

Potencial de captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia

Potential CO₂ Capture Associated with Edaphic Component in Moorlands Guantiva-La Rusia, Department of Boyacá, Colombia

Karen Lisseth Africano Pérez¹
Germán Eduardo Cely Reyes²
Pablo Antonio Serrano Cely³

Para citar este artículo utilice el nombre completo así:

Africano, K., Cely, G. & Serrano, P. (2016). Potencial de captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(1), 91-110.

Resumen

Los páramos son considerados escenarios importantes para la mitigación del impacto del cambio climático, sus suelos pueden capturar/secuestrar CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero. Con el fin de determinar

1 Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Catedrático externo. Ingeniería Agronómica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante Grupo de Investigación Gipso. karen.africano@uptc.edu.co

2 Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Docente Asistente Ingeniería Agronómica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante Grupo de Investigación Gipso. german.cely@uptc.edu.co

3 Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Docente Asistente Ingeniería Agronómica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante Grupo de Investigación Gipso. pablo.serrano@uptc.edu.co

el efecto que causan las actividades antrópicas sobre la capacidad de captura de CO₂, se usaron parcelas permanentes de monitoreo (PPM) ubicadas en un área intervenida antrópicamente (agricultura intensiva sin tecnificar y ganadería extensiva), en otra no intervenida y otra en recuperación, en el complejo de páramos de Guantiva-La Rusia (Boyacá). La PPM en recuperación mostró mayor capacidad de captura, con un valor promedio de 872,26 t.ha⁻¹; en contraste, la PPM con menor capacidad fue la intervenida (221,70 t.ha⁻¹); esto evidencia el efecto negativo que ejerce la actividad antrópica sobre la capacidad de captura de carbono de estos suelos, y el papel que juegan estos ecosistemas como sumideros de carbono, y la importancia de su protección y conservación.

Palabras clave: calentamiento global, captura de Carbono, efecto invernadero, Guantiva-La Rusia, páramo.

Abstract

Moors are considered important features for mitigating the impact of climate change, as their soils can capture and trap CO₂, a major greenhouse gas. They were used in order to determine the effect caused by human activities as it relates to the ability to capture CO₂, in permanent sample plots (PPM); one located in an intervened area, another in an unhampered area and another in a recovery area in the complex of moors in Guantiva-La Rusia (Boyacá, Colombia). The PPM in recuperation showed greater ability to capture an average of 872.26 t.ha⁻¹; in contrast with the minor capacity PPM which was taken with a mean value of 221.70 t.ha⁻¹. This shows the negative effect exerted by human activity on the ability to capture carbon in these soils, and the role these ecosystems play as carbon drains, hence the importance of their protection and conservation.

Keywords: global warming, carbon drain, greenhouse effect, Guantiva-La Rusia, moors.

1. Introducción

El calentamiento global y el cambio climático son grandes retos a los que se enfrenta el planeta hoy en día, y han despertado la preocupación de diferentes naciones y organismos multilaterales (Acosta et al., 2001); su principal causa son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivados de las actividades humanas (Olivo y Soto-Olivo, 2010), como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono y clorofluorocarbonos (CFC). Estos gases atrapan parte de la radiación infrarroja que debería ser disipada y la reenvían a la Tierra, aumentando la temperatura de la atmósfera baja y de la superficie de la Tierra (Novoa et al., 2000); es lo que comúnmente se conoce como efecto invernadero, y, como consecuencia de este, se presenta el calentamiento global y el cambio climático.

El dióxido de carbono es el principal GEI, aunque sin él no sería posible la vida en el planeta, porque mantiene una temperatura apropiada para la vida; sin embargo, el aumento exagerado de las emisiones de este gas hacen que se tenga un efecto negativo que ha agravado la

problemática ambiental de los últimos años (Echeverry, 2006).

Se ha estimado que la temperatura de la Tierra tendrá un aumento entre 1 y 6 °C en el presente siglo (IPCC, 2007), lo cual *acentuará* la problemática del cambio climático, que traerá consigo impactos negativos a nivel geológico, meteorológico, biológico y humano (Velásquez de Castro, 2005). A nivel geológico, uno de los escenarios con mayor impacto negativo serán los ecosistemas de alta montaña, es decir, aquellos que están localizados a partir de los 3.000 msnm (Morales et al., 2007).

Los páramos son ecosistemas estratégicos de gran importancia, pues participan en la regulación del ciclo hidrológico, al servir de fuentes y nacimientos de agua, recurso indispensable para el desarrollo y sostenimiento de las diferentes comunidades (Greenpeace Colombia, 2009); además, son hábitat de diversas especies animales y vegetales que se acondicionaron únicamente a este entorno (Chaparro & Chaparro, 2012), y escenarios importantes en la dinámica de retención y almacenamiento de carbono atmosférico, realizada por los suelos presentes en estos ecosistemas

(Cabrera y Ramírez, 2014), aspecto importante a destacar. Daza et al. (2014) señalan que, por la lenta descomposición y humificación de la materia orgánica, los páramos contribuyen a la fijación de CO₂; esta acción de capturar/secuestrar carbono permite que no haya un aumento del calentamiento global por el carbono, ya que el carbono no quedaría libre en la atmósfera (Vásquez y Buitrago, 2011).

