

Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá

Determination of the fractions of organic carbon in the ground of the Páramo La Cortadera – Boyacá

Determinação das frações de carbono orgânico no solo do Páramo La Cortadera – Boyacá

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Cuervo Barahona, E. L., Cely Reyes, G. E. y Moreno Pérez, D. F. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno*, 7(2), 139-149.

Elsa Liliana Cuervo-Barahona

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
bióloga, Grupo Institucional de Investigación
en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales
elsa.cuervo@uptc.edu.co

Germán Eduardo Cely-Reyes

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
magíster en Ciencias Agropecuarias, ingeniero agrónomo,
Grupo Institucional de Investigación
en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales
german.cely@uptc.edu.co

Diego Fernando Moreno-Perez

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
ingeniero agrónomo, Grupo Institucional de Investigación
en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales
diego.morenoperez@uptc.edu.co

Fecha de Recepción: 01 de Mayo de 2016

Fecha de Aceptación: 13 de Julio de 2016

Resumen

Los páramos son considerados ecosistemas estratégicos por su oferta de servicios ambientales, entre los que cabe resaltar la acumulación de carbono. Esta investigación tuvo como objetivo determinar las fracciones de carbono orgánico presentes en el suelo del páramo La Cortadera, mediante la técnica de caracterización de materia orgánica y el método de digestión vía húmeda (Walkley-Black). Los resultados mostraron que la vegetación nativa tiene mayor concentración de carbono en comparación con las coberturas de cultivos y pastizales. El carbono extractable fue la fracción que presentó los valores más altos, seguido por los ácidos húmicos y fúlvicos. Se concluye que el páramo La Cortadera es un ecosistema muy vulnerable por el alto impacto antrópico; por lo tanto, se debe propender a su conservación y protección, por cuanto contiene fracciones lábiles de carbono que pueden ser devueltas directamente a la atmósfera y favorecer el cambio climático y el efecto invernadero.

Palabras clave: páramo, suelo, fracciones de carbono y cobertura vegetal.

Abstract

Páramos are considered strategic ecosystems because of their supply of environmental services, the accumulation of carbon being among those worth highlighting. This study aimed to determine the fractions of organic carbon present in the ground of the Páramo La Cortadera, employing the technique of organic matter characterization and the wet digestion method (Walkley – Black). The results showed that the native vegetation has a higher concentration of carbon compared to the coverings of farms and pastures; being that the carbon is extractable, the fraction that had the highest values, followed by humic and fulvic acids. The study concludes that the páramo “La Cortadera” is a very vulnerable ecosystem due to high anthropogenic impact, therefore, it is preferable to preserve and protect it, due to the fact that it contains labile carbon fractions that can be returned directly to the atmosphere, favoring climate change and the greenhouse effect.

Keywords: páramo, ground, carbon fractions and cover vegetation

Resumo

Os páramos são considerados ecossistemas estratégicos pela oferta de serviços ambientais, entre os quais cabe destacar a acumulação de carbono. Esta pesquisa teve como objetivo determinar as frações de carbono orgânico presente no solo do páramo “La Cortadera”, empregando a técnica de caracterização de matéria orgânica e o método de digestão por via úmida (Walkley – Black). Os resultados mostraram que a vegetação nativa tem maior concentração de carbono em comparação com as coberturas das culturas e as pastagens, sendo o carbono extraível, a fração que apresentou os valores mais elevados, seguido pelos ácidos húmicos e fúlvicos. Concluiu-se que o páramo La Cortadera é um ecossistema muito vulnerável pelo alto impacto antrópico, portanto, deve promover-lo e protegê-lo, devido às frações lábeis de carbono que podem ser retornadas diretamente para a atmosfera, favorecendo mudanças climáticas e o efeito estufa.

Palavras – Chave: páramo, solo, frações de carbono e cobertura vegetal.

1. Introducción

En el ámbito mundial existe una gran preocupación por el calentamiento global, debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), lo cual ha llamado la atención de la comunidad internacional y le motiva a instaurar convenios para estabilizar dichas concentraciones en la atmósfera.

El Protocolo de Kyoto reconoce que las emisiones netas de carbono pueden ser reducidas ya sea disminuyendo la tasa a la cual se emiten a la atmósfera esos gases, o bien, incrementando la tasa por la cual son retirados de esta gracias a los sumideros (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2002).

