

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BIOMASA VEGETAL EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE COLOMBIA

Alba M. Torres G.¹, Enrique J. Peña S.¹, Orlando Zúñiga E.², Julián A. Peña O.²

Resumen

Se evaluó el impacto, de las actividades antrópicas, sobre el almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal, de bosques intervenidos y no intervenidos, mediante parcelas permanentes, en los ecosistemas de páramo y bosque alto andino, en el Parque Nacional Natural Chingaza y en el Parque Nacional Natural Los Nevados, de Colombia. Se midió directamente, el carbono almacenado en biomasa de pastizales de páramo de forma indirecta, en biomasa de bosques, utilizando ecuaciones calibradas (metodología no destructiva) y se modelaron, ecuaciones de regresión estadística para estimar de forma indirecta, la biomasa de arbustos de páramo. Los resultados muestran que, los bosques altos andinos más conservados, tienen el mayor contenido de carbono, el cual se reduce drásticamente, debido a la fragmentación y la tala. Por consiguiente, es muy importante conservar el bosque alto andino, en el estado más natural posible, porque éste, es el bosque que posee, una mayor reserva de carbono.

Palabras clave: bosque alto andino, estimación indirecta de biomasa, páramo, Parque Nacional Natural Chingaza, Parque Nacional Natural Los Nevados.

IMPACT ASSESSMENT OF ANTHROPIC ACTIVITIES ON CARBON IN PLANT BIOMASS STORAGE IN COLOMBIAN HIGH SIERRA ANDEAN ECOSYSTEMS

Abstract

The impact of anthropic activities on carbon storage in plant biomass was evaluated in intervened and non-intervened forests through the establishment of permanent plots in the moor and Andean high forests in the Colombian Chingaza National Natural Park and in the Snow-covered Mountains National Natural Park. Carbon stored in plant biomass was measured directly in moor grasslands. Indirectly it was measured in forest biomass using calibrated equations (non-destructive methodology) and statistical regression equations were modeled to estimate indirectly the moor biomass. The results show that the most preserved high Andean forests have a higher carbon content which can be reduced drastically because of fragmentation and felling. Therefore, it is very important to maintain the high Andean forest in the most natural state possible, because this is the forest with the highest carbon reserve.

Key words: high Andean forest, indirect estimation of plant biomass, moor, Chingaza National Park, Snow-covered Mountains National Park.

* FR: 10-IV-2012. FA: 10-IX-2012.

¹ Departamento de Biología, Universidad del Valle. Email: alba.torres@correounivalle.edu.co. enrique.pena@correounivalle.edu.co.

² Departamento de Física, Universidad del Valle. Email: orlando.zuniga@correounivalle.edu.co. julianpo@univalle.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña (páramo y bosque alto andino), como sumideros y fuente de CO₂ (dióxido de carbono), han ganado gran interés e importancia, debido a la creciente preocupación mundial, sobre el medio ambiente y el calentamiento global, gracias a su capacidad de transformación de CO₂, al ser considerado éste, como un gas de efecto invernadero (GEI). Se ha calculado un aumento del 80 %, de la concentración de CO₂, en la atmósfera, entre 1970 y 2004, mientras que para el 2005, se alcanzó los 379 ppm., excediendo, por mucho, el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años (IPCC, 2007).

El páramo es la zona con vegetación abierta, semiabierta, arbustiva y boscosa baja; que se extiende más allá, del límite altitudinal del bosque alto andino y tiene su límite, en las nieves perpetuas (VAN DER HAMMEN, 1997). Los bosques altos andinos, son áreas de cobertura boscosa, que se encuentran naturalmente, desde 2200 msnm, hasta aproximadamente, los 3500 msnm (IDEAM, 2002). Las bajas temperaturas y humedad alta, hacen que el ecosistema de páramo y bosque alto andino, tengan bajas tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes (BRADY & WEIL, 2002; LAL, 2004), lo cual favorece, una lenta, pero continua absorción neta de CO₂ atmosférico, que es acumulado como parte de la materia orgánica en sus suelos.