De acuerdo con Serrano et al. (2008), existen varios factores que ponen en riesgo la existencia de los páramos, entre los que se destacan el cambio climático y el uso, ocupación y poblamiento de ellos, generado bien sea por factores de tipo económico, social o de prestación de servicios ambientales. Esto, sumado al efecto derivado del cambio climático, conduce a la conversión de estos sumideros de carbono en fuentes emisoras del mismo (Peris, 2013), por lo que se hace necesario adoptar políticas y estrategias que los protejan y permitan su “explotación” como una herramienta clave en la mitigación del impacto del cambio climático. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del cambio climático en un ecosistema de alta montaña, correspondiente al com-

plejo de páramo de Guantiva-La Rusia, y establecer una línea base sobre el potencial de secuestro de CO₂ asociado al componente edáfico de este páramo del departamento de Boyacá.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó para un área piloto de 500 ha, en un ecosistema de alta montaña correspondiente al complejo de páramo de Guantiva-La Rusia, que está ubicado en la cordillera Oriental, entre los 3.100 y 4.280 msnm, y forma parte de un corredor extenso de bosques y páramos que se extiende en dirección nororiente desde el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque hasta las estribaciones del cañón del río Chicamocha (Onzaga, Santander); incluye los departamentos de Santander y Boyacá y los páramos Güina, Cruz Colorada y Pan de Azúcar. El área de este complejo es de 100.262 hectáreas, y forma parte del territorio de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, en un 59,6 %, y la Corporación Autónoma Regional de Santander, en un 40,4 %.

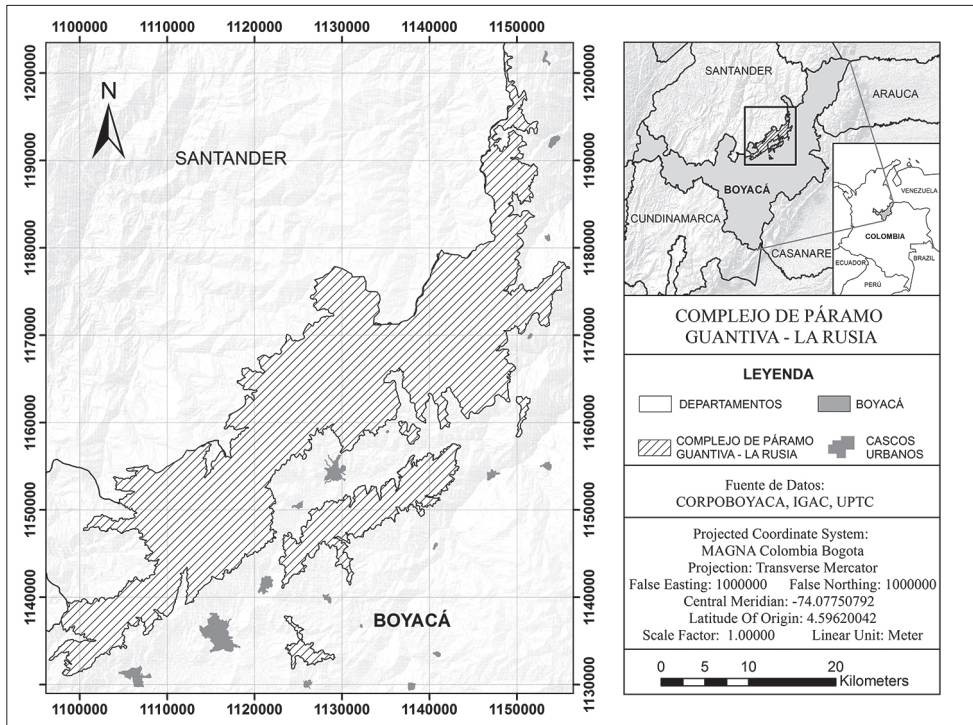


Figura 1. Ubicación general del complejo de paramo Guantiva-La Rusia.

Fuente: Adaptado del Atlas de páramos de Colombia, 2007.

2.2 Puntos de muestreo y recolección de muestras

Con el fin de realizar el muestreo de suelos de carbono orgánico (CO) y densidad aparente (ρ_b), se ubicaron tres parcelas permanentes de monitoreo (PPM) en sitios que evidencian las unidades cartográficas de suelos más representativas, así como el grado de intervención, ya que este sistema se usa para hacer mediciones en el tiempo (Kaufman et al., 2013) y, además, arro-

ja datos más confiables, precisos y reales (Andrade e Ibrahim, 2003). Se establecieron parcelas de 10x10 m² en un área piloto de 500 ha, las cuales se ubicaron en tres puntos de la zona de estudio, correspondientes a: un área **intervenida** (N6 03.315, W72 55.240; N6 03.321, W72 55.243; N6 03.325, W72 55.236; N6 03.320, W72 55.233), correspondiente a una zona con actividad agropecuaria (agricultura intensiva sin tecnificar y ganadería extensiva) durante la última década.