Dicho acuerdo establece compromisos vinculantes para los países industrializados y crea mecanismos de desarrollo limpio que permiten a sus gobiernos y empresas invertir en proyectos de reducción de emisiones en países en vía de desarrollo.

De este modo, se crea el mercado regulado de créditos de carbono, donde cada bono de carbono corresponde a una tonelada de dióxido de carbono equivalente (ton $\text{CO}_2\text{eq.}$) que ha dejado de ser emitida a la atmósfera. En Colombia, las negociaciones se implementaron a partir del primer trimestre de 2016, bajo la administración de la Bolsa Mercantil, con el objetivo de reducir 500.000 toneladas de CO_2 en los dos primeros años.

Colombia, gracias a su ubicación geográfica, se destaca dentro de los diez países con mayor biodiversidad del planeta, la cual no solo se limita a un sinnúmero de especies vegetales y animales, sino también a una inmensa variedad de ecosistemas que van desde el nivel del mar hasta las portentosas y silenciosas nieves perpetuas (Galvis y Morales, 2010).

Dentro de estos ecosistemas sobresalen los páramos, los cuales corresponden a áreas altas, frías, húmedas, nubladas y con vegetación abierta hasta arbustiva, donde se destacan los emblemáticos frailejones (Van der Hammen, 2007). Además, son un bioma altoandino propio de la región neotropical, ubicado en una franja altitudinal entre los 2900 m y 4500 m. Se calcula que de la extensión total de páramo existente en el mundo, Colombia es un país privilegiado con cerca de 14.434 km^2 ; Boyacá, por su parte, se constituye en el departamento con mayor extensión de páramo, representados en 4807,10 km^2 (Instituto Alexander Von Humboldt, 2009).

Los páramos son ambientes únicos, debido a la vegetación que los caracteriza, a las condiciones climáticas, a los suelos y a la altitud (Van der Hammen, 2007). Asimismo, son considerados medios estratégicos por su oferta de servicios ambientales, entre los que cabe resaltar la regulación hídrica, la biodiversidad única y el contenido de carbono acumulado que no solo está presente en la biomasa epigea, sino también en las fracciones de materia orgánica del suelo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]) et al., 2002).

Datos de investigaciones en ecosistemas terrestres indican que los suelos son capaces de retener alrededor de tres veces más carbono orgánico que la biomasa vegetal y animal sobre la tierra y el doble del carbono contenido en la atmósfera (Pla, 1994). Esta característica convierte al páramo en un escenario de mitigación ante el efecto del cambio climático; la temperatura característica hace que se presenten bajas tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes, lo cual favorece una lenta pero continua absorción neta de carbono atmosférico, que es acumulado como parte de la materia orgánica en sus suelos (García, 2003).

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos de vegetales, animales y microorganismos poco alterados, así como en humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, 1964). La descomposición de estos residuos en el suelo es un proceso biológico que involucra la asimilación parcial del carbono por la biomasa del suelo, la recirculación de la mayor parte de este hacia la atmósfera como dióxido de carbono y la transformación y polimerización del restante a materiales de elevado peso molecular, conocidos como *humus* (García, 2002).

El humus es el conjunto de compuestos orgánicos amorfos, poliméricos, de alto peso molecular y de color amarillo hasta gris oscuro o casi negro, que se acumulan en el suelo como consecuencia de su resistencia a la transformación. Se diferencian y agrupan de acuerdo con su solubilidad, peso molecular y grado de polimerización (Burbano, 1989):

- *Ácidos fúlvicos*. Son compuestos de bajo peso molecular, alta acidez (entre 900 y 1400 meq/100g), bajo grado de polimerización, solubles en álcali y en ácido.
- *Ácidos húmicos*. Son compuestos de alto peso molecular, baja acidez (entre 500 y 870 meq/100g), alto grado de polimerización, solubles en álcali, pero precipitan en medio ácido y presentan una fracción soluble en etanol que se conoce como *ácidos himatomelánicos*.
- *Huminas*. Se refieren a la fracción del humus más resistente a la descomposición, que no es soluble ni en ácido ni en álcali (Jaramillo, 2002).

El carbono almacenado en los suelos tiene un papel importante en los procesos globales de cambio climático, ya que los suelos pueden funcionar como un sumidero o una fuente de CO₂ atmosférico, dependiendo de las circunstancias (Díaz, 2010).