A pesar de la topografía abrupta de los ecosistemas de alta montaña, las condiciones climáticas de las cordilleras, han resultado bastante favorables para el establecimiento de la mayor cantidad de la población humana, lo que ha provocado, la disminución progresiva de escenarios naturales, debido a la adecuación de tierras para sistemas agropecuarios y por la expansión de las ciudades. La deforestación, el ascenso del límite de la agricultura, el pastoreo y las quemas, son los problemas más graves que enfrentan los ecosistemas de alta montaña (VAN DER HAMMEN 1995; CASTAÑO *et al.*, 2002; VERWEIJ *et al.*, 2003).

El informe, Primera Comunicación Nacional (CN1), del gobierno colombiano, para la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, determinó, que uno de los tipos de ecosistemas en Colombia, más vulnerables a los efectos del cambio climático, serían los de alta montaña. Con un aumento proyectado para el 2050, de la temperatura media anual del aire para el territorio nacional, entre 1°C y 2°C; y una variación en la precipitación \pm 15 %, esperándose que el 78 % de los nevados y el 56 % de los páramos, desaparezcan (MAVDT *et al.*, 2001).

El monitoreo del contenido de carbono en ecosistemas de alta montaña, ha cobrado una gran importancia global en la actualidad, dado el papel potencial, que éstos, pueden desempeñar como sumideros o fuentes del mismo y consecuentemente, como reductores de la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂) (WATSON *et al.*, 2000; HOUGHTON *et al.*, 2001).

En este estudio, se evaluó el impacto de las actividades antrópicas, en el almacenamiento de carbono en biomasa vegetal, de ecosistemas de alta montaña en Colombia, especialmente, en el Parque Nacional Natural (PNN) Chingaza y el Parque Nacional Natural (PNN) Los Nevados, en diferentes zonas de páramo y bosque alto andino, en sus variaciones intervenido y no intervenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El páramo y el bosque alto andino, fueron los ecosistemas de alta montaña colombianos, seleccionados para la evaluación de la intervención, de las actividades antrópicas en el almacenamiento de carbono en biomasa vegetal del PNN Chingaza (Figura 1) y en el PNN Los Nevados (Figura 2).

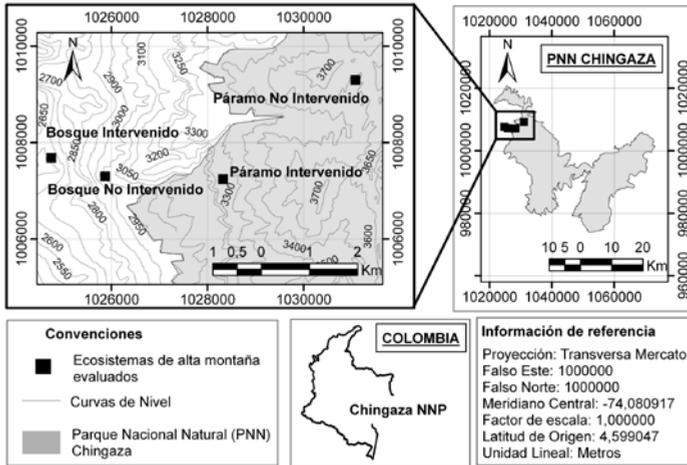


Figura 1. Ecosistemas de alta montaña evaluados para la acumulación de carbono en biomasa vegetal, en el PNN Chingaza, Colombia.

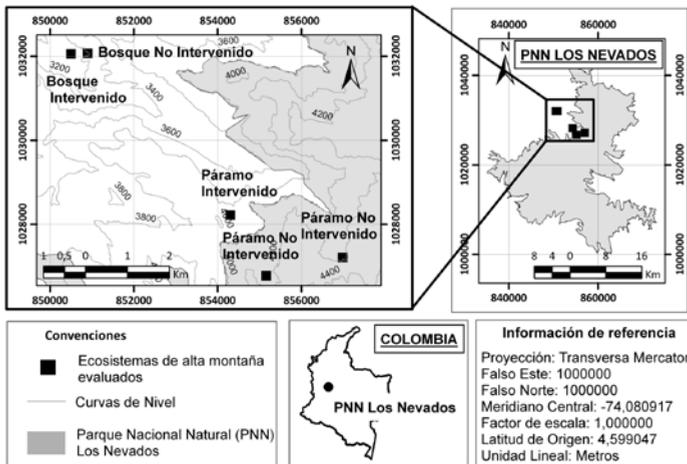


Figura 2. Ecosistemas de alta montaña evaluados para la acumulación de carbono en biomasa vegetal, en el PNN Los Nevados, Colombia.