da; un área **no intervenida** (N6 03.449, W72 55.533; N6 03.453, W72 55.538; N6 03.446, W72 55.541; N6 03.445, W72 55.536), es decir, sin ningún tipo de actividad antrópica y en la cual se podía observar vegetación típica de páramo, y un área **en recuperación** (N6 03.284, W72 55.223; N6 03.291, W72 55.228; N6 03.286, W72 55.233; N6 03.280, W72 55.229),

que tuvo en su historial algún tipo de actividad agropecuaria, ya sea agricultura o ganadería, pero fue abandonada y se está restaurando de forma pasiva, sin intervención antrópica. Estas parcelas fueron escogidas por el tipo de vegetación presente en el momento del estudio y por el uso de suelo establecido para tal zona (Figura 2. A, B y C).

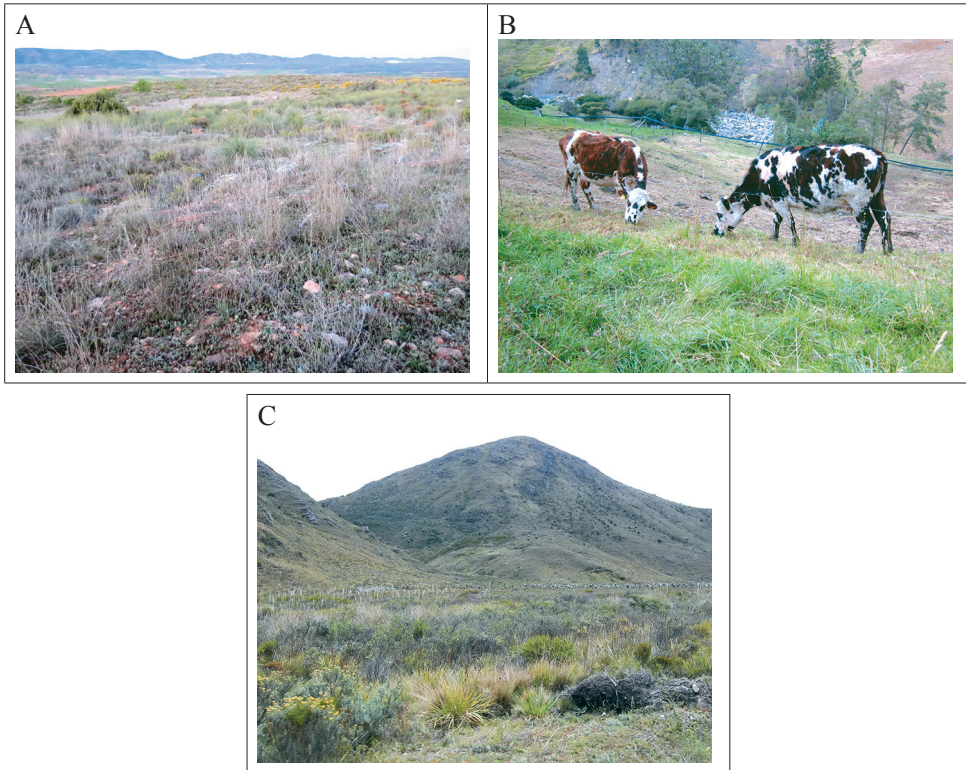


Figura 2. Ubicación de parcelas permanentes de muestreo: A. Área en recuperación. B. Área intervenida. C. Área no intervenida.

Fuente: Elaboración propia.

Las tres parcelas fueron usadas para determinar la dinámica del carbono orgánico, comparando los tres escenarios, con el fin de establecer el efecto de la actividad antrópica sobre el carbono orgánico de los suelos de páramo. De acuerdo con el estudio general de los suelos de Boyacá (Esc: 1:100.000), los suelos de las parcelas **intervenida** y **en recuperación** corresponden a la Consociación compuesta por Lithic Udorthents y Oxic Dystrudepts, a afloramientos rocosos con pendientes superiores al 50 %, son suelos físicamente profundos y químicamente superficiales, por la sa-

turación de aluminio mayor del 75 %, bien drenados, reacción extremadamente ácida y baja fertilidad, y los de la parcela **no intervenida** son suelos cartográficamente definidos por una Consociación compuesta por Lithic Dystrcryepts y Humic Dystrcryepts, con pendientes mayores al 50 %, modelados por glaciares y meteorización física; se encuentran sectores con superficies de abrasión con suelos superficiales bien drenados y de fertilidad muy baja. Posterior a la implementación de las PPM se realizó la toma de muestras para CO y pb, tal como indica la Figura 3.