De acuerdo con lo anterior, la importancia de las fracciones de carbono orgánico radica en que aquellas fracciones frágiles y de menor peso molecular son las que tienen mayor probabilidad de oxidarse al quedar expuestas, mientras que aquellas fracciones estables son más difíciles de liberarse a la atmósfera.; por lo tanto, al obtener los datos de las diferentes fracciones, podemos establecer un valor más aproximado del contenido real capturado por el suelo.

La cuantificación precisa del carbono almacenado en los suelos bajo diferentes ecosistemas es indispensable para la comprensión y modelización de los procesos de retroalimentación (Díaz, 2010). Por otro lado, aún falta información o datos sobre la capacidad de almacenamiento de carbono bajo diferentes tipos de coberturas vegetales.

Según lo anterior, el objetivo de esta investigación es determinar las fracciones de carbono orgánico en el suelo de los tres ambientes presentes (vegetación nativa, cultivos y pastizales) en el páramo La Cortadera, con el fin de aportar argumentos teóricos que evidencien la necesidad de conservar y proteger los ecosistemas de páramo en nuestro departamento y, por ende, en el país, dado el importante papel ecológico y estratégico que desempeñan.

A su vez, este trabajo será la base para planificar proyectos de inclusión de esquemas de pago por servicios ambientales (PSA), como una posible estrategia para la conservación de este ecosistema.

2. Materiales y métodos

A. Área de estudio

Este estudio se realizó en el páramo La Cortadera, el cual tiene una extensión de 27.031,86 ha, se ubica en jurisdicción del departamento de Boyacá, entre los municipios de Pesca, Toca, Tuta y Siachoque, en

coordenadas 05°32'13.7' N y 0.73°06'50.5' W, y rango altitudinal de 3300 a 3815 m. Se encuentra conformando un corredor hacia el sur-centro de la cuenca del Río Chicamocha (Corpoboyacá y Ecosistema Colombia, 2008).

B. Toma y procesamiento de muestras

Se realizó un muestreo aleatorio simple a partir de la selección de 70 puntos distribuidos en el área de estudio y abarcando tres tipos de coberturas vegetales (vegetación nativa, cultivos de *Solanum tuberosum* y *Avena sativa*, y pastizales de *Pennisetum clandestinum*) presentes en el suelo del páramo La Cortadera. En cada uno de los puntos se tomaron muestras a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm), en una cantidad de aproximadamente 750 gr de suelo, depositada luego en una bolsa de polietileno debidamente marcada. Cada muestra de suelo fue secada a temperatura ambiente, pasada por un tamiz 10 y empacada nuevamente en la bolsa para su análisis.

C. Fraccionamiento de la materia orgánica

Se tomaron 500 mg de suelo, se les agregaron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N, se agitaron por 30 min y posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm durante 20 min. El sobrenadante fue dividido en dos porciones iguales, empleando dos Erlenmeyers de 125 ml, los cuales fueron marcados con A y B.

El Erlenmeyer que contenía la muestra A fue sometido a un calentamiento empleando plancha a 55 °C, hasta que se obtuvo un volumen de 1/10 de la parte inicial; luego se dejó enfriar y se determinó el carbono orgánico por el método Walkley-Black, tras lo cual se obtuvo el contenido de la fracción de carbono extractable.

A la solución del Erlenmeyer rotulado con B se le agregaron 20 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,5 M, controlando el pH hasta que llegara a 2,0, dejándolo en reposo durante 2 horas y posteriormente centrifugándolo

por 10 minutos a 3000 rpm, con el fin de separar los ácidos húmicos (precipitado) de los ácidos fúlvicos (sobrenadante).

El sobrenadante resultado del proceso de acidificación fue llevado a un Erlenmeyer de 125 ml, rotulado con C y sometido a calentamiento de 55 °C hasta obtener un volumen de 1/10 del inicial, para posteriormente determinar el carbono que integra los ácidos fúlvicos aplicando el método Walkley-Black.

El residuo o precipitado fue llevado a un Erlenmeyer rotulado con D. Se le adicionaron 20 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N y se agitó durante 15 min para solubilizar los ácidos húmicos; posteriormente fue sometido a calentamiento de 55 °C hasta obtener un volumen de 1/10 del inicial, para finalmente determinar el carbono que está conformando los ácidos húmicos a través del método Walkley-Black.

D. Determinación de carbono

La determinación de carbono en cada una de las muestras fraccionadas se determinó aplicando el método de digestión vía húmeda Walkley-Black, el cual se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo con dicromato de potasio en medio ácido.

