

Variaciones en la captura de carbono por cambio de uso de suelo, en zonas de páramo en Cajamarca, Perú

Variations in carbon sequestration due to land use change, in páramo areas in Cajamarca, Peru

Idelso Sánchez Irigoin^{1*}  Ever Núñez Bustamante²  Carlos Abanto-Rodriguez³ 
Hipólito Murga-Orrillo⁴ 

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Av. Atahualpa N° 1050, Cajamarca, Perú.

²Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). Av. La Molina s/n, La Molina – Lima –Perú.

³Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú

⁴Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança, Cuiabá – MT, Brasil.

*Autor correspondiente [e-mail: idesi_4339@hotmail.com]

RESUMEN

Los ecosistemas de paramo están sufriendo y seguirán sufriendo cambios de usos del suelo, acelerando o disminuyendo la captura de carbono, en desmedro de la biodiversidad. Se tuvo por objetivo determinar el carbono de la materia orgánica de la vegetación (MOv), y el carbono de la materia orgánica del suelo (MOs), en áreas de páramo en diferentes usos de suelo. Se demarcó áreas por uso de pasturas (AUP), uso forestal (AUF) y uso natural (AUN). Para estimar el contenido de carbono se tomó muestras de suelo a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, y muestras botánicas parte área los tallos y follaje, parte suelo las raíces. Se obtuvo diferencias significativas (IC, 95%) con mayores valores en AUF para el COv, y en AUP para COs. El impacto humano es relativamente pequeño en el carbono de la materia orgánica del suelo, pero el impacto es grande en el carbono de la materia orgánica de la vegetación en área de uso forestal.

Palabras clave: carbono orgánico, suelo, vegetación natural, pasturas, *Pinus patula*.

ABSTRACT

Paramo ecosystems are suffering and will continue to suffer changes in land use, accelerating or decreasing carbon sequestration, to the detriment of biodiversity. The aim was to determine the carbon of the organic matter of the vegetation (MOv), and the carbon of the organic matter of the soil (MOs), in páramo areas in different land uses. Areas were demarcated by pasture use (AUP), forest use (AUF) and natural use (AUN). To estimate the carbon content, soil samples were taken at depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm, and botanical samples were part area of stems and foliage, part soil roots. Significant differences (IC, 95%) were obtained with higher values in AUF for COv, and in

AUP for COs. The human impact is relatively small in the carbon of the soil organic matter, but the impact is large in the carbon of the organic matter of the vegetation in the forest use area.

Keywords: organic carbon, soil, natural vegetation, pastures, *Pinus patula*.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de paramos, se ubican entre 3 000 a 5 000 msnm, en el Centro y Sur de América, formando una franja de bosque de montaña, predominando gramíneas, fragmentos de arbustos y bosques de baja altura, con presencia de lagos, humedales y turberas (Josse et al., 2009). Los páramos presentan importancia económica y socioambiental (Ross et al., 2017), en términos biológicos, constituyen a la biodiversidad ecológica y variedad ambiental (Josse et al., 2009; Marcelo et al., 2006); cumplen servicios y funciones ecosistémicos de valor incalculable (Ross et al., 2017). Entre las funciones y servicios que presentan están la conservación de biodiversidad, suministro de agua y captura de carbono (Hofstede y Mena, 2011; Torres y Proaño, 2018, Bremer et al., 2019), mejorando los medios de vida rural. Sin embargo, van experimentado fuertes cambios de cobertura natural y del uso de suelo, por la presión agrícola, forestal, minería y crecimiento urbano, produciendo deterioro del suelo, con pérdida de la biodiversidad (Pinos-Arévalo, 2016; Muñoz y Pérez, 2016; Ross et al., 2017), reduciendo su capacidad para ofrecer funciones y servicios ambientales.

