



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i2.1082>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

*Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva
Huayrapalte*

Carbon stored in the soil of two land use systems of the Huayrapalte Reserve

*Carbono armazenado no solo de dois sistemas de uso da terra da Reserva
Huayrapalte*

Miguel Ángel Guallpa-Calva ^I
miguel.guallpa@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5392-036X>

Oscar Bladimiro Guadalupe-Arias ^{II}
oscarbgaaa@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3683-080X>

Sonia Carmita Rosero-Haro ^{III}
scarmitarosero@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7678-0654>

Víctor Manuel Morocho-Lema ^{IV}
victormorocho@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2729-6214>

***Recibido:** 09 de octubre de 2019 ***Aceptado:** 11 de noviembre de 2019 * **Publicado:** 10 de diciembre de 2019

^I Magíster en Formulación, Evaluación y Gerencia de Proyectos para el Desarrollo, Magíster en Manejo Forestal Sostenible, Ingeniero Forestal, Tecnólogo Agroforestal, Docente en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^{II} Magíster en Administración Ambiental, Ingeniero Forestal, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^{III} Magíster en Proyectos de Desarrollo e Inversiones Rurales, Ingeniero Agrónomo, Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

^{IV} Ingeniero Forestal, Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Participativo del Cantón Suscal, Cañar, Ecuador.

Resumen

La investigación propuso determinar el color, textura, estructura, densidad aparente y los contenidos de carbono orgánico en el suelo, aplicando un arreglo factorial de tratamientos 3x3, mediante un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones por estrato en pastizal y bosque nativo, para tres altitudes a los 3100, 3200 y 3300 msnm., y tres profundidades de entre 0-10 cm, de 10-20 cm, y de 20-40 cm. Se estableció cuatro parcelas de 20 x 20 m en cada altitud considerada en el estudio. La estimación del carbono orgánico del suelo, mediante el método de pérdida por ignición. Según los resultados, el color en los perfiles del suelo de pastizal y bosque, en las tres profundidades de estudio, mostraron una variación mínima en la gama de colores, estructura suelta, textura franco-arenosa a excepción de la profundidad 20-40 cm en suelo de bosque tipificado de textura arena franca, la densidad aparente con valores entre 0,93-1,10 g•cm³-1. Finalmente, el contenido de carbono es mayor de 20-30 cm en el suelo de pastizal, con el 21.64 % superior al valor de 126,42 tCha-1 del bosque a la misma profundidad.

Palabras claves: Carbono; cambio climático; color del suelo; altitud.

Abstract

The research proposed to determine the color, texture, structure, apparent density and organic carbon content in the soil, applying a factorial arrangement of 3x3 treatments, using a randomized complete block design (RCBD) with four repetitions per stratum in grassland and native forest, for three altitudes at 3100, 3200 and 3300 meters above sea level, and three depths between 0-10 cm, 10-20 cm, and 20-40 cm. Four plots of 20 x 20 m were established at each altitude considered in the study. The estimation of the organic carbon of the soil, by the method of loss by ignition. According to the results, the color in the grassland and forest soil profiles, in the three depths of the study, showed a minimal variation in the range of colors, loose structure, loamy sand texture except for the depth 20-40 cm in forest soil typified with frank sand texture, the apparent density with values between 0.93-1.10 g • cm³-1. Finally, the carbon content is greater than 20-30 cm in the grassland soil, with 21.64% higher than the value of 126.42 tCha-1 of the forest at the same depth.

Keywords: Carbon; climate change; soil color; altitude.

Resumo

A pesquisa propôs determinar a cor, textura, estrutura, densidade aparente e teor de carbono orgânico no solo, aplicando um arranjo fatorial de tratamentos 3x3, utilizando um delineamento em blocos casualizados (DBCA), com quatro repetições por estrato em pastagens e floresta nativa, por três altitudes a 3100, 3200 e 3300 metros acima do nível do mar e três profundidades entre 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Quatro parcelas de 20 x 20 m foram estabelecidas em cada altitude considerada no estudo. A estimativa do carbono orgânico do solo, pelo método da perda por ignição. De acordo com os resultados, a cor nos perfis das pastagens e do solo da floresta, nas três profundidades do estudo, mostrou uma variação mínima na variedade de cores, estrutura solta, textura da areia argilosa, exceto na profundidade de 20 a 40 cm Solo de floresta tipificado com textura franca da areia, densidade aparente com valores entre 0,93-1,10 g • cm³-1. Finalmente, o teor de carbono é superior a 20-30 cm no solo das pastagens, com 21,64% superior ao valor de 126,42 tCha-1 da floresta na mesma profundidade.

Palavras chaves: Carbono; mudança climática; cor do solo; altitude.