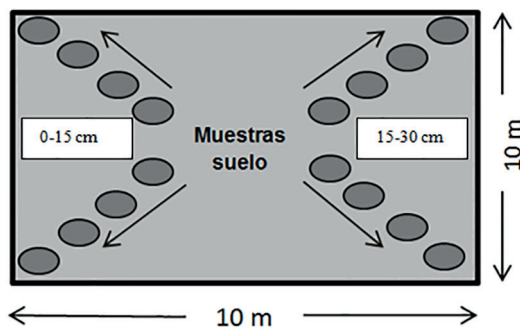


Figura 3. Diseño toma de muestras para pb y CO.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener las muestras de densidad aparente se usaron anillos de volumen conocido y se tomaron 8 submuestras para la profundidad de 0-15 cm y 8 submuestras para la profundidad de 15-30 cm, para un

total de 16 submuestras por cada parcela; de igual manera, para carbono orgánico, las cuales fueron tomadas en forma de X, para que el muestreo fuera más representativo. Tanto para densidad aparente

como para carbono orgánico se tomaron muestras a 0-15 y 15-30 cm de profundidad.

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos y Aguas, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, para su posterior análisis. Para el CO se usó el método de Walkley Black (método de oxidación húmeda), que, como indica Carreira (2011), ha sido adoptado masivamente por su simplicidad y bajo costo, dada su baja demanda de equipos (La Manna et al., 2007).

Donde:

COS: Contenido de carbono orgánico del suelo ($t \cdot ha^{-1} C$)

C: Concentración de carbono orgánico del suelo obtenido en laboratorio

pb: Densidad aparente del suelo (g/cm), masa de suelo por volumen

T: Espesor de la capa del suelo expresado en metros

FG: Contenido de fragmentos

Obs.: El multiplicador final 10 se usó para convertir las unidades en $t C \cdot ha^{-1}$

2.4. Carbono Orgánico Equivalente del suelo (COS e)

Este parámetro está relacionado con la capacidad que tiene un suelo para capturar o liberar CO_2 . Rüginitz et al. (2009) indican que una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_2 , derivado de los pesos moleculares del dióxido de carbono (44) y del carbono (12); por tanto, para conocer la cantidad de CO_2 que

2.3 Carbono orgánico del suelo (COS)

La determinación del contenido de carbono en el suelo, en toneladas, se hace a partir del contenido de materia orgánica, la densidad aparente (ρ_b) y la fracción de carbono orgánico (Rüginitz et al., 2009); para este estudio se empleó la ecuación 1 (Gardi et al., 2014), considerada una de las más completas.

$$COS = C \times pb \times T \times (1 - frag) \times 10 \quad (1)$$

pueden liberar o almacenar estos suelos, se multiplicó el COS hallado anteriormente por 3,67.

2.4. Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SPSS® Statistics (versión 21), se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se practicaron la prueba t y la prueba de Levene.

3. Resultados y discusión

3.1 Contenido de Carbono Orgánico

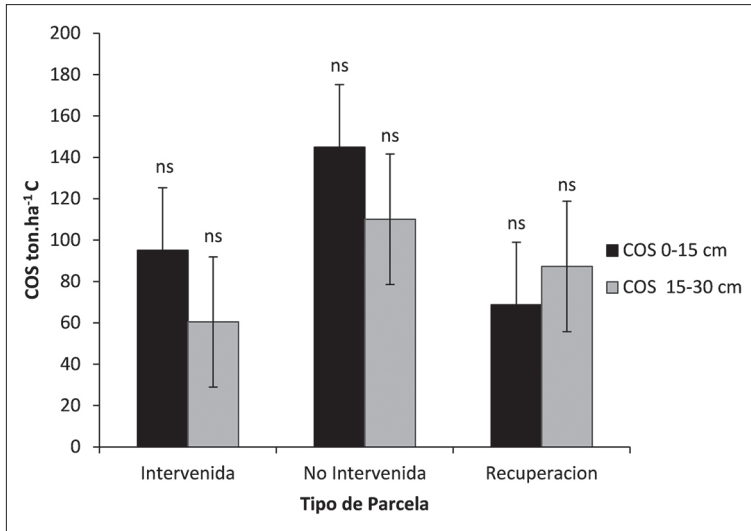


Figura 4. Contenido de carbono orgánico ($t.ha^{-1} C$) en parcelas permanentes de muestreo a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) en suelos del complejo de páramo Guantiva-La Rusia. Se compararon las medias para el carbono orgánico verificando que se cumplen los supuestos de normalidad ($P \leq 0,05$) e igualdad de varianza, y se encontró que no hay diferencias significativas. La barra vertical indica el error típico.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 4, el contenido más alto de carbono orgánico se registró en la parcela no intervenida a una profundidad de 0-15 cm, con un valor promedio de $144,93 t.ha^{-1} C$, mientras que el contenido más bajo se presentó en la parcela intervenida, a la profundidad de 15-30 cm, con un valor promedio de $60,41 t.ha^{-1} C$; esto concuerda con lo mencionado por Morales et al. (2007) y Ramos et al.