Parcelas permanentes

Se establecieron nueve parcelas permanentes rectangulares, de 500 m² ó 0,05 ha (20 m x 25 m), con 20 sub-parcelas de 5 m x 5 m, y sus vértices se marcaron con tubos de PVC. Cada parcela, se ubicó de manera que quedara rodeada de una franja de vegetación igual a la existente, para reducir los efectos de borde.

En los ecosistemas de alta montaña, se establecieron cuatro parcelas permanentes: una en bosque intervenido (N 1032072 - E 850502, 3152 msnm) y una en bosque no intervenido (N 1032058 - E 850900, 3194 msnm), en el PNN Los Nevados; una en bosque intervenido (N 1007649 - E 1024726, 2650 msnm), y una en bosque no intervenido (N 1007292 - E 1025851, 3041 msnm), en el PNN Chingaza. En el ecosistema de páramo, se establecieron cinco parcelas permanentes: una en páramo intervenido, en el PNN Los Nevados (N 1028219 - E 854298, 3900 msnm), una en páramo intervenido, en el PNN Chingaza (N 1007239 - E 1028298, 2291 msnm); dos en páramo no intervenido, en el PNN Los Nevados (N 1027210 - E 856984, 4250 msnm y N 1026769 - E 855193, 4173 msnm) y una en páramo no intervenido, en el PNN Chingaza (N 1009290 - E 1031116, 3611 msnm), (UNIVALLE & IDEAM, 2008).

Se midieron todos los individuos en las parcelas (altura total, altura de fuste, diámetro del tallo a la altura del pecho: DAP, densidad de la madera). Para las mediciones, se utilizaron cintas métricas y tubos de PVC, de 3 m. La densidad de la madera, se midió, tomando cilindros de 10 cm de longitud. A estos cilindros, se les quitó la peridermis, se pulieron en un torno de ebanistería y finalmente, se secaron en un horno a 70 °C, hasta que perdieron toda la humedad. El peso seco, fue tomado en una balanza de precisión PL-I502-S Mettler Toledo.

Cálculo de biomasa y carbono

Conceptualmente, la biomasa es la cantidad total de materia orgánica seca (SATOO & MADGWICK, 1982) y se calcula, de forma directa, secando la muestra de vegetación en un horno a 70 °C, hasta obtener el peso constante de la muestra.

La biomasa se estima indirectamente (metodología no destructiva), mediante ecuaciones de regresión, que establecen una relación estadística entre una o más variables independientes, de la planta (e.g. altura total, DAP, densidad de la madera, entre otras). Por su parte, el peso seco, se midió, sobre una muestra de vegetación de la misma especie, tomada fuera de las parcelas permanentes. Todos los métodos, implican la destrucción de las plantas durante la medición del peso seco. Es por esto, que las mediciones de peso, se deben efectuar fuera de las parcelas permanentes, pero dentro del mismo tipo de vegetación. Posteriormente, con base en la ecuación de regresión construida, se estima el peso seco de la vegetación, dentro de las parcelas permanentes, a partir de las variables medidas directamente en la vegetación (altura, diámetro, densidad, entre otras) (VALLEJO *et al.*, 2005).

La biomasa de un bosque y la vegetación de páramo, está distribuida, en una gran variedad de componentes agrupados como biomasa aérea (biomasa de tallos, ramas, hojas de árboles, arbustos, lianas y hierbas) y biomasa subterránea (biomasa de raíces gruesas y finas). Para obtener la cantidad de carbono en la

vegetación, se multiplica el valor obtenido de la biomasa, por un factor de 0,5. Este factor, es el resultado de un gran número de estudios, que han demostrado que, en promedio, la materia vegetal, contiene un 50 % de carbono, una vez, se ha removido el agua (MACDICKEN, 1977; FEARNESIDE *et al.*, 1999).