Introducción

El callejón interandino se caracteriza por poseer suelos de origen volcánico que constituyen menos del 1% de la superficie terrestre, presentando elevada capacidad de retención de humedad, baja densidad aparente, alto contenido de carbono orgánico que los diferencian de los suelos originados a partir de otros materiales (Gaitán y López, 2007). Dentro de América del Sur los bosques montanos de los Andes, se extienden por varios países como Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Venezuela. Cuya importancia radica en que son reservorios de biodiversidad y su fundamental rol en la provisión de diferentes servicios eco sistémicos en la región (Anderson et al., 2011; Balvanera, 2012). Principalmente vinculados al agua, regulación climática regional, la captura y almacenamiento de carbono; son catalogados ecosistemas frágiles y estratégicos por estar situados en zonas de recarga de cuencas hidrográficas que proveen agua que benefician a más de 40 millones de personas en Bolivia, Ecuador y Perú (Cuesta et al., 2009).

La cantidad de carbono en el suelo obedece a sus características y al equilibrio entre las tasas de entrada de carbono orgánico de origen vegetal y animal, y las de salida, resultantes del metabolismo microbiano que genera CO₂. Como las tipologías de los suelos son diversas, hay que tomarlas en

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

cuenta en los balances que determinan las cantidades de carbono orgánico en el suelo (COS), sumando a ello la influencia del clima y las prácticas de manejo adoptadas (Docampo, 2010).

Siendo fundamental, la medición y el monitoreo de carbono en ecosistemas de alta montaña, es un importante tópico de investigación actual en respuesta al cambio climático. Particularmente, es pertinente su cuantificación para disponer datos requeridos en las negociaciones que permitan reducir las emisiones de gases efecto invernadero vinculadas a un inadecuado manejo forestal (REED+) (Goetz y Dubayah, 2011).

En este sentido la Reserva Huayrapalte, que se localiza en la zona alta del cantón Suscal, posee pendientes muy pronunciadas, formada por áreas de pastizal, cultivos agrícolas, sistemas agroforestales y un bosque nativo que aloja una diversidad de flora y fauna.

Sin embargo, sus suelos son más frágiles, que por su forma y ubicación el manejo de estos se vuelve más complicado provocando que los suelos se estén erosionando debido al sobre pastoreo, uso de técnicas y tecnologías agropecuarias inapropiadas que afecta la estructura del suelo, produciendo la compactación del mismo y por lo tanto disminuyendo su capacidad de permeabilidad, lo cual redundaría en la sostenibilidad de los recursos naturales.

Adicionalmente el bosque de la reserva cuenta con fuentes hídricas, las mismas que abastecen de agua para riego y consumo de los pobladores cercanos al recurso. La conservación de estas áreas se enmarca dentro del estado semi-intervenido.

Ante esta realidad el Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Participativo del Cantón Suscal (2014) apoyó realizar la presente investigación sobre estimación de contenido de carbono almacenado en suelos de pastizal y bosque. Se sabe que el carbono orgánico está ligado integralmente a muchos indicadores de calidad del suelo y es posiblemente el indicador más importante de la calidad y la productividad del suelo (Reeves, 1997), el mismo que puede verse alterado dependiendo si existe o no el desarrollo de actividades antrópicas (Bravo, Arboleda, y Martín, 2014). Por ello la información del estado actual de dos sistemas de uso de la tierra: pastizal y bosque, las mismas que oriente a mejorar en la planificación del uso, la ocupación de los suelos de la reserva con énfasis en el manejo sostenible y la conservación sistemas evaluados. Son los aspectos que sustentaron el desarrollo de esta investigación, por ende, los objetivos del presente trabajo fueron: Caracterizar los suelos de pastizal y bosque nativo mediante cuatro propiedades físicas; y cuantificar el potencial de carbono orgánico que estaría almacenado en los suelos en

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

estudio, con el fin de entender el aporte de los dos sistemas de uso de la tierra en la reserva Huayrapalte.

Referencial teórico

Los suelos en mayor o menor proporción pueden aportar a los esfuerzos tendientes a disminuir el cambio climático, porque cuantitativamente es el segundo sumidero de carbono en la naturaleza, solo precedido por los océanos (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

El contenido de carbono en el suelo obedece a sus atributos y al equilibrio entre las tasas de entrada de carbono orgánico de origen vegetal y animal, y las de salida, resultantes del metabolismo microbiano que genera CO₂. Como las tipologías de los suelos son diversas, se deben tomarlas en cuenta en los balances que determinan las cantidades de carbono orgánico en el suelo (COS), sumando a ello la influencia del clima y las prácticas de manejo adoptadas (Docampo, 2010). En tal sentido, las características físicas de los suelos, y su comportamiento están influenciadas por el uso y las prácticas de manejo, cuyo monitoreo se infiere al valorar la estructura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, entre otros. Por tanto, se debe utilizar, los métodos aplicables para predecir el comportamiento físico del suelo, estos proveerán información muy útil para fines de diagnóstico que sustenten las prácticas de manejo, mitigar procesos de degradación, la recuperación y conservación del suelo, elección de maquinaria agrícola, determinación de riegos, drenajes y en general a seleccionar todas aquellas labores que mantienen productivo el recurso suelo (Bravo, 2014)