Según Magdoff y Van Es (2009), el carbono se encuentra en la materia orgánica vegetal (MOv), presente en los organismos vegetales vivos, y en la materia orgánica del suelo (MOs), conformada por restos orgánicos descompuestos. Los páramos presentan mayor contenido de MOs y pueden almacenar carbono por más tiempo, debido a la baja temperatura que reduce las tasas de mineralización (Hofstede y Mena, 2011).

Las actividades antrópicas hacen variar el almacenamiento de carbono en la MOs y MOv. Actividades agroforestales, pastoreo, manejo de pasturas e incendios (Ross et al., 2017), realizadas en suelos escarpados producen erosión y desertificación (Muñoz y Pérez, 2016). Conocer la vegetación actual, el contenido de carbono en MOv y MOs en páramo en diferente uso de suelo, es importante para orientar medidas estratégicas que genere conciencia de conservación.

Los páramos de la región Cajamarca, son ricos en diversidad florística, de carácter endémico (Marcelo et al., 2006), además, desempeñan servicios y funciones ambientales de gran valor para esta región. En este sentido, se tuvo por objetivo determinar el carbono orgánico de la materia orgánica de la vegetación (MOv), y el carbono orgánico de la materia orgánica del suelo (MOs), en áreas de páramo en diferentes usos de suelo en Cajamarca, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado entre 10/10/2016 al 03/03/2017, en Chetilla, Cajamarca, Perú (Figura 1). La ubicación geográfica en la parte inferior presenta UTM: 759800E- 9211000N a 3550 msnm, y en la parte superior UTM: 760200E - 9210600N a 3670 msnm. El área se clasifica en el perfil ecológico como piso altoandino, dentro de páramo húmedos de los Andes del Norte (Josse et al., 2009). El clima es clasificado como Páramo Pluvial Semisaturado Subalpino Subtropical (pps-SaS), con temperatura medias que varían de 3,5 a 16 °C, y precipitación pluvial anual de 1250 mm. Los suelos son negros, húmedos, con pH entre

4,45- 4,83 y MOs de 20,5 a 26,8% (Marcelo et al., 2006). El área de estudio tiene diferente uso de suelo, desde hace 25 años se van introduciendo pasturas y plantaciones de *Pinus patula*, reduciendo progresivamente las áreas en estado natural. En esta área se delimitó 10 800 m², dividido en 3 sub áreas de 60 x 60 m (3 600 m²): AUF, AUN y AUP, en cada sub área se delimitó 4 parcelas (P1, P2, P3 y P4) de 25 x 10 m (250 m²).

En el AUF, se evaluó 144 árboles (36 árboles/250 m²) de *P. patula*, con ayuda de cinta métrica, se determinó el diámetro a la altura de pecho (DAP), y usando la ecuación (Ec.1) de la

especie (Díaz-Franco et al., 2007), se estimó la biomasa de la parte aérea, y para la biomasa radicular se estimó con la ecuación (Ec. 2) desarrollada por Cairns et al. (1997) y recomendada por el IPCC (2003) para la realización de inventarios de carbono.

$$Ya = 0,0357 * DAP^{2,6916} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$Yr = \text{Exp}[-1,085 + 0,9256 * \ln(Ya)] \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: Ya- biomasa vegetal aérea (kg.MS.árbol⁻¹); DAP- diámetro a la altura del pecho (cm); Yr- biomasa de la raíz (t.MS.ha⁻¹).