Biomasa aérea de bosque

Se utilizó la metodología no destructiva o indirecta, de medición de la biomasa aérea de árboles. De esta manera, se aplicó la ecuación de estimación de la biomasa de tipo exponencial propuesta por BROWN *et al.* (1989), con parámetros estimados para bosque húmedo montano (bh-M) en Colombia, por ALVAREZ *et al.* (2011, 2012).

$$BAA = e^{-2.450 + 0.932 \ln(d^2 * h * D)} \quad (\text{ecuación 1}).$$

Donde:

BAA = Biomasa aérea de árbol (kg); d = diámetro a la altura del pecho (cm); e = base de logaritmo natural (2,718271); h = altura total del árbol (cm); D = densidad básica de la madera (kg cm⁻³).

Biomasa subterránea de bosque

Se utilizó el método no destructivo para evaluar la biomasa subterránea de raíces gruesas (> 5 mm de grosor) de cada árbol marcado, con base en su diámetro. Se utilizó la ecuación 3 calibrada por SIERRA *et al.* (2003), la cual fue desarrollada con muestras de árboles en bosques secundarios y primarios, debido a que puede ser utilizada en ambos casos. Este modelo es considerado adecuado para bosques de alta montaña, debido a que LEUSCHNER *et al.* (2007), encontraron que la biomasa total de raíces, tuvo un incremento no significativo entre 1050 y 3060 m.s.n.m., en los andes ecuatorianos.

$$BSA = - \exp(-4,394 + 2,693 \ln(d)) \quad (\text{ecuación 2}).$$

Donde:

BSA = Biomasa subterránea de árbol, > 5 mm (kg); d = diámetro a la altura del pecho (cm).

Biomasa total de arbustos de páramo

Debido a la ausencia de ecuaciones para estimar la biomasa de arbustos de páramo en forma indirecta, en la literatura disponible, fue necesario establecer las ecuaciones 3 y 4, que permitieron estimar la biomasa aérea y la biomasa subterránea. Se midió la biomasa en forma directa, en los cuatro géneros más frecuentes de arbustos de páramo (i.e. *Baccharis*, *Diplostephium*, *Espeletia* y *Gynoxys*). Para cada especie se tomaron muestras fuera de la parcela permanente. La ecuación de regresión fue modelada con la altura total de la planta en centímetros y, por tanto, es la unidad de entrada de esta variable para la ecuación.

$$\text{BAP} = -2074,48 + 24,49 * h \quad (\text{ecuación 3}).$$

$$\text{BSP} = -920,51 + 10,83 * h \quad (\text{ecuación 4}).$$

Donde:

BAP = Biomasa aérea de arbusto de páramo (kg). Parámetros estimados con n=10; $R^2 = 0.6874$; $P = 0,003$; cuadrado medio error 588450.

BSP = Biomasa subterránea de arbusto de páramo (kg). Parámetros estimados con n=10; $R^2 = 0.5763$; $P = 0,0177$, cuadro medio del error 190221.

h = altura total de la planta (cm).

Biomasa de pastizales de páramo

La biomasa aérea y subterránea de pastizales, se midió de forma directa, en transectos de 100 m, con 5 parcelas temporales de 1 m². El transecto, se efectuó fuera y paralelo, a la parcela permanente, pero dentro del mismo tipo de vegetación. El promedio de la biomasa de pastizales, se adicionó, a la biomasa estimada en las parcelas permanentes de páramo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La vegetación del bosque alto andino, en el PNN Chingaza, está representada por los géneros *Clusia*, *Weinmannia* y especies de *Melastomataceae*, *Meliaceae* y *Rubiaceae*. La vegetación del bosque alto andino, en el PNN Los Nevados, está representada principalmente, por los géneros: *Saurauia*, *Oreopanax*, *Cyathea* y especies de *Melastomataceae*.

Es bastante claro, la mayor capacidad de fijación de carbono, en el bosque alto andino no intervenido, en el PNN Chingaza, comparada con el PNN Los Nevados, la cual, es un poco inferior, a la mitad (Figura 3). Lo anterior, se presenta, porque el origen de los suelos del conjunto montañoso del PNN Chingaza, está enriquecido por depósitos de origen submarino, con abundantes fósiles del cretácico; valles planos de origen glacial y precipitación promedio, superior a 3000 mm (GARCÉS & DE LA ZERDA, 1994), que albergan la vegetación existente, en contraste, con el conjunto montañoso, en el PNN Los Nevados, de relieve abrupto y precipitación promedio, entre 1000 y 2000 mm.