El porcentaje de carbono orgánico se halló de acuerdo con la fórmula [1]:

$$\%C.O. = \frac{(Bp-M) \times N \times 0.003 \times (100 * pw)}{Pm} \quad [1]$$

Donde Bp indica los mL de sulfato ferroso gastados en la titulación del blanco; M es mL de sulfato ferroso gastados en la titulación de la muestra; V representa los mL de dicromato de potasio agregados al blanco; N es la normalidad del sulfato ferroso, como resultado de la titulación de los blancos implementados (= V/ Bp); 0,003 es el peso en gr de un meq de carbono; pw

es el porcentaje de humedad en suelo seco a 105 °C (factor de corrección de humedad), y pm es el peso muestra en gr.

E. Análisis estadístico

Con el fin de evaluar el efecto individual y en conjunto de los factores involucrados, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) empleando un modelo factorial $2 \times 3 \times 3$, donde la cobertura presentaba tres niveles: vegetación nativa, cultivos y pastizales; la fracción de carbono: carbono extractable, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos; y la profundidad, 0-15 cm y 15-30 cm. A partir de ello se formularon las siguientes hipótesis:

- *Hipótesis nula (H₀):* ninguna variable tienen interacción con otra ($p > 0,05$).

- *Hipótesis alterna:* alguna variable tiene interacción con otra ($p < 0,05$).

3. Resultados y discusión

A. Análisis factorial para cobertura, profundidad y fracción de carbono

De acuerdo con el análisis de varianza realizado (tabla 1), el valor -P del ANOVA para interacción de cobertura y profundidad (AB) corresponde a 0,2916; para cobertura y fracción (AC) $p = 0,1042$ y para profundidad y fracción (BC), $p = 0,5422$; y para los tres efectos (ABC) de 0,9199, lo cual indica que no hay interacción entre ninguna de las variables mencionadas, debido a que el valor de p es mayor a 0,05.

Tabla 1. Análisis de varianza para medida, suma de cuadrados tipo III

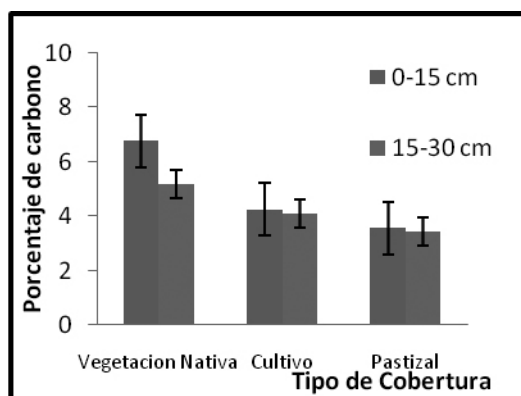
Fuente	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: cobertura	525.681	2	262.84	12.11	0
B: profundidad	36.7131	1	36.7131	1.69	0.1941
C: fraccion	2002.2	2	1001.1	46.14	0
Interacciones					
AB	53.645	2	26.8225	1.24	0.2916
AC	167.705	4	41.9263	1.93	0.1042
BC	26.5999	2	13.3	0.61	0.5422
ABC	20.1969	4	5.04921	0.23	0.9199
Error	8722.21	402	21.697		
Total	12218.7	419			

B. Cobertura y profundidad

Para realizar el análisis de la cobertura en relación con la profundidad, se calculó el carbono total que obedece al promedio de datos de las tres fracciones (extractable, ácido fúlvico y ácido húmico).

De acuerdo con la figura 1, la concentración de carbono es mayor a profundidad 0-15 cm que a 15-30 cm en todas las coberturas; así, se presenta una diferencia más significativa en la vegetación nativa. Lo anterior coincide con los resultados reportados por Armas, Mora, Arbelo y Rodríguez (2013), que evidenciaron que en la mayoría de los casos las concentraciones de carbono fueron superiores en las muestras tomadas de 0-15 cm que en las de 15-30cm, cuyo comportamiento se debe al aporte de la hojarasca, la producción y la exudación de raíces, las cuales, una vez en el suelo, se metabolizan y son mineralizadas por los microorganismos.