(2013), quienes mencionan que los suelos del páramo de Guantiva-La Rusia presentan altos contenidos de materia orgánica y carbono orgánico, ubicado principalmente en el horizonte superficial; por su parte Daza et al. (2014) estudiaron el contenido de carbono orgánico en los suelos del páramo de Sumapaz y registraron el contenido más alto en el suelo con vegetación nativa a una profundidad entre 0 y 25 cm,

siendo este de 18 %, mientras que el más bajo (menor a 2 %) se presentó para el suelo en descanso, con 20-45 cm profundidad.

Según Matthews et al. (2000), los suelos de los Andes colombianos presentan contenidos de carbono orgánico mayores a 51 t.ha⁻¹ C, similares a los obtenidos en este estudio y a los encontrados por Andrade y Yepes (2014), quienes reportaron valores de COS para vegetación nativa de 134,41 t.ha⁻¹ C y para vegetación de pastos de 101,75 t.ha⁻¹ C; y por Camargo-García et al. (2012), para los suelos de una zona de ladera perteneciente al Parque Nacional Natural Los Nevados (103 t.ha⁻¹). Sin embargo, los contenidos obtenidos para el páramo de Guantiva difieren de los encontrados por Zuñiga-Escobar et al. (2013) en los páramos ubicados en el Parque Nacional Natural de Chingaza y en Los Nevados, con valores de 520,9 t.ha⁻¹ y 373,0 t.ha⁻¹, respectivamente, y son más bajos que los reportados por Amézquita et al. (2004) para suelos de los Andes con vegetación nativa (231 t.ha⁻¹) y suelos de ladera con pastos degradados (136 t.ha⁻¹); y por Arreaga (2002) para un ecosistema de Bosque, con valores promedio de 212,57 t.ha⁻¹,

y finalmente está lejos de las 600 t.ha⁻¹ que indica Suarez (2009) puede almacenar un suelo de páramo, lo que hace pensar en la posibilidad de potencializar la capacidad de almacenamiento del suelo del páramo de Guantiva. La variabilidad de los valores reportados puede presentarse por diferencias en la metodología empleada en cada uno de los estudios, y al grado de intervención en áreas donde se distribuyen los suelos estudiados.

De igual manera, Cunalata et al. (2013) indican que en los suelos intervenidos con labores agrícolas o con mínima cobertura vegetal se hace evidente la disminución de CO₂; esto puede deberse a que la disturbación genera la aceleración de los procesos de oxidación de la materia orgánica, y a que la vegetación nativa aporta mayor biomasa que los pastos y los cultivos (Daza et al., 2014), puesto que las zonas protegidas con coberturas presentan un aumento considerable de CO₂; adicionalmente, Espinoza (2010) señala que las acciones antrópicas, como el laboreo, afectan el contenido de COS, es decir, las áreas cultivadas muestran una disminución significativa de COS, afectando el funcionamiento del suelo como agente receptor o libe-

rador de carbono atmosférico, el cual se ve condicionado al manejo que se le dé al suelo; esto concuerda con en el estudio realizado por Vela et al. (2012), quienes encontraron que los suelos con algún tipo de actividad agrícola presentan menores valores de carbono orgánico (50 t ha^{-1}), comparado con suelos de vegetación tipo bosque ($145,6 \text{ t ha}^{-1}$); resultados similares encontraron Daza et al. (2014) al estudiar el contenido de carbono sobre suelos con cuatro usos diferentes, donde determinaron que los suelos con ganadería y lotes en descanso presentaban los valores más bajos de carbono orgánico, tanto en el horizonte A (10 y 11 %) como en el horizonte B (9 y 1 %); sin embargo, Fisher (1994) indica que se han encontrado zonas donde pastos con sistemas radiculares muy profundos presentan contenidos de carbono orgánico más altos, comparados con vegetación nativa, debido a la naturaleza de los residuos orgánicos y a una tasa menor de descomposición de las praderas.

Por otro lado, Cunalata et al. (2013) realizaron estudios en diferentes coberturas y obtuvieron porcentajes de carbono de 8,7 % en áreas con pajonal alto, mientras que para las áreas con cobertura mínima en-

contraron 4,7 % de carbono orgánico; estos estudios destacan la importancia del efecto positivo de las coberturas vegetales sobre el contenido de carbono del suelo. Además, explica por qué los valores de la parcela no intervenida fueron más altos ($144,93 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, de 0-15 cm de profundidad, y $110,03 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, de 15-30 cm) que los de la parcela no intervenida ($95,03 \text{ t ha}^{-1}$, de 0-15 cm de profundidad, y $60,41 \text{ t ha}^{-1}$, de 15-30 cm). Por otro lado, aunque la parcela ubicada en el área en recuperación fue la única cuyo contenido más alto de carbono orgánico se presentó en la profundidad de 15-30 cm, esto se ajusta a lo indicado por Kanninen (2001), quien reporta que la mayor parte del carbono orgánico en un suelo se puede encontrar en las profundidades de 0-30cm.

