

Pss= Peso seco del suelo en t/ha

Granulometría

Para la granulometría utilizamos el método sugerido por la norma ASTM internacional C136- 01 (Statements y Size, 2011). Se realizaron un total de 45 muestras.

- Se seca las muestras de suelo obtenida en el campo, en una estufa a una temperatura de 102.5°C y se tritura de ser necesario.
- Se procede a pesar la muestra seca y se registra
- Se elige una combinación de un total de 9 mallas más la base, empezando por la N°4, que irá en la parte superior de la torre y colocamos las mallas en orden de tamaños de la más pequeña a la más grande.
- Se coloca la muestra pesada que se obtuvo en la torre de mallas y se lleva a la tamizadora al menos 10 minutos.
- Luego se pesa la cantidad de muestra retenida en cada una de las mallas, registrando los datos en cada caso incluido la base.

Cálculo de la granulometría

Para el cálculo de la granulometría se utilizó la ecuación 5 (Duque y Escobar, 2016):

$$\%Retenido = \frac{\text{Cantidad retenida de una malla}}{\sum \text{cantidad retenida de todas las mallas}} \quad \text{Ec. 5}$$

%acumulado = %acumulado de la malla anterior + % retenido de la malla actual

%Pasante = 100 – % acumulado de una malla

Según González (2014) el coeficiente de uniformidad mide qué tan uniforme es la muestra. Se considera que un suelo con C_u inferior a 4 es mal gradado, un C_u superior a 4 es bien gradado y C_u igual a 1 corresponde a que todas las partículas tienen el mismo tamaño. Este coeficiente se calcula por medio de la siguiente fórmula (Ecuación 6):

$$cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

D_{60} es el diámetro para el cual el 60% de las partículas son más finas

D_{10} es el diámetro para el cual el 10% de las partículas son más finas

Según González (2014), en el coeficiente de curvatura de la curva granulométrica, cuando el coeficiente está dentro del rango 1 y 3 los suelos se consideran bien gradados. Cuando el coeficiente está por fuera del rango, la curva granulométrica es rara, es decir, que tiene saltos o cambios fuertes de pendiente lo que indica que hay ciertos valores de diámetro que predominan frente a otros.

La ecuación para el coeficiente de la curvatura es (Ver ecuación 7):

$$Cv = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

D_{30} es el diámetro para el cual el 30% de las partículas son más finas

D_{10} es el diámetro para el cual el 10% de las partículas son más finas

D_{60} es el diámetro para el cual el 60% de las partículas son más finas

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la cantidad de carbono y materia orgánica se presentan en las figuras 5, 6 y 7.

Zona sin intervención

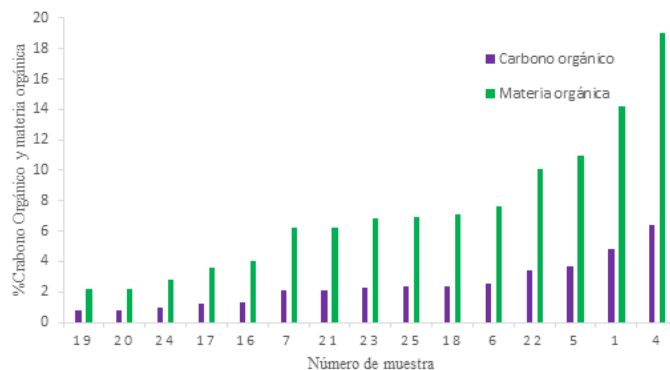


FIGURA 5

Porcentaje de carbono y materia orgánica de la zona sin intervención.