Figura 1. Promedio de carbono total según la profundidad en cada cobertura



De igual manera, en la figura 1 se evidencia que la vegetación nativa presentó mayor contenido de carbono orgánico (6,76 a profundidad de 0-15 cm y 5,18 a 15-30 cm) en relación con las otras coberturas, lo cual posiblemente se debe al bajo nivel de resiliencia de los suelos de páramo, que al ser sometidos a las actividades propias para la siembra y pastoreo, tienden a liberar a la atmósfera una proporción del carbono por

efectos de oxidación. Estos resultados coinciden con los encontrados por García (2002), que afirma que las capas superficiales de suelos cultivados presentan significativamente menores cantidades de carbono y una tendencia a la migración de este a las capas más profundas con respecto a los suelos no intervenidos.

La figura 1 permite establecer que la cobertura de cultivos presentó depósitos de carbono orgánico de 4,08 y 4,24 en cada una de las profundidades, respectivamente; con ello se evidencia que no existe una variación relevante entre ambas profundidades.

Diekow *et al.* (2005) en Brasil encontraron una tendencia similar, donde cultivos con asociaciones de cereales y leguminosas almacenaron mayores cantidades de carbono a partir de 17,5 cm, lo que explicaron por la posible disposición de material orgánico por medio del aporte directo de las raíces o por el transporte de residuos orgánicos a través del perfil por la meso- y macrofauna.

Las áreas de pastizal presentaron los menores contenidos de carbono, lo cual se debe probablemente a que esta actividad tiene efectos profundos en la estructura y el funcionamiento de los páramos, donde el pisoteo del ganado genera compactación del suelo y pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas retenedoras de agua y carbono (FAO, 2002).

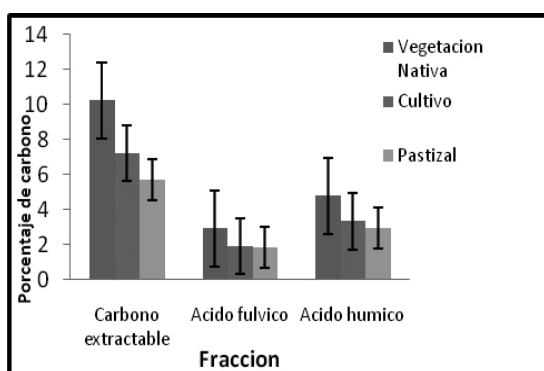
C. Cobertura y fracción

Para analizar las variables de cobertura y fracción, se calculó el promedio de carbono teniendo en cuenta las dos profundidades.

De acuerdo con la figura 2, las tres fracciones de carbono presentan porcentajes más altos en la cobertura de vegetación nativa y más bajos en pastizal, lo cual se debe probablemente a que los ecosistemas con vegetación nativa contienen más carbono por unidad

de superficie que cualquier otro tipo de uso del suelo; estos tienen un papel relevante en los procesos de captura de carbono.

Figura 2. Promedio de carbono según cobertura en cada fracción



Asimismo, la disminución en las fracciones de carbono en cultivos y pastizales posiblemente responde a las actividades de deforestación, quema de la vegetación natural, adecuación del suelo con fertilizantes y arado para que pueda ser cultivado. Esto se complementa con lo expresado por Eiza, Fioriti, Studdert y Echeverría (2005), que indican que la labranza por la acción física destruye los macroagregados y provoca la pérdida de su estabilidad, debido a la reducción de los contenidos de materia orgánica por exposición de las fracciones que se hallaban protegidas dentro de sus estructuras.

De acuerdo con García (2002), en el proceso de cultivo de suelos nativos se estima que hay una pérdida de carbono orgánico, en la medida en que la materia orgánica previamente protegida, por efectos de remoción de la capa del suelo, queda expuesta a la atmósfera, lo que favorece los procesos de oxidación.

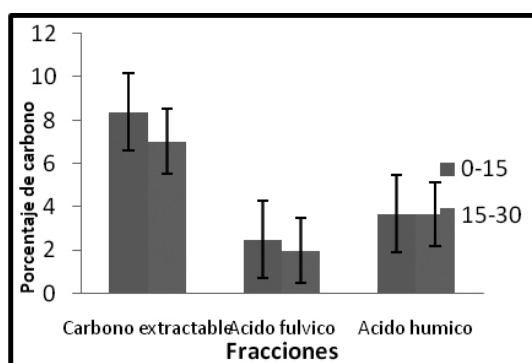
Según Kirkby y Morgan (1984), la disminución en los contenidos de carbono orgánico ocurre como resultado de las actividades de quemaduras, recolección de leña o

pastoreo excesivo sin que haya retorno de materiales que compensen dichas pérdidas, así que por efectos del drenaje y la labranza, que aceleran la oxidación de la materia orgánica (MO). Lo anterior conduce generalmente a reducir la capacidad de retención de agua y causa una disminución en la productividad y en la cobertura vegetal, sin renovación de la MO y facilitando la erosión.