De modo que el manejo del suelo puede direccionar su rol en las circunstancias del cambio climático, al afectar sus contenidos de carbono. Por eso, en el mundo de hoy se busca que unas apropiadas prácticas silvícolas y agrícolas recuperen y mantengan la potencialidad de los suelos e influyan al tiempo en la cantidad de carbono que estos puedan almacenar (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

Siendo importante la medición y el monitoreo de carbono en ecosistemas de alta montaña se ha tornado un importante tópico de investigación actualmente en respuesta al cambio climático. Particularmente, es importante su cuantificación y disponer datos para las negociaciones que permitan reducir las emisiones de gases efecto invernadero vinculadas a un inadecuado manejo forestal (REED+) (Goetz y Dubayah, 2011).

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en la parte alta del bosque nativo y pastizal de reserva Huayrapalte, situada en el cantón Suscal, provincia de Cañar, a una altitud que va desde 3100 – 3300 msnm., la precipitación anual es 1500 mm, siendo la temperatura media 12°C y una humedad relativa media de 77,50 %. Datos de la Estación Suscal (EMS_Suscal_2014). El área de pastizal es de 11. 28 ha y el bosque tiene una superficie de 78.82 ha, se categorizan dentro de la formación: Bosque siempre verde montano alto intervenido (MAE, 2012). El pastizal se caracteriza por la dominancia de especies forrajeras como: Calamagrostis intermedia, Lolium perenne y Dactylis glomerata, entre otros pastos de altura, destinados a pastoreo de ganado vacuno principalmente y en menor cantidad a la crianza de cuyes en la zona.

La composición arbórea del bosque nativo en estudio está conformada por 194 individuos con diámetro mayores a 10 cm de DAP que pertenecen a 11 familias, 11 géneros, las familias más diversas son: Myrtaceae, Myricaceae, Clusiaceae y Proteaceae, donde la mayoría de las especies arbóreas están en una clase diamétrica de 30 -50 cm y las familias son Myricaceae, Myrtaceae, y Rosaceae (Morocho, 2015).

La estimación a partir del muestreo reportó 388 árboles y 168 arbustos dando un total de 566 individuos ha⁻¹, dato que indica una condición de muy ralo para el caso de bosques andinos.

Geográficamente los dos sistemas de uso de la tierra, se ubican en los puntos de referencia: UTM Zona 17S Datum WGS 84 (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación de las áreas de pastizal y bosque en estudio a 3300 msnm

Pastizal		Bosque	
X	719632	X	718464
Y	9731399	Y	9731784
Z	3300 msnm	Z	3300 msnm

En la investigación se aplicaron los métodos: documental, experimental, explicativo y de campo (Calvache, 2016).

Diseño y fase de muestreo

Se estableció un arreglo factorial de tratamientos 3x3 bajo un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones por estrato para pastizal y bosque nativo, cuyos factores fueron

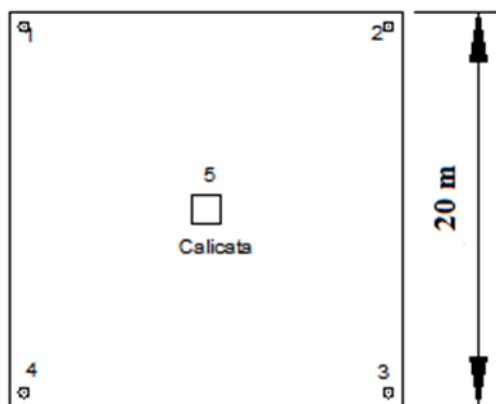
Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

altitud y profundidad.

Para el levantamiento de información en campo se instaló 4 parcelas de forma cuadrada con una dimensión de 20 x 20 m (Figura 1) cada 100 m de altitud desde 3100-3300 msnm., con un total de 12 parcelas por sistema. Para el muestreo de contenido de carbono en el suelo se estableció cinco puntos, distribuidos en el centro y en cada extremo de sus cuatro vértices (FAO, 2006), donde se recolectaron muestras a tres profundidades: entre 0-20 cm, de 20-30 cm, y de 30-40 cm. En el punto central de la parcela se realizó la excavación de una calicata para observar el color, la textura, y estructura. Para los puntos de muestreo ubicados en los vértices se recolecto 4 muestras simples de suelo profundidad-1 con el barreno espiral, entre 0 a 20 cm, 20 a 30 cm y 30 a 40 cm., que al mezclar se obtuvo 9 muestras compuestas tipo por sistema.

El muestreo del componente edáfico tuvo lugar en el primer semestre del 2017.

Figura 1: Tamaño de parcela y ubicación de calicata dentro de la misma



Fase de laboratorio

La caracterización física de los suelos: color en seco y en húmedo (Munsell), textura (hidrómetro), estructura (estabilidad de los agregados), la densidad aparente en $\text{g}\cdot\text{cm}^3^{-1}$ (cilindro graduado). La estimación del Carbono Orgánico del suelo (COS), por el método de pérdida por ignición y las propiedades físicas indicadas se determinó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (LSFRN - ESPOCH).