El carbono acumulado por el bosque alto andino intervenido, representa, tan solo el 10 y 20 %, del carbono acumulado, en el bosque alto andino no intervenido, en el PNN Chingaza y PNN Los Nevados, respectivamente (Figura 3). Esto demuestra, una mayor presión de intervención en el PNN Chingaza, comparada con el PNN Los Nevados. Esto se debe a que, en el PNN Chingaza, el uso de los suelos, entre los 3000 y 3500 msnm, ha estado, quizás, por más de 300 años, orientado principalmente, hacia actividades agrícolas y pecuarias, como el cultivo de papa y la ganadería extensiva, prácticas que en algunos casos, implican la introducción de pastos mejorados (VARGAS & PEDRAZA, 2004).

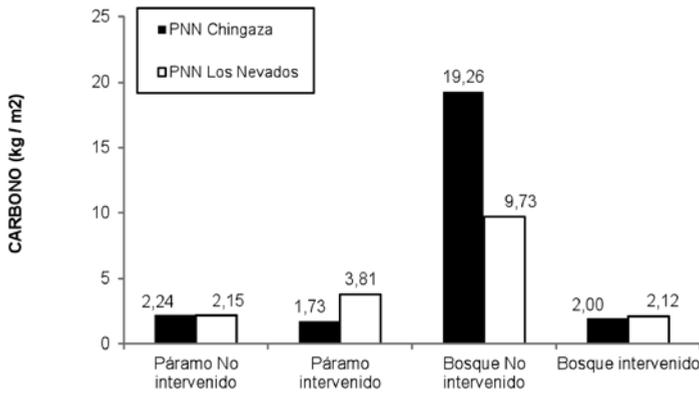


Figura 3. Carbono acumulado por la vegetación, en el PNN Chingaza y PNN Los Nevados, Colombia (Kg / m²).

Una vez, se han alcanzado altos niveles de intervención del bosque, la acumulación de carbono, es bastante baja (Figura 3). Esta misma situación, la documentó LAPEYRE *et al.* (2004), en el Perú, donde los sistemas de bosques intervenidos evaluados, tienen los contenidos más bajos de captura de carbono, comparado con los ecosistemas no intervenidos.

La vegetación leñosa o arbustiva, en el páramo del PNN Chingaza, está representada por arbustos como: *Hypericum goyanesii* Cuatrc., *Espeletia argentea* Bonpl., *Espeletia grandiflora* Bonpl., *Bejaria resinosa* Mutis, *Berberis glauca* DC., y *Aragoa* sp. En el páramo del PNN Los Nevados, las especies más comunes son: *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers., *Escallonia myrtoidea* Bertero, *Diplostephium* sp., *Gynoxys* sp., y *Espeletia* spp. Los pastizales, en páramos no intervenidos, están representados principalmente, por géneros de: Poaceae, como *Agrostis* y *Calamagrostis*, mientras que, en los pastizales del páramo intervenido, además de estas especies, hay poblaciones de Poaceae de porte alto *Cortaderia* sp., y de una Poaceae, introducida, de las tierras altas de África, *Pennisetum clandestinum* Hochst., la cual es más abundante en el PNN Los Nevados. Este pasto forrajero, es muy apetecido por los ganaderos, debido a su alta producción de biomasa, que repercute, positivamente, en la producción de leche. Tiene además, un crecimiento rizomatoso, bastante agresivo, que hace más fácil, su proliferación y más difícil, su erradicación.

Los resultados de carbono acumulado, por la vegetación de bosque y páramo no intervenidos, en los dos parques nacionales naturales (Figura 3), presentan similitudes, con la tendencia mostrada en el trópico americano por HOFSTEDE (1999), en el cual, la vegetación de bosques, acumula un promedio de 25 kg/m² y la vegetación de páramo, acumula un promedio 2 kg/m².