D. Fracción y profundidad

Para evaluar la profundidad en relación con la fracción, se obtuvo el promedio de los porcentajes de carbono en los tres tipos de cobertura, donde las fracciones de carbono presentaron mayor porcentaje de carbono orgánico a profundidad de 0-15 cm que a 15-30 cm. El carbono extractable fue el que presentó mayor cantidad de carbono en ambas profundidades, en tanto el ácido fúlvico fue el que tuvo menor cantidad (figura 3). Las cantidades de ácido húmico son muy similares en las dos profundidades: presentan valores de 3,69 y 3,65 a profundidad de 0-15cm y de 15-30 cm, respectivamente, con una variación de 0,04.

Figura 3. Promedio de carbono según profundidad en cada fracción



Lo observado en la figura 3 se explica porque los ácidos fúlvicos son de bajo peso molecular, tienen mayor contenido de oxígeno pero menor contenido de carbono que los ácidos húmicos, que tienen un alto

peso molecular. Como regla general, hay más carbono y menos oxígeno en el ácido húmico que en el fúlvico. Esto lleva al ácido fúlvico a tener mayor cantidad de grupos ácidos, con una mayor capacidad de complejación, y a ser soluble a todo pH, actuando significativamente en la movilidad de cationes metálicos en el suelo. Por otro lado, el ácido húmico, por ser de mayor peso molecular que el ácido fúlvico, hace pensar que está más polimerizado y es de mayor estado de humificación (García, 2002).

Además, el color negro característico de los suelos del páramo, debido a la alta concentración de compuestos húmicos, favorece la absorción de la radiación solar, lo cual, sumado a la pérdida de cobertura vegetal nativa, generaría un aumento de la temperatura del suelo. A su vez, lo anterior, unido al aumento de la temperatura del ambiente, aceleraría los procesos microbiológicos de la descomposición y conllevaría la oxidación de la materia orgánica y, por ende, la liberación de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera (Rondón, 2000).

Las fracciones de carbono son de gran importancia si se tiene en cuenta que el carbono orgánico del suelo afecta la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva (Carter, 2002).

En el páramo La Cortadera se observó una problemática ambiental reflejada en la ampliación de la frontera agropecuaria, que se extendía sectores por encima de los 3500 m.s.n.m., donde las áreas nativas son dispuestas al pastoreo y las zonas por debajo de esta altitud se utilizan en agricultura con cultivos de papa y avena, lo cual ha requerido la remoción y quema tanto de la vegetación como del mantillo y arado del suelo.

Los ecosistemas de páramo deberían dedicarse a la conservación, con el objeto de preservar los recursos hídricos esenciales y el carbono almacenado. Sin

embargo, por la presión antrópica sobre la tierra, muchas zonas se han adaptado para la actividad agropecuaria, con la consiguiente pérdida de la estructura del suelo, de retención de agua y de carbono por la materia orgánica y alteración de los ciclos biogeoquímicos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1988).

De acuerdo con las características y funciones que desempeñan los páramos, se puede afirmar que la introducción inadecuada de actividades productivas que generan la transformación de estos ecosistemas es una opción que conlleva un elevado perjuicio colectivo, dado que el cambio en el uso del suelo está relacionado con el cambio climático como un factor causal.

Las actividades de cambio de uso del suelo contribuyen al cambio climático; así, el uso del suelo se puede ver afectado por el cambio climático; de ahí que unas adecuadas estrategias de uso del suelo podrían ayudar a mitigar este fenómeno (Dale, 1997).

El mejoramiento de pasturas y el aumento de la cobertura arbórea pueden hacer que usos de la tierra como las pasturas degradadas presenten un alto potencial de secuestro de carbono en el contexto de finca. En términos de paisaje, el potencial de las fincas ganaderas se vería incrementado mediante la inserción de algunas áreas con plantaciones forestales y liberando áreas no aptas para la producción agropecuaria, para dar paso a la regeneración natural de bosques secundarios (Ibrahim *et al.*, 2007).