Para la extrapolación del contenido de carbono a valores por ha, se utilizó la siguiente ecuación (Calderón et al., 2001):

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

$$CC = FC * DA * P * A$$

Dónde:

CC = Carbono contenido en el suelo (tCha-1)

FC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g•cm³-1)

P = Profundidad de muestreo en cm

A = Área o superficie de estudio (ha, m²)

Análisis estadístico

Se probó el comportamiento normal de la variable, contenido de carbono orgánico del suelo (COS), al verificar que, si se cumple el supuesto de normalidad, se aplicó el análisis de varianza (ADEVA) en el programa INFOSTAT (Balzarini et al., 2008). Para comparar las medias de los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey (p=0.05).

Resultados y discusión

Los resultados que se muestran son de carácter preliminar y corresponden a los primeros 40 cm de profundidad del perfil del suelo.

Características físicas del Suelo

En la Tabla 2, se describen las características físicas de los suelos de pastizal y bosque de los dos sistemas de uso de la tierra analizados.

Tabla 2. Características físicas de los suelos de pastizal y bosque

Tipo de sistema	Altitud (msnm)	Profundidad (cm)	Color en seco	Color en húmedo	Textura	Estructura	Densidad aparente (gcm ³ -1)
Pastizal	A1 3100	0 - 20	10 YR 3/3	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.00
		20 - 30	10 YR 3/3	10 YR 3/1	Fa	Suelta	0.95
		30 - 40	10 YR 3/2	10 YR 3/1	Fa	Suelta	1.03
	A2 3200	0 - 20	10 YR 4/3	10 YR 3/2	Fa	Suelta	1.08
		20 - 30	10 YR 4/3	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.10
		30 - 40	10 YR 4/3	10 YR ¾	Fa	Suelta	1.10
	A3 3300	0 - 20	10 YR 4/3	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.03
		20 - 30	10YR ¾	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.08
		30 - 40	10 YR 4/4	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.05
Bosque	A1	0 - 20	10 YR 3/2	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.03

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

3100	20 - 30	10 YR 3/3	10 YR 2/2	Fa	Suelta	1.08
	30 - 40	10 YR 4/3	10 YR 2/2	Af	Suelta	1.00
A2 3200	0 - 20	10 YR 3/2	10 YR 3/1	Fa	Suelta	1.03
	20 - 30	10 YR 2/2	10 YR 2/1	Fa	Suelta	1.08
	30 - 40	10 YR 4/4	10 YR 2/1	Fa	Suelta	1.03
A3 3300	0 - 20	10 YR 2/2	10 YR 2/1	Fa	Suelta	0.93
	20 - 30	10YR 2/2	10 YR 3/1	Fa	Suelta	1.03
	30 - 40	10 YR 2/2	10 YR 2/1	Af	Suelta	0.93

10 YR 4/4 (Amarillento oscuro); 10 YR 4/3 (Pardo oscuro); 10 YR 3/3 (Pardo oscuro); 10 YR 3/2 (Pardo grisáceo muy oscuro); 10 YR 3/1 (Gris muy oscuro); 10 YR 2/2 (Pardo muy oscuro); 10YR ¾ Amarillento oscuro; 10 YR 2/1 (Negro); Fa= Franca arenosa; y Af=arena franca.

A las profundidades 0-20, 20-30 y 30-40 cm, el color en seco va desde 10 YR 2/2 (Pardo muy oscuro) hasta 10 YR 4/4 (Amarillento oscuro). Mientras que en húmedo presenta un color 10 YR 2/2 (Pardo muy oscuro) hasta 10 YR 2/1 (Negro) que se muestran en la Tabla 2. Estos resultados del color muestran el efecto de las sustancias resultantes de la descomposición de la materia orgánica, que se oxidan y adquieren una coloración oscura; por otra parte, algunas de estas sustancias pueden combinarse con sustancias minerales presentes en el suelo, procedentes de la mineralización de la materia orgánica (Jordán, 2006).

A las tres profundidades de 0-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm a una altitud de 3100 a 3300 msnm se aprecia similar condición textural franca arenosa, estructura suelta en los suelos de pastizal y bosque nativo, a excepción del suelo de bosque de 30-40 cm en donde se determinó una textura de arena franca con una estructura suelta a 3100 y 3300 msnm (Tabla 2).