Se encuentra en un rango entre 0.75% y 6.40%

Zona con media Intervención

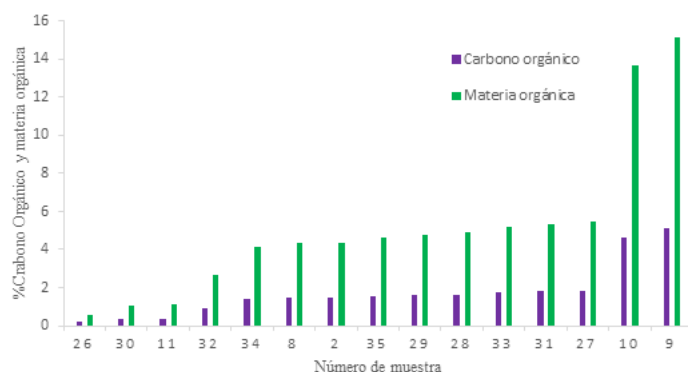


FIGURA 6

Porcentaje de carbono y materia orgánica de la zona con media intervención.
Se encuentra en un rango entre 0.20% y 5.10%

Zona con alta Intervención

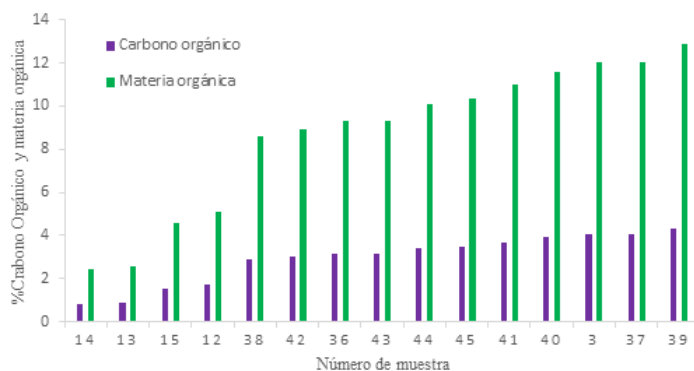


FIGURA 7

Porcentaje de carbono y materia orgánica de la zona con alta intervención.
Se encuentra en un rango entre 0.83% y 4.35%

Medias del porcentaje de carbono y materia orgánica

TABLA 1

Medias del porcentaje de carbono orgánico en cada zona

Zona	Máximos %	Máximos tC/ha	Mínimos %	Mínimos tC/ha	Media %	Media tC/ha	Desviación Estándar
Sin Intervención	6,40	163,20	0,75	5,40	2,47	44,06	1,57 %
Media Intervención	5,10	117,10	0,20	2,88	1,74	28,05	1,38 %
Alta Intervención	4,35	54,81	0,83	4,46	2,94	35,67	1,16 %

TABLA 2
Medias del porcentaje de carbono orgánico en cada zona

Zona	Máximo %	Mínimo %	Media %	Desviación Estándar
Sin Intervención	18,98	2,22	7,34	4,67
Media Intervención	15,12	0,59	5,15	4,09
Alta Intervención	12,90	2,45	8,72	3,44