4. Conclusiones

La zona del páramo La Cortadera es un ecosistema que actúa como sumidero de carbono, pero que, debido al efecto antrópico representado por la implementación de áreas de cultivo y pastoreo, puede convertirse en una fuente de dióxido de carbono para la atmósfera. Los suelos con vegetación nativa presentaron mayor porcentaje de carbono en comparación con los suelos

bajo coberturas de cultivos y pastizales. El carbono extractable es la fracción que presentó los valores más altos, seguido por los ácidos húmicos y fúlvicos, respectivamente. Se evidencia así que la cobertura vegetal influye notablemente en la temperatura superficial del suelo, la cual es a su vez un factor limitante para la descomposición de la materia orgánica y, por ende, para la cantidad de CO₂ que se transfiere a la atmósfera.

El suelo superficial (0-15 cm) concentró la mayor cantidad de fracciones de carbono, en comparación con la profundidad 15-30 cm, debido posiblemente a los aportes de material vegetal, representados en hojarasca, flores, raíces, entre otros.

El páramo La Cortadera es un ecosistema muy vulnerable por el alto impacto antrópico; por lo tanto, se debe propender a conservarlo y protegerlo, pues contiene fracciones lábiles de carbono que pueden ser devueltas directamente a la atmósfera y, por ende, favorecer el cambio climático y efecto invernadero.

El manejo inadecuado del suelo dedicado al cultivo y pastoreo ha conllevado la reducción del contenido de materia orgánica y, por ende, de carbono orgánico, situación que puede alterar las propiedades físicas y químicas del suelo, y contribuir a la pérdida de su calidad.

Si la cobertura vegetal del páramo desaparece por cualquier causa, la superficie quedaría expuesta a la acción directa del sol, que propiciaría la desecación del suelo, cambiando su estructura y permitiendo que la materia orgánica se descomponga más rápidamente.

5. Referencias

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (2002), *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos*. Roma.

Galvis, M. y Morales, M. (2010), *Páramos de Boyacá: Flora representativa*. Tunja: Corpoboyacá.

Van der Hammen, T. (2007). Los páramos: archipiélagos terrestres en el norte de los Andes. En M. Morales *et al.*, *Atlas de páramos de Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto Alexander Von Humboldt, (2009). En M. Galvis y M. Morale, (Eds.), *Páramos de Boyacá: Flora representativa*. Tunja: Corpoboyacá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Ministerio del Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD) (2002). *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición Hot Spot & Global Climatic Tensor*. Bogotá: Autor.

Pla, I. (1994). La materia orgánica y la degradación y erosión de suelos en el trópico. En *Mmemorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo* (pp. 38-47). Bucaramanga: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

García, J. (2003). *Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de Chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio* (tesis de grado para optar el título de Ecólogo). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Jackson, M. (1964). *Análisis químico de suelos*. Barcelona: Omega.

García, A. (2002). Manejo de la degradación del suelo. *Ciencia del Suelo*, 309-353.

- Burbano, H. (1989). *El suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz, J. L. (2010). ¿Is soil carbon storage underestimated? *Chemosphere*, 80, 346–349.
- Corpoboyacá & Ecosistema Colombia (2008). *Evaluación del estado de conservación de cuatro especies de frailejones amenazadas (Espeletia paipana, Espeletia chocontana, Espeletia oswaldiana, Espeletia brachyaxiantha sub sp. pescana) del Departamento de Boyacá*. Tunja: Autor.
- Armas, C. M., Mora J. L., Arbelo C. D. y Rodríguez, A. (2013). Labile carbon pools and biological activity in volcanic soils of the Canary Islands. *Spanish Journal of Soil Science*, 3(1).
- Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D. P. y Ko, I. (2005). Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research*, 81, 87-95.
- Eiza, M., Fioriti, N., Studdert, G. y Echeverría, H. (2005). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo*, 23(1), 59-67.
- Kirkby, M. J. y Morgan, R. P. (1984). *Erosión del suelo*. Ciudad de México: Limusa.
- Rondón, M. (2000). Los páramos andinos frente al calentamiento global. Historia de una sed anunciada. *Revista Investigación y Ciencia*, 9, 46-53.
- Carter, M. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomic Journal*, 94, 38-40.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1988). *Estudio semidetallado de suelos de áreas representativas de los páramos de Sumapaz, Neusa y Chingaza (Departamento de Cundinamarca)*. Bogotá: Autor.
- Dale, V. (1997). The relationship between Land-use Change and Climate Change. *Ecological Applications*, 7(3), 753-769.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y 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.