La densidad aparente de los dos sistemas a una profundidad de 0-20 cm es 1.08 g•cm³-1, el de mayor valor a los 3200 y la menor con 0.93 g•cm³-1 a los 3300 msnm, en suelo de pastizal y de bosque, y de 20-30 cm a 3200 el suelo de pastizal presento una mayor densidad con 1,10 g•cm³-1 y la menor 0.95 g•cm³-1 a 3100 msnm, finalmente para la profundidad de 30-40 cm a 3200 y 3300 msnm es de 1.10 g•cm³-1 el mayor valor y menor con 0.93 g•cm³-1 en pastizal y bosque respectivamente (Tabla 2). Los valores obtenidos, son similares a los reportados en un estudio realizado en la comunidad San Pedro de Lluclud, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, en base al muestreo de suelos, de 0-30 cm de profundidad, ubicados entre los 3000 y 3600 msnm de altitud, donde se determinó una densidad aparente de 1.02 y 0.90 g•cm³-1 para suelos de pastos y

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

bosque (Ojeda, 2017). Cuyos valores son propios de suelos bien aireados, con buen drenaje, buena penetración de raíces y que varía según la textura, el contenido de materia orgánica, las condiciones de uso y manejo de los mismos (Casanova, 2005). Mismos que se insertan en el criterio ideal para el crecimiento del sistema radicular de especies vegetales (Bravo, 2014).

Contenido de carbono orgánico del suelo de pastizal

El ADEVA basado en la variable contenido de carbono en suelo de pastizal, mostró que el factor profundidad es altamente significativo ($p \leq 0.01$, Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza de la variable contenido de carbono en el suelo de pastizal

Tipo de sistema	F.V	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Pastizal	Repeticiones	3	2425.22	808.41	1.04	0.3947
	Altitud	2	1493.39	746.69	0.96	0.3985
	Profundidad	2	83846.72	41923.36	53.69	<0.0001
	Altitud *Profundidad	4	531.11	132.78	0.17	0.9516
	Error	24	18738.78			
	CV %		12,61			

La prueba de Tukey indica que el factor profundidad evidencia a la mayor reserva de carbono almacenado entre 20 -30 cm de profundidad, con 161.33 tCha-1, en contraste con el menor contenido de carbono localizado de 0 - 20 cm con 125.75 tCha-1 (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de la profundidad sobre el contenido de carbono en el suelo de pastizal

Profundidad (cm)	Medias (tCha ⁻¹)
20 -30	161.33 a
30 - 40	140.08 b
0 - 20	125.75 b

Medias seguidas por la misma letra, no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$).

El contenido de carbono en el suelo de pastizal (30-40 cm) en estudio resultó 17.71 % superior al

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

valor de 119 tCha-1 determinado en los primeros 40 cm de profundidad en el suelo con sistema de uso pastos naturales, Parque Nacional Manu en Perú (Castañeda y Montes, 2017). Si bien los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango 99 a 181 tCha-1 reportados en potreros de Oaxaca (Etchevers et al., 2002). En el presente estudio los predios son ocupados con pastizales en condiciones de minifundio dedicados al pastoreo de ganado vacuno, actividad que altera la asignación de recursos y la distribución de raíces en profundidad en base a su sistema de manejo, como ocurre refleja un menor contenido de carbono en el suelo, respecto a suelos con vegetación natural en referencia a otras investigaciones, debido al inadecuado manejo de la fertilización (Dercon et al., 2007).

Contenido de carbono orgánico del suelo de bosque

El contenido de carbono en suelo de bosque nativo, mostró un comportamiento altamente significativo para los factores: altitud y profundidad ($p \leq 0.01$, Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza de la variable contenido de carbono en el suelo de bosque

Tipo de sistema	F.V	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Bosque	Repeticiones	3	930.55	310.18	1.59	0.2177
	Altitud	2	10204.28	5102.14	26.17	<0.0001
	Profundidad	2	9484.49	4742.25	24.32	<0.0001
	Altitud *Profundidad	4	1717.23	429.31	2.20	0.0992
	Error	24	4679.63	194.98		
	CV %		13,5			

Según la prueba de Tukey para el factor altitud en suelo de bosque (Tabla 6), la mayor reserva de carbono almacenado corresponde a la altitud 3300 msnm con 120.65 tCha-1 y la menor 80.60 tCha-1 a 3100 msnm.

Tabla 6. Contenido de carbono en el suelo de bosque en base a la altitud

Altitud (msnm)	Medias (tha ⁻¹)
3300	120.65 a
3200	109.14 b
3100	80.60 c

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

Medias seguidas por la misma letra, no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$).

De acuerdo a la prueba de Tukey, el más alto contenido de carbono en suelo de bosque, se localizó entre 20-30 cm de profundidad con 126.42 tCha-1 y de 0-20 cm con 91.73 tCha-1 el menor valor situado en similar rango (b) para una profundidad de 30-40 cm (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de carbono en el suelo de bosque en base a la profundidad de muestreo

Profundidad (cm)	Medias (tCha⁻¹)
20 -30	126.42 a
30 - 40	92.24 b
0 - 20	91.73 b

Medias seguidas por la misma letra, no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$).