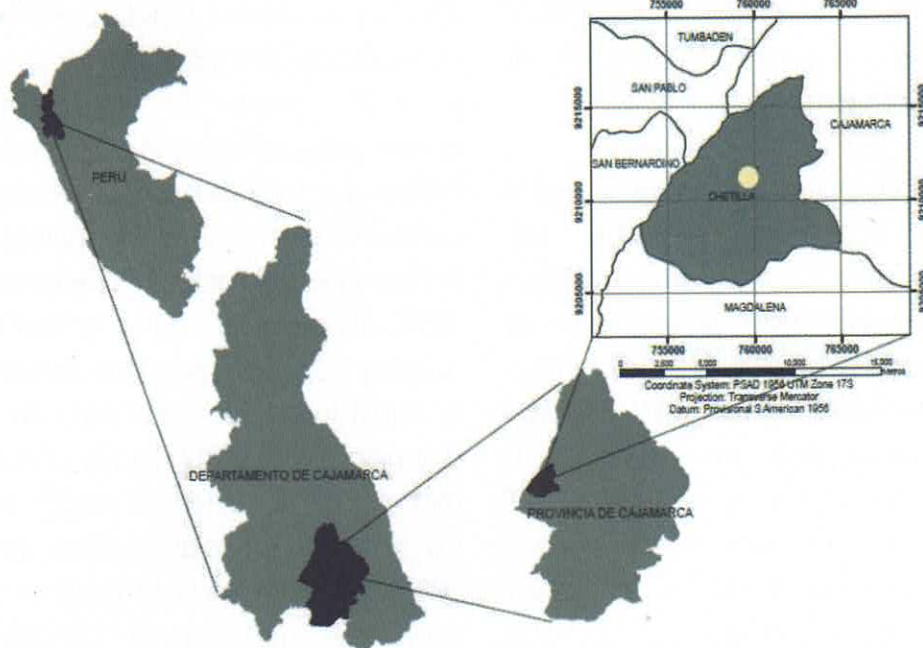


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio, en el distrito de Chetilla, departamento de Cajamarca, Perú.

En determinación la biomasa vegetal herbáceas (Yh), en las AUP y AUN, para tomar muestras de plantas completas (incluido raíces) se usó un marco de 50x50 cm (0,25 m²), lanzado aleatoriamente en cada parcela, para una media de 5 repeticiones/parcela. En laboratorio, estas muestras fueron secadas en estufa a 60 °C, y pesadas en balanza de precisión de 0.001 g hasta alcanzar peso constante. Para estimar la cantidad

de carbono en la MOv, de la biomasa vegetal (Ya, Yr y Yh) se utilizó la ecuación 3 (Ec. 3).

$$C = Y * Fc * \left(\frac{10\,000}{Am}\right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde: C- cantidad de carbono en la MOv (t.C.ha⁻¹), Y- biomasa vegetal (t.MS.ha⁻¹); Fc- fracción de carbono (0,5 t.C.t⁻¹ de materia seca); Am- área media de muestra (m²).

En todas las parcelas de las AUN, AUP y AUF, se tomaron muestras de suelo, con uso de pala y barreno, estratificando de 0-10, 10-20, y 20-30 cm de profundidad, estas muestras fueron tratadas en laboratorio, para determinar el contenido de MOs, por el método de oxidación de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N + H_2SO_4 10N.

Para estimar la cantidad de C en la MOs, se utilizó la ecuación (Ec. 4), adaptada de Carvajal et al. (2009).

$$C = (Co * Ds * Es) / 10 \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde: C- carbono (t.C.ha^{-1}); Co-valor del carbono orgánico total (g.kg^{-1}); Ds- densidad aparente del suelo (kg.dm^{-3}), Es- espesor de estrato de muestreo (cm).

El procesamiento y análisis de datos se realizó con SigmaPlot 12.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA) para el análisis de normalidad, obteniéndose datos normales para carbono de la MOs y no normales para carbono de la MOv por el método de Shapiro-Wilk test. Para realizar un solo tipo de análisis, sin considerar la distribución de los datos se realizó 100000 remuestreos por variable para obtener medias, acompañado de intervalo de confianza (IC, 95%) no paramétrico, según metodología bootstrap (Chihara y Hesterberg 2018), este análisis se realizó con el software RStudio (R Core Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El AUN presentó gramíneas herbáceas, conocida como "pajonal", básicamente conformado *Stipa ichu*, asociadas con *Agrostis tolucensis*, *Festuca* spp., *Deyeuxia* spp., *Poa* spp., *Paspalum bompladianum*, *Valeriana officinalis*, *Bejaria* spp., *Vaccinium crenatum*, *Disterigma* spp., *Gaultheria* spp., *Baccharis* spp., entre otras.