La mayor acumulación de carbono en vegetación arbustiva de páramo, en el PNN Chingaza (Figura 4), se explica, probablemente, por las condiciones climáticas

más húmedas, que favorecen el establecimiento y crecimiento, más exitoso de la vegetación leñosa en este ambiente, con una precipitación media anual de 2700 mm, para esta zona de estudio, que comprende las alturas, entre 3000 y 3800 msnm (VARGAS & PEDRAZA, 2004), comparado con el ambiente más seco en el PNN Los Nevados, con una precipitación media anual, de 1500 mm para esta zona de estudio, que comprende las alturas, entre 3800 y 4500 msnm (LOTERO *et al.*, 2006). Este aspecto, es muy importante, cuando se comparan las parcelas de páramo intervenido, debido a que, la acumulación de carbono, en vegetación arbustiva, es notoriamente menor, en el PNN Los Nevados. Si a este factor climático natural, se le agrega la intervención antropogénica, se observa que, el resultado, es una pobre acumulación de carbono en este ambiente seco e intervenido. Con lo anterior, podemos concluir, que la vegetación arbustiva de páramo del PNN Los Nevados, es más frágil, a la intervención antropogénica y esto, repercute directamente, en una disminución de la capacidad de acumular carbono.

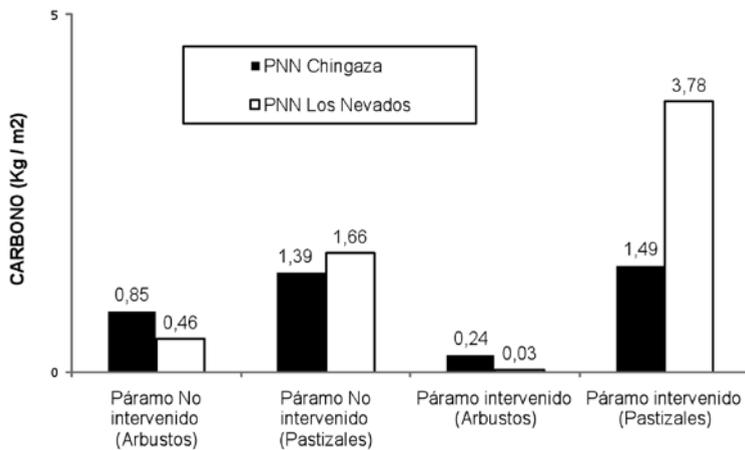


Figura 4. Carbono acumulado por la vegetación de páramo, en el PNN Chingaza y PNN Los Nevados, Colombia (Kg / m²).

La producción de biomasa y por ende, el aporte de carbono, por parte de la vegetación arbustiva de los páramos, son mucho más bajos, que la producción de biomasa y fijación de carbono, en los pastizales de páramos (Figura 4). Esto se explica, debido a que la vegetación arbustiva, tiene un crecimiento más lento en el páramo, debido a las condiciones ambientales extremas, como son: la escasa densidad del aire; humedad del aire, con cambios rápidos y bruscos; por la acción de los vientos; ambiente seco por la fuerte radiación solar, como consecuencia de la poca densidad de la atmósfera en grandes alturas; baja temperatura media y heladas nocturnas, que inducen latencia en los tejidos (GUHL, 1982).

El aporte de carbono por la vegetación de pastizales, fue inverso al aporte de carbono por la vegetación arbustiva, en el páramo de ambos parques nacionales

naturales (Figura 4). Este aporte, es mucho más alto en el PNN Los Nevados, que en el PNN Chingaza. Esto debido a que, la cobertura vegetal de pastizales en el páramo de PNN Los Nevados, sobrepasa la cobertura de vegetación arbustiva. Este alto nivel de carbono en los pastizales del páramo intervenido del PNN Los Nevados, es aportado por especies robustas de Poaceae, como *Cortaderia* y especies de crecimiento agresivo, que forman grandes masas de vegetación seca y verde, como el pasto forrajero *Pennisetum clandestinum*.

En el páramo intervenido del PNN Chingaza, la acumulación de carbono, fue menor que en el páramo no intervenido (Figura 3), posiblemente, porque la intervención, ha sido muy fuerte, en detrimento de la vegetación y su dinámica. Esto se debe, a la práctica de quemas, que ocurren en estos páramos para introducir la generación de pajonales jóvenes y tiernos, que sirven de alimento al ganado (LAEGAARD, 1992; VARGAS, 2000; VARGAS *et al.* 2002).