En cambio en suelo de bosque, la mayor reserva de carbono almacenado, se encuentra a una altitud 3300 msnm con 120.65 tCha-1, este valor indica que la actividad microbiana se ve ralentizada debido a condiciones abióticas más extremas de temperaturas más bajas y menores concentraciones de oxígeno (Amurrio y Poma, 2015), donde la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo a tasas muy bajas, debido a las bajas temperaturas y alta humedad con ciclos de nutrientes lentos (Egan, 2007; Hofstede y Sevink, 1995).

Siendo el valor de contenido de carbono determinado en el suelo del bosque, ligeramente superior para una profundidad de 30 cm y una altitud entre 3092 a 3199 msnm, en referencia al valor de 121, 52 tCha-1, reportado para en el suelo del bosque de Aguarongo ubicado en la provincia del Azuay según el trabajo de López. (2017). Situación que refleja la estructura muy rala que presenta el bosque, debido en parte a su aprovechamiento inadecuado, provocando la disminución de la cobertura natural y/o protección física del suelo reduciendo los niveles de carbono orgánico (Post y Known, 2000), tal como ocurrió a los 3100 m de altura, donde se encuentra la menor cantidad de carbono almacenado con 80.60 tCha-1. Al comparar las diferencias reportadas para el contenido de carbono considerando el factor profundidad del suelo entre pastizal y bosque de forma general se puede indicar que varían, debido a su historial de uso, variables ambientales, y región biogeográfica (Lal et al., 2012; WLT, 2008).

En consecuencia, el manejo sostenible del bosque puede aportar una provisión continua de materia

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

orgánica, influyendo en los contenidos de carbono en el suelo (Squeo et al., 2006). Teniendo en cuenta los escenarios climáticos que ya se perfilan; el futuro se presenta más cálido, más seco y más variable, y la selvicultura puede contribuir a mejorar la capacidad de adaptación a las nuevas condiciones ambientales de las masas forestales, preservando los servicios que los bosques proporcionan a la sociedad. Además, puede considerarse su papel en la mitigación del cambio climático, ya que en ellos los ciclos de nutrientes son muy lentos y retienen gran cantidad de carbono, tanto en la biomasa aérea como en el suelo (Zhou et al., 2006; Luysaert et al., 2008).

De acuerdo a lo expuesto, la información obtenida será muy importante para futuras negociaciones que permitan reducir las emisiones de gases efecto invernadero vinculadas a la generación de propuestas de conservación y manejo sostenible de los sistemas de uso pastizal y bosques en la zona (REED+) (Goetz y Dubayah, 2011). Por cuanto la importancia que involucra la conservación de los bosques y vegetación herbácea de páramo radica en la capacidad de los mismos para acumular carbono, la provisión del recurso hídrico, producción de madera, leña, frutos, es también importante por la conservación del hábitat de plantas, animales, la regulación del clima, y los paisajes que ofrecen, son aspectos que deben considerarse en la gestión de los bosques y otros tipos de sistemas de uso de la tierra.

Conclusiones

El color en los perfiles del suelo de pastizal y bosque, en las tres profundidades de estudio, mostraron una variación mínima en la gama de colores, de textura franco-arenosa, a excepción de la profundidad 20-40 cm en suelo de bosque que posee una textura arena franca, similar estructura suelta a las tres profundidades, y en el caso de la densidad aparente con valores entre 0,93-1,10 g•cm³-1.

El contenido de carbono es mayor de 20-30 cm en el suelo de pastizal, con el 21.64 % superior al valor de 126,42 tCha-1 del bosque a la misma profundidad, cuya cantidad de carbono de forma general en el suelo depende de su uso, la influencia de factores como la temperatura, altitud, y la densidad de vegetación, son parámetros que intervienen en acumulación de carbono determinados en esta investigación.

Realizar el aprovechamiento sostenible del bosque nativo, basado en indicadores de crecimiento, productividad con fines de conservación de tal forma que se beneficien ciertos grupos familiares

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

involucrados en su manejo a través de actividades que reduzcan la emisión de gases efecto invernadero causantes del cambio climático actual y aplicar buenas prácticas agropecuarias que favorecen la captura de C para el manejo del sistema pastizal.

Referencias

1. Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). El suelo y el cambio climático. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
2. Amurrio, P., y Poma, V. (2015). Physicochemical Properties and Seasonal variations of Soils in an Altitudinal Transect of the Lluto County, La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 32(4), 74-81.
3. Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E., y Ruiz, D. (2011). Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes. In: *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, Herzog, S., Martinez, R., Jørgensen, P., Tiessen, H. (eds.), Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
4. Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 136-147.
5. Bravo, I., Arboleda, C., y Martín, F. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(2), 164-174.
6. Bravo, C. (Febrero, 2014). Curso-taller de evaluación de la calidad física de los suelos. Riobamba: ESPOCH.
7. Calvache, J. (2016). La investigación científica como alternativa en la formación profesional. Colombia: CEPUN.
8. Calderón, S., Gayoso, J., Guerra, J., y Schlegel, B. (2001). Inventarios Forestales para Contabilidad de Carbono. Manual de procedimientos. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