En condiciones naturales, el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. El carbono del suelo se puede perder en forma gaseosa (CO_2 , CH_4), por difusión directa hacia la atmósfera. El aire del suelo tiene una composición similar al de la atmósfera, pero difiere en la concentración de los gases; en particular, tiene mayor concentración

de CO_2 . Los gases entran o salen del suelo por flujo de masa y por difusión; el flujo de masa se produce debido a variaciones de temperatura y de presión entre las distintas capas del suelo y entre este y la atmósfera (Healy et al., 1996); estos gradientes hacen que entre y salga aire del suelo, arrastrando todos sus componentes. El mecanismo dominante de transporte de gases en el suelo es la difusión, en la que el movimiento de cada componente del aire del suelo responde a un gradiente de concentración.

En el ecosistema de Páramo existen diferentes presiones sobre el recurso suelo, especialmente las relacionadas con actividades agrícolas y pecuarias que, sin ser lógicas, se han arraigado durante décadas en estos escenarios naturales. Cuando se altera el suelo por prácticas de manejo se puede afectar la superficie expuesta (suelo), con los consiguientes efectos en el potencial de captura de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero. La labranza en el Páramo expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y facilita el contacto de los organismos heterótrofos del suelo con la presión parcial de oxígeno de la atmósfera (ca. 20 kpa), favoreciendo

la mineralización de la MOS; por el contrario, la falta de oxígeno en ambiente mal drenados o con poca aireación disminuye la descomposición de la MOS (Haraguchi et al., 2002); así, la perturbación del suelo por labranza es una de las mayores causas de la disminución de la MOS (Olson et al., 2005), lo cual incrementa los flujos de CO_2 desde el suelo hacia la atmósfera (Reicosky et al., 1997). En un estudio del efecto de diferentes sistemas de labranza (tradicional, cincel y cero labranza) y diferentes cultivos sobre la emisión de CO_2 , la labranza tradicional generó los mayores flujos de CO_2 hacia la atmósfera (Reicosky et al., 1997); la liberación de CO_2 inmediatamente después de efectuada la labranza estuvo más influenciada por cambios inducidos en la porosidad del suelo; después de tres meses de efectuados los tratamientos de labranza, las pérdidas de CO_2 afectaron mayormente a los suelos manejados con sistemas de labranza convencional (Reicosky, 2002).

Tabla 1. Densidad aparente de las diferentes parcelas ubicadas complejo de paramo Guantiva-La Rusia

Área de ubicación de la parcela	Densidad aparente (g/cc)		Desviación estándar
	0-15 cm	15-30 cm	
Intervenida	0,85	0,87	0,070
No intervenida	0,83	0,85	0,043
En recuperación	0,85	0,87	0,070

Fuente: Elaboración propia.

La parcela intervenida presentó los mayores valores de densidad aparente (DA) (Tabla 1); de acuerdo con Estupiñan et al. (2009), este parámetro tiene que ver con la relación de espacios porosos y la retención de humedad, donde a mayor densidad, mayor compactación; los mismos autores obtuvieron valores de densidad aparente de 0,62 g/cc en un área propia del páramo El Granizo, y 0,65 g/cm³ para una zona intervenida de dicho páramo, lo que les permitió concluir que el aumento en el valor se relaciona con el desarrollo de actividades agropecuarias, que hacen que aumente la compactación; de acuerdo con Cleef et al. (1983), un suelo cultivado pierde toda su estructura original, su capacidad de retención de agua y, en sí, todas sus funciones, limitando todos los servicios ambientales que presta; lo que nuevamente evidencia la importancia de la conservación de estos escenarios.

3.2. Carbono orgánico equivalente (COS e)

El carbono orgánico equivalente del suelo está relacionado con la capacidad que tiene este para capturar el carbono orgánico atmosférico, razón por la cual los páramos son considerados “sumideros”, debido a que contienen mucho más de este elemento que las plantas y la misma atmósfera (Martínez et al., 2008). De acuerdo con esto, los resultados obtenidos (Figura 5) muestran que el mayor potencial de captura de carbono orgánico se presentó en la parcela ubicada en el área de recuperación, a la profundidad de 15-30 cm, con un valor promedio de 872,26 t.ha⁻¹ C, lo que es contradictorio con lo reportado por Botero (2003), quien indica que los sistemas con gran actividad o productividad biológica, como lo son las áreas de explotación agrícola, pueden presentar mayor capacidad de capturar carbono que, incluso,

los bosques tropicales maduros. Por otro lado, que el mayor potencial de captura se haya presentado en la parcela en recuperación puede estar relacionado con el tipo de vegetación que se pueda dar allí, ya que, como se mencionó anteriormente, las gramíneas de raíz

profunda, como los pastos, presentan alto potencial de captura; en relación con esto, Rodríguez et al. (2009) encontraron que las pasturas mostraron un alto contenido de carbono, además de un alto potencial de almacenamiento de este.