En el PNN Los Nevados, la acumulación de carbono en el páramo intervenido, fue sorprendentemente, más alta, que en el páramo no intervenido, debido a un componente del pastizal del páramo, que tiene características diferentes, a los pastos nativos. Se trata del pasto *Pennisetum clandestinum*, nativo de África, que al igual que la mayoría de Poaceae introducidas a América desde el continente africano, tiene una biomasa mucho más elevada, que se va acumulando en forma aérea y en forma subterránea, debido a su exitoso crecimiento rizomatoso.

CONCLUSIONES

En el páramo intervenido del PNN Chingaza, la acumulación de carbono, fue menor, que en el páramo no intervenido, se observa que, la intervención, ha sido más fuerte, en detrimento de la vegetación y su dinámica.

En el PNN Los Nevados, la acumulación de carbono en el páramo intervenido, fue sorprendentemente, más alta, que en el páramo no intervenido, debido a la presencia del pasto *Pennisetum clandestinum*, introducido en América, por sus cualidades forrajeras para el ganado, el cual tiene una biomasa mucho más elevada. Debido a las condiciones ambientales extremas en el páramo, esta vegetación, tiene una biomasa menor, que la vegetación de bosque alto andino.

Los bosques altos andinos más conservados, tienen la mayor capacidad medida en este estudio para acumular carbono, la cual se puede minimizar, drásticamente, por la intervención de los bosques, como la fragmentación y tala. Por esta razón, es muy importante conservar el bosque alto andino en el estado más natural posible, debido a que éste, posee un mayor reservorio de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación, se realizó gracias a la donación japonesa, al “Proyecto Piloto Nacional Integrado de Adaptación al Cambio Climático: ecosistemas colombianos de alta montaña, áreas insulares del Caribe y salud humana”; gracias al trabajo del Grupo Técnico y Científico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (IDEAM); al Grupo de Ecosistemas de Alta Montaña (ECOALMO) y el Grupo de Biología Vegetal Aplicada de la Universidad del Valle. Los autores, agradecen los aportes realizados por Esteban Álvarez, que contribuyeron a mejorar este manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, E., SALDARRIAGA, J. G., DUQUE, A. J., CABRERA, K. R., YEPES, A. P., NAVARRETE, D. A., PHILLIPS, J. F., 2011.- *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM- Bogotá, Colombia. 26 p.
- ÁLVAREZ, E., DUQUE, A., SALDARRIAGA, J., CABRERA, K., SALAS DE LAS, G., VALLE DEL, I., LEMA, A., MORENO, F., ORREGO, S. RODRÍGUEZ, L., 2012.- Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267: 297-308.
- BRADY, N. & WEIL, R., 2002.- *The nature and properties of soils*. 13 ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- BROWN, S., GILLESPIE, A. J., LUGO, A. E., 1989.- Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35 (4).
- CASTAÑO, C., CARRILLO, R. & SALAZAR, F., 2002.- Sistema de Información Ambiental de Colombia, Tomo III. *Perfil del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en Colombia 2001*. IDEAM. Ministerio del Medio Ambiente.
- DAUBER, E., TERÁN, J., GUZMÁN, R., 2000.- Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamérica*, 1(1): 1-10.
- FEARNESIDE, P. M., GRACA, P. M. L., NILHO, N. L., RODRIGUES, F. J. A., ROBINSON, J. M., 1999.- Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management*, 123: 65-79.
- GARCÉS, D., DE LA ZERDA, S., 1994.- *Gran libro de los parques nacionales de Colombia*. Intermedio Editores, Bogotá. 230 p.
- GUHL, E., 1982.- *Los páramos circundantes de la Sabana de Bogotá*. Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá.
- HOFSTEDE, R., 1999.- El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico (en) MEDICINA, G. & MENA, P. (ed.) *El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. Serie Páramo 1*. GTP/Abya Yala, Quito.
- HOUGHTON, J. T., DING, Y., GRIGGS, D. J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P. J., DAI, X., MASKELL, K., JONHNSON, C. A., 2001.- *The scientific basis: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change*. Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 944 p.
- IDEAM, 2002.- *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en Condición HotSpot & Global Climatic Tensor*. IDEAM (Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales), Bogotá, Colombia.
- IPCC, 2000.- *Land use, land-use change, and forestry special report*. Cambridge University Press. 377 p.
- IPCC, 2007.- *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- LAL, R., 2004.- Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123: 1-22.
- LAPEYRE, T., ALEGRE, J., ARÉVALO, L., 2004.- Determinación de las reservas de carbono de biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3 (1, 2): 35-44.
- LAEGAARD, S., 1992.- Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador: 151-170 (en) BALSLEV, H. & LUTEYN, J. L. (eds.) *Paramo: An andean ecosystem under human influence*. Academic Press, San Diego.
- LEUSCHNER, C., MOSER, G., BERTSCH, C., RÖDERSTEIN, M., HERTEL, D., 2007.- Large altitudinal increase in tree root/shoot ratio in tropical mountain forests of Ecuador. *Basic and Applied Ecology*, 8 (3): 219-230.
- LOTERO J., DOSSMAN, M., CASTILLO, C. & GIRALDO, M., 2006.- *Plan básico de manejo 2006-2010. Parque Nacional Natural Los Nevados*. Documento preparado por Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Territorial Noroccidente, Colombia, Medellín.
- MACDICKEN, K. G., 1997.- *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program*. Winrock International Institute for Agricultural Development. 91 p.
- MAVDT, IDEAM, PNUD., 2001.- *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Bogotá, Colombia.
- SATOO, T., MADGWICK, H. A. I., 1982.- *Forest biomass*. Junk, The Hague. 152 p.