Granulometría del suelo

Zona sin Intervención

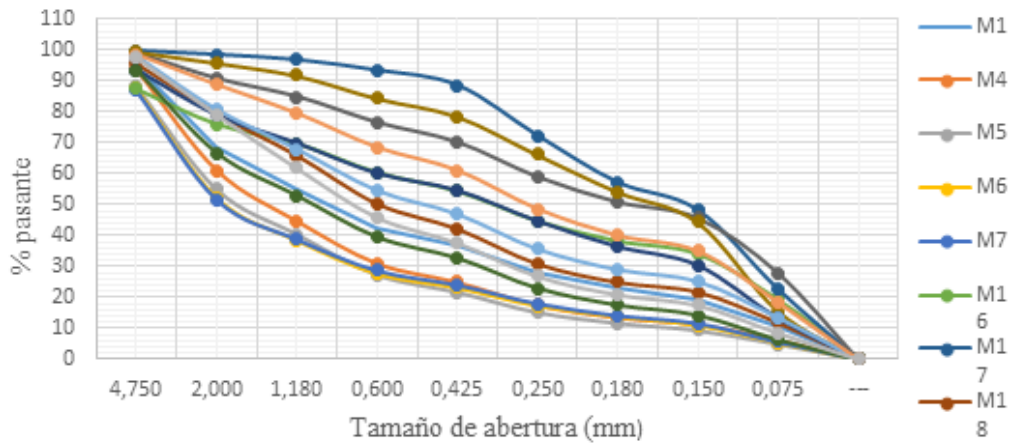


FIGURA 8
Curvas granulométricas de la zona sin intervención

Zona con media Intervención

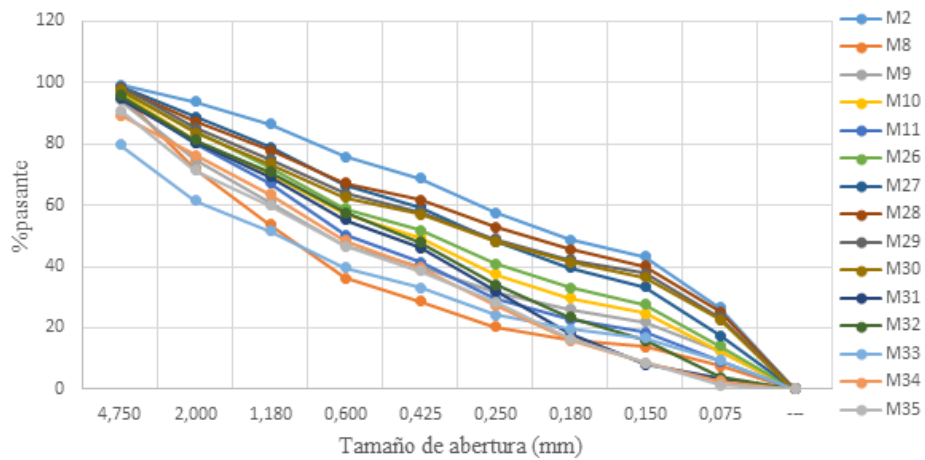


FIGURA 9
Curvas granulométricas de la zona con media intervención

Zona con alta Intervención

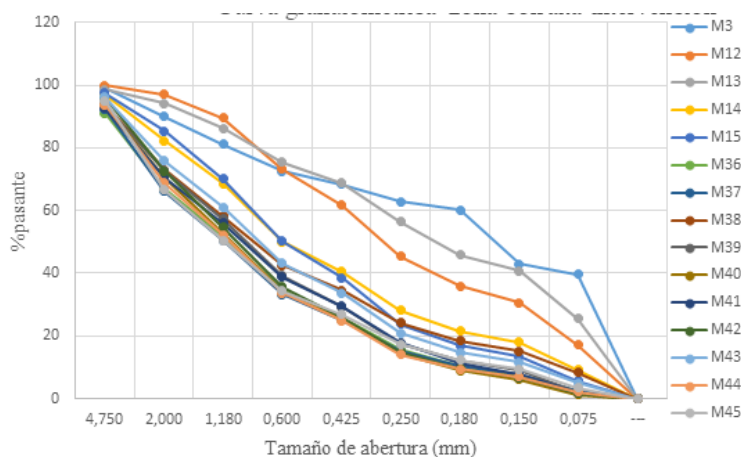


FIGURA 10

Curvas granulométricas de la zona con alta intervención

Medias de coeficientes de uniformidad y curvatura

TABLA 3

Promedios de coeficientes de uniformidad y curvatura

Zona	cu	Descripción	cv	Descripción
Sin intervención	13,552	Poco uniforme	1,026	Bien gradado
Media Intervención	11,885	Poco uniforme	0,752	Mal gradado
Alta Intervención	9,203	Poco uniforme	0,964	Mal gradado

DISCUSIÓN

Carbono orgánico

En la tabla 1 y en las figuras 5, 6, 7 se observan los porcentajes obtenidos de las tres zonas. Para la zona sin intervención hablando del carbono orgánico se tiene un mínimo de 5,40 tC/ha equivalente a 0,75%, un máximo de 163,20 tC/ha equivalente a 6,40% y una media de 44,06 tC/ha equivalente a 2,48%; en la zona con media intervención se tiene un mínimo de 0,20% que corresponde a 2,88 tC/ha, un máximo de 5,10% que corresponde a 117,10 tC/ha y una media de 1,74% que corresponde a 28,05 tC/ha; en la zona de alta intervención tenemos un mínimo de 0,83% que corresponde a 4,46 tC/ha, un máximo de 4,35% que corresponde a 54,81 tC/ha y una media de 2,94% que corresponde a 35,67 tC/ha (Hurtado, 2022).

Se obtuvo una desviación estándar con valores de 1,57% en la zona sin intervención; 1,38% en la zona de mediana intervención y 1,16% en la zona con alta intervención; que nos refleja que los valores son casi homogéneos y con una variabilidad muy pequeña.