En AUF predomina *P. patula*, sin estratos inferiores, debido a la edad de la planta que produce sombreamiento, acículas caídas y resinas, que inhibieron el desarrollo y crecimiento de las especies locales. El AUP está dominada por *Lolium cajamarcae*, *Pennisetum clandestinum*, *Trifolium repens*, *T. pratense*, *T. subterraneum*, *Rumex* spp. y *Taraxacum officinale*, especies introducidas de interés agropecuario, muy difundidos en la región.

El 85 al 95% de los páramos de Cajamarca se encuentran en AUN (Marcelo et al., 2006), con presencia de neblina y llovizna, debido a la alta altitud que genera rápida condensación de la humedad del aire, sin embargo, su cambio a AUF y AUP, altera la composición vegetal consecuentemente la evapotranspiración, ciclo hidrológico y biota natural. Del mismo modo el cambio de AUN a AUF de los páramos disminuye la humedad del suelo en 22% (Fernández et al., 2019), alterando el aporte hídrico en la cuenca media y baja. Sabiendo que los páramos son la principal fuente de agua para las partes bajas (Sarmiento et al., 2017; Torres y Proaño 2018), los mismos que sostienen los modos de vida rural y los sistemas agrícolas andinos (Bremer et al., 2019); su importancia lo hacen no aptos para actividades pecuarias ni forestales, y deben considerarse área de protección (Marcelo et al., 2006; Bremer et al., 2019), o implementar políticas que busque obtener pago por servicios ecosistémicos (Bremer et al., 2019).

El contenido de C en la MOv en AUF, AUP y AUN, en la Figura 2a se observan el carbono orgánico de la raíz de AUF que difiere significativamente (IC, 95%) en relación al carbono de AUN y AUP, en tanto que el carbono entre AUN y AUP, no difieren significativamente entre sí. Por otro lado, en la Figura 2b se observa para el carbono del follaje y tallos vegetales, que

presentan diferencias significativas (IC, 95%) con mayores valores en AUF, seguido por AUN y con menores valores las AUP, manteniendo comportamiento similar en el carbono total (Figura 2c). Estos resultados reflejan la alta capacidad de captura de carbono del pinus en la AUF por ser un vegetal perenne frente a vegetación herbácea en AUN y AUP que están

constantemente sometidos a pastoreo, y de manera exclusiva en las AUP se realizan 4 cortes al año, explicando sus menores valores de carbono al comparar con el carbono de AUN (Figura 2b), en este últimos los pastos son poco palatables para pecuaria, consecuentemente produce mayor acumulación de carbono en los tallos y follaje.