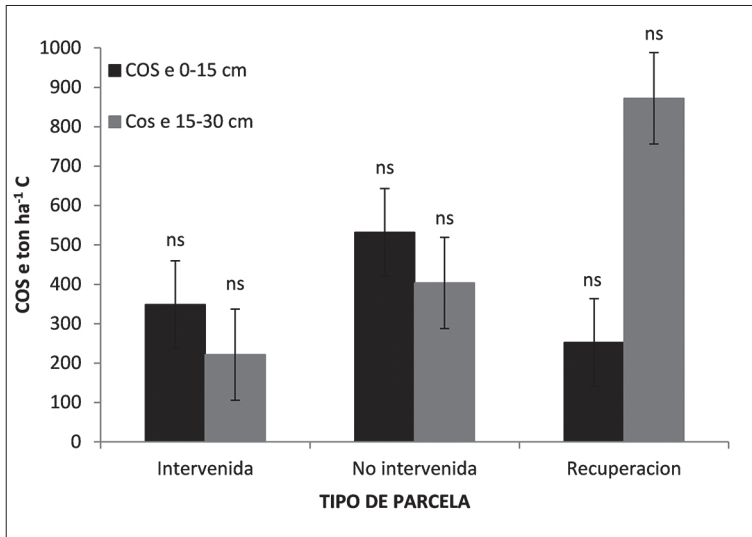


Figura 5. Carbono orgánico equivalente en parcelas permanentes de muestreo a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) en suelos del complejo de páramo Guantiva-La Rusia. Se compararon las medias para el carbono orgánico, verificando que se cumplen los supuestos de normalidad ($P \leq 0,05$) e igualdad de varianzas, y se encontró que no hay diferencias significativas. La barra vertical indica el error típico.

Fuente: Elaboración propia.

Otro factor relacionado con la alta capacidad de captura de este suelo es el uso agrícola; al estar sin actividad agrícola, porque nunca se ha intervenido o por abandono, su capacidad de captura se potencializa, lo que se evidenció en este estudio,

al presentarse mayores valores de COS en las parcelas no intervenidas y en recuperación, comparado con los del área intervenida. Que la parcela ubicada en el área intervenida fue la que presentó la menor capacidad de captura (221,70 t.ha⁻¹

C) demuestra la importancia de implantar planes para la recuperación de zonas intervenidas y la conservación de la vegetación nativa.

4. Conclusiones

El uso de suelo es un factor que afecta el contenido de carbono orgánico y el potencial de captura de CO₂ atmosférico de los suelos del páramo de Guantiva- La Rusia. Los resultados de este estudio demuestran la importancia de conservar estos ecosistemas, y la necesidad de implantar leyes que declaren estas áreas como protegidas, con el fin

de disminuir las emisiones de CO₂ derivadas de la deforestación para la expansión agrícola. Asimismo, es importante la recuperación de las zonas actualmente intervenidas, bien sea de manera pasiva natural o con intervención humana, mediante programas como reforestación con especies con alto potencial de captura. De igual manera, este estudio pudo determinar que el suelo de este páramo tiene un potencial de captura de 467,85 t.ha⁻¹ C (parcela no intervenida), carbono que de no ser capturado sería liberado a la atmósfera, contribuyendo al aumento del efecto invernadero.

Referencias

- Acosta, M., Etchevers, J., Monreal, C., Quednow, K. y Hidalgo, C. (2001). Un método para la medición de carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile.
- Amézquita, M., Ibrahim, M., Llanderal, T., Buurman, P. y Amézquita, E. (2004). Carbon Sequestration in Pastures, Silvo-Pastoral Systems and Forests in Four Regions of the Latin American Tropics. *Journal of Sustainable Forestry*, 21, 31-49.
- Andrade, H., Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10, 39-40.
- Andrade, A., Yepes, H. (2014). *Almacenamiento de agua y cuantificación de carbono en el ecosistema páramo dentro de un esquema global environment Outlook (Geo), caso de estudio: páramo de Pintag-cuenca alta del río Pita*. (Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7386>
- Arreaga, W. (2002). *Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de biosfera maya, Petén, Guatemala*. (Tesis de maestría). Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza.

- Botero, J. (2003). Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Cabrera, M. y W. Ramírez (Eds). (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Camargo-García, J., Dossman, M., Rodríguez, J., Arias, L. y Galvis-Quintero, J. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*, 61(2), 151-165.
- Carreira, D. (2011). Cuantificación de la Materia Orgánica del suelo. Método de Walkley & Black. Jornadas de actualización: Gestión de la calidad en los laboratorios de análisis de suelos agropecuarios. Samla- Proinsa. Rosario.
- Carvajal, A., Feijoo, A., Quintero, H y Rondón, M. (2009). Carbono Orgánico del Suelo en Diferentes Usos Del Terreno De Paisajes Andinos Colombianos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 9, 222-235.
- 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). Recuperado de <http://www.revistasjdc.com/main/index.php/deyso/article/view/158/151>
- Cleef, O., Rangel, Ch. y Salamanca, S. (1983). Reconocimiento de la parte alta del transecto Parque Los Nevados. En: A. Van Der Hammen, P. Pérez, P. Pinto (Eds.): *La cordillera Central Colombiana- Transecto Parque Los Nevados, Interrupción y datos iniciales. Estudios de ecosistemas tropandinos* (pp. 150-173).
- Cunalata, C., Inga, C., Álvarez, G., Recalde, C. y Echeverría, M. (2013). Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y biomasa de los páramos de las comunidades: Chimborazo y sobo Ilinllin – Chimborazo, *Boletín Grupo Español Carobon*, 10-13.
- Daza, M., Hernández, F., Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7189-7200.
- Echeverry, C. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 85-96.
- Espinoza, Y. (2010). Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro*, 22(3), 177-184.