Según Llambí et al. (2012) los páramos más jóvenes contienen entre 2 y 10% de carbono orgánico (3,5-10 kg/m²), concentraciones similares a las de los páramos más secos. Por lo tanto, el páramo Sayaro puede ser considerado un páramo joven; y tanto las áreas no perturbadas como las altamente perturbadas caen dentro de estos rangos de concentración; mientras que en la zona intermedia contiene un porcentaje ligeramente inferior al que se encuentra en estos suelos.

En un estudio realizado por Castro y Tapuy (2022) en una zona de páramo que se encuentra en la microcuenca Sicalpa, en el cantón Colta específicamente en la parroquia Villa La Unión, se obtuvo que el porcentaje de carbono orgánico del suelo en una zona de páramo natural, contiene una media de 4,88%, relacionada con la media de este estudio de 2,48%; en la zona de pastoreo se obtuvo datos de carbono orgánico un promedio de 1,75% comparado con este estudio que el promedio es de 1,74% y en la zona de cultivo donde existe mayor intervención tenemos valores de 2,84% que en comparación al estudio es de 2,94%, se observa que existe una pequeña variación en la zona natural de paramó con la zona del páramo de Sayaro sin intervención de este estudio, esto puede deberse a que las zonas se encuentran a pocos kilómetros del volcán Cayambe y están cubiertas de nieve, además se observó además la presencia de ceniza, lo que indicara una menor cantidad de carbono orgánico en el suelo. Por otro lado, se trata de un suelo joven con porcentaje de carbono menor.

Materia Orgánica

En cuanto a la materia orgánica en la tabla 2 y figuras 5, 6, 7 se evidencia que, en la zona sin intervención los valores se encuentran en un rango entre 2,2% a un máximo de 18,98% y una media de 7,34%; en la zona de media intervención tenemos un mínimo de 0,59%, un máximo de 15,12% y una media de 5,15 %; y en la zona de alta intervención tenemos un mínimo de 2,45%, un máximo de 12,90%, y una media de 8,72%.

La desviación estándar tiene valores de 4,67% en la zona sin intervención; 4,09% en la zona con media intervención y 3,44% en la zona con alta intervención; que indica valores heterogéneos, pero con variabilidades bajas (Hurtado, 2022).

En el estudio realizado por Pazmiño (2020) en el páramo de Navag en la provincia de Chimborazo, obtuvieron en una zona con intervención de valores promedios de materia orgánica de 14,51% para una profundidad entre 0-30 cm y un valor promedio de 12,27% para una profundidad de 30-60 cm, mientras que en el estudio de Sayaro fueron de un promedio de 8,72% en la zona con mayor intervención y 5,15%. Lo que permite concluir que la profundidad es un factor para considerar al cuantificar la materia orgánica. En la zona de mediana intervención existe una gran diferencia de valores, que se puede atribuir a la presencia de Navag se obtuvieron valores de 17,11% para una profundidad de 0-30 cm y un promedio de 14,04% en una profundidad de 30-60 cm. Mientras que en Sayaro, se obtuvo un valor promedio de 7,34%. La diferencia se puede atribuir a que el páramo de Sayaro se encuentra en una zona glacial a pocos kilómetros del volcán Cayambe, disminuyendo la cantidad de cobertura vegetal por las bajas temperaturas.

TABLA 4
Medias del porcentaje de carbono orgánico en cada zona

Porcentajes (%) de materia orgánica en el suelo			
	Bajo	Medio	Alto
Frío	menor de 5	5-10	más de 10
Templado	menor de 3	3-5	más de 5
Cálido	menor de 2	2-3	más de 3

Materia orgánica en los agrosistemas, por Labrador Juana, 1996, España

Granulometría

En las figuras 8, 9 y 10 se observan las curvas granulométricas de cada una de las zonas con distinta intervención, las curvas tienen una forma y curvatura que indica suelo de grano fino, de textura franco, limoso, arcilloso. En la tabla 4 de porcentajes de materia orgánica de cada suelo, en la tabla 3 se observa que el coeficiente de uniformidad de las tres zonas tiene una variación de dos unidades aproximadamente en cada una de ellas con: 13,55 para la zona sin intervención; 11,88 en la zona de media intervención y 9,22 para la zona de alta intervención valores catalogados como poco uniformes granulométricamente.