9. Casanova, E. (2005). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
10. Castañeda, A., y Montes, C. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221.
11. Cuesta, F., Peralvo, M., y Valarezo, N. (2009). Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad al efecto del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización N°5. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, Quito.Regional.
12. Dercon, G., Govers, G., Poesen, J., Rombaut, K., Vandebroek, E., Loaiza, G., y Deckers, J. (2007). Animal-powered tillage erosion assessment in the Southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology*, 87, 4-15.
13. Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2009). *InfoStat versión 2009*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
14. Docampo, R. (2010). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. Serie Actividades de Difusión N° 687. Las Brujas: INIA -Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate". 81 - 88p.
15. Egan, D. (2007). Conserving and restoring old growth in frequent-fire forests: cycles of disruption and recovery. *Ecology and Society* 12(2): 23. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art23/>
- Etchevers, J., Vargas, M., Acosta, y Velázquez, A. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725-736.
16. FAO. (2006). *Evaluación de recursos forestales mundiales. FRA 2005. Estudio FAO Montes* 147.
17. Gaitán, J., y López, C. (2007). Análisis del gradiente edáfico en la región Andinopatagónica. *Ciencia del suelo*, 25(1), 53-63.
18. Goetz, S., y Dubayah, R. (2011). Advances in remote sensing technology and implications for measuring and monitoring and monitoring forest carbon stocks and change. *Carbon Management*, 2 (3), 231-244.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

19. Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Participativo del Cantón Suscal (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Suscal. Suscal: GADIPCS
20. Hofstede, G., y Sevink, J. (1995). Effects of Burning and Grazing on a Colombian Paramo Ecosystem. Tesis de posgrado. Amsterdam: Universitet van Amsterdam.
21. Jordán, A. (2006). Manual de edafología. Sevilla: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
22. Laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH. (2015). Resultados del análisis de suelos de la investigación de pastizal y bosque en la Reserva Huayrapalte. Riobamba. Ecuador.
23. López, R. (2017). Valoración de carbono en la necromasa y suelo del bosque protector Aguarongo, provincia del Azuay, Ecuador. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
24. Luyssaert, S., Schulze, E., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B., Ciais, PH., y Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215 (11 September 2008) |doi:10.1038/nature07276
25. Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R., Schneider, B., Von Braun, J. (2012). Terrestrial Biosphere as a Source and Sink of Atmospheric Carbon Dioxide. En: Rattan, L., Lorenz, K., Hüttl, R., Schneider, B., Von Braun, J. *Recarbonization of the Biosphere - Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. Springer Science+Business Media B.V.
26. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.
27. Morocho, V. (2015). Inventario forestal del bosque nativo de la Reserva Huayrapalte, cantón Suscal, provincia de Cañar. Memoria de Prácticas Pre- Profesionales I, Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
28. Ojeda, E. (2017). Impacto del cambio de uso en coberturas de bosque a pasto en suelos de la comunidad de Lluclud, provincia de Chimborazo. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
29. Post, W., y Kwon, K. (2000). Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global change biology*, 6, 317-327.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

30. Reeves, D. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil y Tifsdallage Research*, 43, 131-167.
31. Squeo, F., Warner, B., Aravena, R., y Espinoza, D. (2006). Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Rev Chil Hist Nat*, 79, 245-255.
32. World Land Trus. WLT. (2008). Preliminary Assessment and Field Data Collection Procedures for the Páramo Ecosystem – Antisana, Ecuador. Massachusetts: Winrock International. 26 p.
33. Zhou, G., Liu, S., Li, Z., Zhang, D., Tang, X., Zhou, C., Yan, J., y Mo, J. (2006). Old-Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils. *Science* (80-). 2006;314 (5804):1417 LP - 1417.

References

1. European Environment Agency. (2015). The soil and climate change. Recovered from <http://www.eea.europa.eu/en/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
2. Amurrio, P., and Poma, V. (2015). Physicochemical Properties and Seasonal variations of Soils in an Altitudinal Transect of the Lluto County, La Paz, Bolivia. *Bolivian Journal of Chemistry*, 32 (4), 74-81.
3. Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Lamb, D., Gast, F., Jaimes, E., and Ruiz, D. (2011). Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes. In: *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, Herzog, S., Martinez, R., Jørgensen, P., Tiessen, H. (eds.), Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
4. Balvanera, P. (2012). The ecosystem services offered by tropical forests. *Ecosystems*, 21 (1-2), 136-147.
5. Bravo, I., Arboleda, C., and Martín, F. (2014). Effect of the quality of the organic matter associated with the use and management of soils in the retention of cadmium, in high Andean systems of Colombia. *Agronomic Act*, 63 (2), 164-174.
6. Bravo, C. (February 2014). Course-workshop of evaluation of the physical quality of the soils. Riobamba: ESPOCH.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