- Estupiñán, L., Gómez, J., Barrantes, V., Limas, L. (2009). Efecto de Actividades Agropecuarias en las Características del Suelo en el páramo El Granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 79-89.
- Fisher, MJ; Rao, IM; Ayarza, MA; Lascano, CE; Sanz, JI; Thomas, RJ; Vera, RR. (1994). Carbon storage by introduced deeprooted grasses in the South American savannas. *Nature*, 371, 236-238.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I. y Vargas, R. (Eds.), (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxembourg: Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995.
- Greenpeace Colombia. (2009). *Cambio climático: Futuro negro para los páramos*. Reporte Greenpeace. Recuperado de: <http://www.greenpeace.org>.
- Haraguchi, A., Kojima, H., Hasegawa, C., Takahashi, Y. y Iyobe, T. 2002. Decomposition of organic matter in peat soil in a minerotrophic mire. *Eur. J. Soil Biol.*, 38, 89-95.
- Healy, R. W., Striegl, R. G., Russell, T. F., Hutchinson, G. L., Livingston, G. P. (1996). Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: Identification of physical processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60, 740-747.
- Ibrahim, M., Chacon, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45, 27-36.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Cambio climático*. Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge, UK.
- Kanninen, M. (2001). Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En: *Conferencia Electrónica "Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales"*. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Kauffman, J., Donato, D., Adame, M. (2013). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C. y Irisarri, J. (2007). Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Ciencia del suelo*, 25, 179-188.

- Martínez, E., Fuentes, J., Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96.
- Matthews, E., Payne, R., Rohweder, M., Murray, S. (2000). *Carbon Storage and Sequestration. Pilot analysis of global ecosystems: Forest ecosystems*. World Resources Institute. Recuperado de: <http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-forest-ecosystems>.
- Morales, M., J. Otero, T. Van der Hammen, A. Torres, C. Cadena, C. Pedraza, N. Rodríguez, C. Franco, J. C. Betancourth, E. Olaya, E. Posada y Cárdenas, L. (2007). *Atlas de páramos de Colombia*. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Novoa, R., González, S., Novoa, R., Rojas, R. (2000). Inventario de gases con efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena. *Agricultura Técnica*, 60(2), 154-165.
- Olivo, M., Soto-Olivo, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 14(57), 221-230.
- Olson, K. R., Lang, J. M., Ebelhar, S.A. 2005. Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois. *Soil Till. Res.*, 81, 217-225.
- Peris, M. (2013). El suelo como sumidero de CO₂: Mapa de retención de CO₂ de las tierras de labor de los distintos países de la Unión Europea. Revista digital: *Ojeando la Agenda, medio ambiente*. Recuperado de <https://www.ojeandolaagenda.com>
- Rügnitz, M., M. Chacón y R. Porro. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Ramos, C., Buitrago, S., Pulido, K. y Vanegas, L. (2013). Variabilidad ambiental y respuestas fisiológicas de *Polylepis cuadrijuga* (Rosaceae) en un ambiente fragmentado en el páramo de La Rusia (Colombia). *Revista Biología tropical*, 61(1), 351-361.
- Reicosky, D. C., Dugas, W. A., Torbert, H. A. 1997. Tillage – induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil Till. Res.*, 12, 135-148.
- Rodríguez, M., Camargo, C., Niño, J., Pineda, M., Arias, M., Echeverry, A., Miranda, L., (eds.). (2009). *Contenido de Dióxido de Carbono en Suelos de la Cuenca del Río Otún. Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero*. Pereira, Colombia: CIEBREG.
- Serrano, C., Páez, A., Kolter, L. (2008). *Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático*. Informe preventivo. Procuraduría delegada para asuntos ambientales y agrarios. Procuraduría General de la Nación. Bogotá D.C.

- Suárez, E. (2009). Por un manejo sostenible de los páramos: aprovechamiento del carbono en el suelo de los páramos. Consorcio para el desarrollo sostenible de la ecorregión Andina (CONDESAN). Lima-Perú: Proyecto páramo andino PPA.
- Vásquez, A., Buitrago, A. C. (Editoras). *El gran libro de los páramos*. (2011). Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino.
- Vela, G., Blanco, J., Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. 77, 18-30.
- Velásquez de Castro, F. (2005). Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias: Compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*. 79(2), 191-201.
- Zúñiga-Escobar, O., Uribe, A., Torres-González, A., Cuero-Guependo, R. Peña-Óspina, J. (2013). Assessment of the impact of anthropic activities on carbon storage in soils of high montane ecosystems in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 31, 112-119.

Recepción: 19 de noviembre de 2015
Evaluación: 10 de marzo de 2016
Aprobación: 12 de abril de 2016