CONCLUSIONES

En el estudio de Sayaro se determinan tres zonas de estudio diferenciadas por la intervención antrópica en cada una de ellas: zona 1 sin intervención, zona 2 con mediana intervención y zona 3 de alta intervención, se realizan 15 muestreos de suelos en cada una de ellas, para establecer los valores de carbono orgánico y el tipo de granulometría de estos. Al aplicar en el laboratorio el método de Walkley y Black y al procesar la información se establece carbono orgánico con la siguiente variación: En la zona sin intervención con un promedio de 44,06 t/ha; en la zona de media intervención un promedio de 28,05 t/ha y en la zona con una alta intervención un promedio de 35,67 t/ha. La primera y tercera zonas, presentan valores más altos de carbono, atribuidos a la mayor cantidad de materia orgánica, no así en la segunda zona donde la presencia de ceniza volcánica incide para la menor cantidad de secuestro de carbono.

El porcentaje de materia orgánica se encuentra en un nivel medio en climas fríos en las tres zonas con valores entre 5,15% a 8,72% en sus medias. Se identificó que en las zonas sin intervención existe gran cantidad de humus por la vegetación abundante, y en cambio en la zona de alta intervención se debe a la presencia de excrementos del ganado vacuno y de las lombrices que aumentan la materia orgánica.

Existió dificultad para la comparación con otros estudios, debido a que en general en el Ecuador y otros países no existen estudios con la misma metodología y parámetros que se usó en el

presente. Por lo cual es necesario se realicen más análisis en suelos de páramos con características similares.

REFERENCIAS

- Cantú Silva, I. y Yañez Díaz, M. I. (2018) Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45) doi: 10.29298/rmcf.v9i45.138
- Cerri, C., Cherubin, M., Damian, J., Mello, F., y Lal, R. (2021) Secuestro de Carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: Potencial y oportunidad para los países de las Américas, 8.
- Castro, J. y Tapuy, Y. (2022) *Efecto del cambio de uso del suelo de páramo a cultivo y pasto sobre fracciones orgánicas en la microcuenca Sicalpa*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Dupar, M. (2020) El Informe Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra ¿Qué significa para América Latina? *Ipcc*.
- Duque, G. y Escobar, C. (2016) Estructura del suelo y granulometría. *Geomecánica*, pp. 57. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gadip-Cayambe, Municipio (2019) Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial Cantón Cayambe 2020-2030. *GADIP Municipio de Cayambe*, 15.
- González, K. (2014) *Análisis Granulométrico de un material Poroso*. Universidad de Los Andes, Bogotá.
- Guillén, A., Herrera, W., Motta, P., Rojas, E., y Silva, D. (2019) *Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia*. Caqueta.
- Hurtado, M. (2022) *Análisis de la cantidad de carbono secuestrado en humedales altoandinos del páramo de Sayaro en el cantón Cayambe*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Lazo, P.X., Mosquera, G.M., McDonnell, J.J. y Crespo, P. (2019) The role of vegetation, soils, and precipitation on water storage and hydrological services in Andean Páramo catchments. *Journal of Hydrology*, 572, 805-819. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.03.050
- Llambí, L., Soto, A., Borja, P., Ochoa, B., Celleri, R., y Bievre, B. (2012) *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos*. *Los suelos del Páramo*.
- Ministerio del Ambiente (2015) Registro Oficial 387 - AM 140. *Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)*
- Pazmiño, G. (2020) *Influencia de la intervención en los suelos del páramo de Navag-Chimborazo en el contenido de materia orgánica*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Statements, Bias y Testing Size (2011) Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*, (571)
- Thompson, J.B., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S. y 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). Doi: 10.1080/15230430.2021.1873055
- Torres, S. (2016) Protocolo para la cuantificación de carbono a nivel de ecosistema páramo y elaboración y calibración de ecuaciones alométricas para especies andinas. *FONAG*.
- Walkley, A., y Black, I. (1974) A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Science*, 63.