- SIERRA, C. A., DEL VALLE, J.I., ORREGO, S.A., 2003.- Ecuaciones de biomasa de raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios: 169-189 (en) ORREGO, S. A., DEL VALLE, J. I. & MORENO, F. H. (eds.) *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente, Bogotá. 314 p.
- UNIVALLE, IDEAM, 2008.- *Validación del protocolo para la caracterización de los ciclos de agua y carbono en ecosistemas de alta montaña y diseño, instalación y puesta en operación de la red de monitoreo para determinar los impactos del cambio climático en dichos ciclos*: 456 (en) UNIVALLE, Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Cali, Colombia.
- VALLEJO-JOYAS, M. I., LONDOÑO-VEGA, A. C., LÓPEZ-CAMACHO, R., GALEANO, G., ÁLVAREZ-DÁVILA, E., DEVIA-ÁLVAREZ, W., 2005.- *Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Bogotá. 310 p.
- VAN DER HAMMEN, T., 1995.- La dinámica del medio ambiente en la alta montaña colombiana: historia, cambio global y biodiversidad: 11-15 (en) LOZANO, J. A., PABÓN, J. D. (eds.) *Memorias del Seminario Taller sobre alta montaña Colombiana*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Memorias No. 3. Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T., 1997.- Ecosistema terrestre: Páramo: 9-37 (en) CHAVES, M. E. & ARANGO, N. (eds.) *Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Instituto Humboldt, PNUMA, Minambiente.
- VARGAS, O., 2000.- Sucesión regeneración del páramo después de quemadas. Colombia: Tesis, Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Bogotá.
- VARGAS, O., PREMAUER, J. & ZALAMEA, M., 2002.- *Impacto de fuego y ganadería sobre la vegetación de páramo*. Ministerio del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. pp. 819-841.
- VARGAS O., PEDRAZA, P., 2004.- *Parque Nacional Natural Chingaza*. Gente Nueva Editorial. Bogotá. 197 p.
- VERWEIJ, P. A., KOK, K. & BUDDE, P. E., 2003.- Aspectos de la transformación del páramo por el hombre (en) VAN DER HAMMEN, T., DOS SANTOS, A. G. (eds.) *Estudios de ecosistemas tropoandinos Volumen 5. La Cordillera Central Colombiana. Transecto Parque Los Nevados*. Berlin-Stuttgart.
- WATSON, R. T., NOBLE, I. R., BOLIN, B., RAVINDRANATH, N. H., VERARDO, D. J., DOKKEN, D. J., 2000.- *IPCC Special Report, Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 377 p.