7. Calvache, J. (2016). Scientific research as an alternative in vocational training. Colombia: CEPUN.
8. Calderón, S., Gayoso, J., Guerra, J., and Schlegel, B. (2001). Forest Inventories for Carbon Accounting. Procedures manual. FONDEF project. Southern University of Chile.
9. Casanova, E. (2005). Introduction to Soil Science. Venezuela: Central University of Venezuela.
10. Castañeda, A., and Montes, C. (2017). Carbon stored in the Andean moorland. *Lattice*, 13 (1), 210-221.
11. Cuesta, F., Peralvo, M., and Valarezo, N. (2009). The montane forests of the Tropical Andes. A regional assessment of its conservation status and its vulnerability to the effect of climate change. Research and Systematization Series No. 5. Regional Program ECOBONA-INTERCOOPERATION, Quito. Regional.
12. Dercon, G., Govers, G., Poesen, J., Rombaut, K., Vandembroeck, E., Loaiza, G., and Deckers, J. (2007). Animal-powered tillage erosion assessment in the Southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology*, 87, 4-15.
13. Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., and Robledo, C. W. (2009). InfoStat version 2009. InfoStat Group, FCA, National University of Córdoba.
14. Docampo, R. (2010). The importance of soil organic matter and its management in fruit production. Dissemination Activities Series No. 687. Las Brujas: INIA - Experimental Station "Wilson Ferreira Aldunate". 81-88p.
15. Egan, D. (2007). Conserving and restoring old growth in frequent-fire forests: cycles of disruption and recovery. *Ecology and Society* 12 (2): 23. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art23/> Etchevers, J., Vargas, M., Acosta, and Velázquez, A. (2002). Estimation of aerial biomass through the use of allometric relationships in six tree species in Oaxaca, Mexico. *Agrociencia*, 36 (6), 725-736.
16. FAO. (2006). Global forest resources assessment. FRA 2005. FAO Montes Study 147.
17. Gaitán, J., and López, C. (2007). Analysis of the edaphic gradient in the Andinopatagonic region. *Soil science*, 25 (1), 53-63.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

18. Goetz, S., and Dubayah, R. (2011). Advances in remote sensing technology and implications for measuring and monitoring forest carbon stocks and change. *Carbon Management*, 2 (3), 231-244.
19. Autonomous Decentralized Intercultural and Participatory Government of Suscal Canton (2014). Development Plan and Territorial Planning of the Suscal Canton. Suscal: GADIPCS
20. Hofstede, G., and Sevink, J. (1995). Effects of Burning and Grazing on a Colombian Paramo Ecosystem. Postgraduate thesis. Amsterdam: Universitet van Amsterdam.
21. Jordán, A. (2006). Edaphology manual. Seville: Department of Crystallography, Mineralogy and Agricultural Chemistry of the University of Seville.
22. Soil laboratory of the ESPOCH School of Natural Resources. (2015). Results of the soil analysis of the grassland and forest research in the Huayrapalte Reserve. Riobamba Ecuador.
23. López, R. (2017). Carbon valuation in the necromass and soil of the Aguarongo protective forest, Azuay province, Ecuador. Undergraduate thesis, Salesian Polytechnic University. Ecuador basin.
24. Luyssaert, S., Schulze, E., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B., Ciais, PH., And Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215 (11 September 2008) | doi: 10.1038 / nature07276
25. Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R., Schneider, B., Von Braun, J. (2012). Terrestrial Biosphere as a Source and Sink of Atmospheric Carbon Dioxide. In: Rattan, L., Lorenz, K., Hüttl, R., Schneider, B., Von Braun, J. *Recarbonization of the Biosphere - Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. Springer Science + Business Media B.V.
26. Ministry of Environment of Ecuador. (2012). Classification system of the ecosystems of continental Ecuador. Quito: Undersecretary of Natural Heritage.
27. Morocho, V. (2015). Forest inventory of the native forest of the Huayrapalte Reserve, Suscal canton, province of Cañar. Memory of Pre-Professional Practices I, Faculty of Natural Resources, Ecuador.

Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte

28. Ojeda, E. (2017). Impact of the change of use in forest to grass cover in soils of the community of Llucud, province of Chimborazo. Undergraduate thesis, Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Ecuador.
29. Post, W., and Kwon, K. (2000). Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global change biology*, 6, 317-327.
30. Reeves, D. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tifsdsdallage Research*, 43, 131-167.
31. Squeo, F., Warner, B., Aravena, R., and Espinoza, D. (2006). Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Rev Chil Hist Nat*, 79, 245-255.
32. World Land Trus. WLT (2008). Preliminary Assessment and Field Data Collection Procedures for the Páramo Ecosystem - Antisana, Ecuador. Massachusetts: Winrock International. 26 p.
33. Zhou, G., Liu, S., Li, Z., Zhang, D., Tang, X., Zhou, C., Yan, J., and Mo, J. (2006). Old-Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils. *Science* (80-). 2006; 314 (5804): 1417 LP - 1417.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).