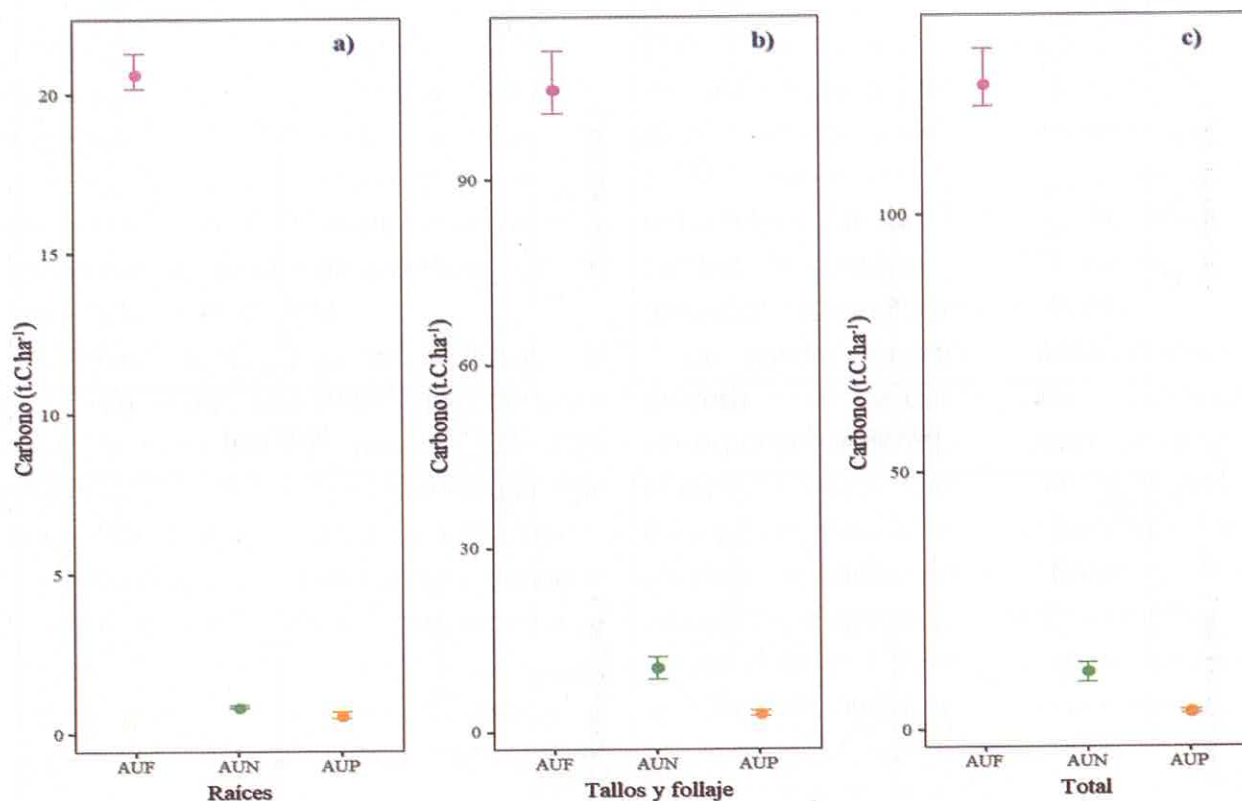


Figura 2. Valores medios y límites de amplitud de carbono orgánico en materia orgánica vegetal (MOv), área de uso forestal (AUF), área de uso natural (AUN) y área de uso de pasturas (AUP). **a)** carbono de la raíz de plantas; **b)** carbono de tallos y follaje; **c)** carbono total de la vegetación. Media acompañada por intervalo de confianza (IC, 95%) no paramétrico por el método de bootstrap.

Las AUP y AUF van aumentando en los páramos; cambiar de AUN a AUF favorece la acumulación de MOv, consecuentemente la captura de C (Figura 2a, 2b y 2c). Igualmente lo corrobora Alaya et al., (2014), que determinaron en AUF con plantaciones de *P. radiata* 59,05 t.C.ha⁻¹, y AUN con pajonal de *S. ichu*, 16,2 t.C.ha⁻¹

¹. Por su parte Castañeda-Martín y Montes-Pulido, (2017), sostienen que las AUN de los páramos, el carbono en biomasa varía entre 13,21 y 183 t.ha⁻¹.

El C presente en la MOs se observan en la Figura 3. En las profundidades de 0-10 cm y 0-30 cm (Figura 3a y 3d) presenta diferencia

significativa (IC, 95%) el carbono de AUP con mayores valores de carbono del suelo que en las AUN y AUF. Las pasturas son de crecimiento rápido y estas están sometidas a pastoreo en estaca, principalmente por ganado vacuno; esta actividad produce acumulación de estiércol y follaje muerto en la superficie del suelo, que al

descomponerse producen mayor carbono orgánico en el suelo. Fernandez et al., (2019) determinaron que la plantación y crecimiento *Pinus sp* en las montañas altas de los andes, afecto de manera negativa la cantidad de carbono del suelo, disminuyendo la capacidad de fijación de MOS en el páramo.

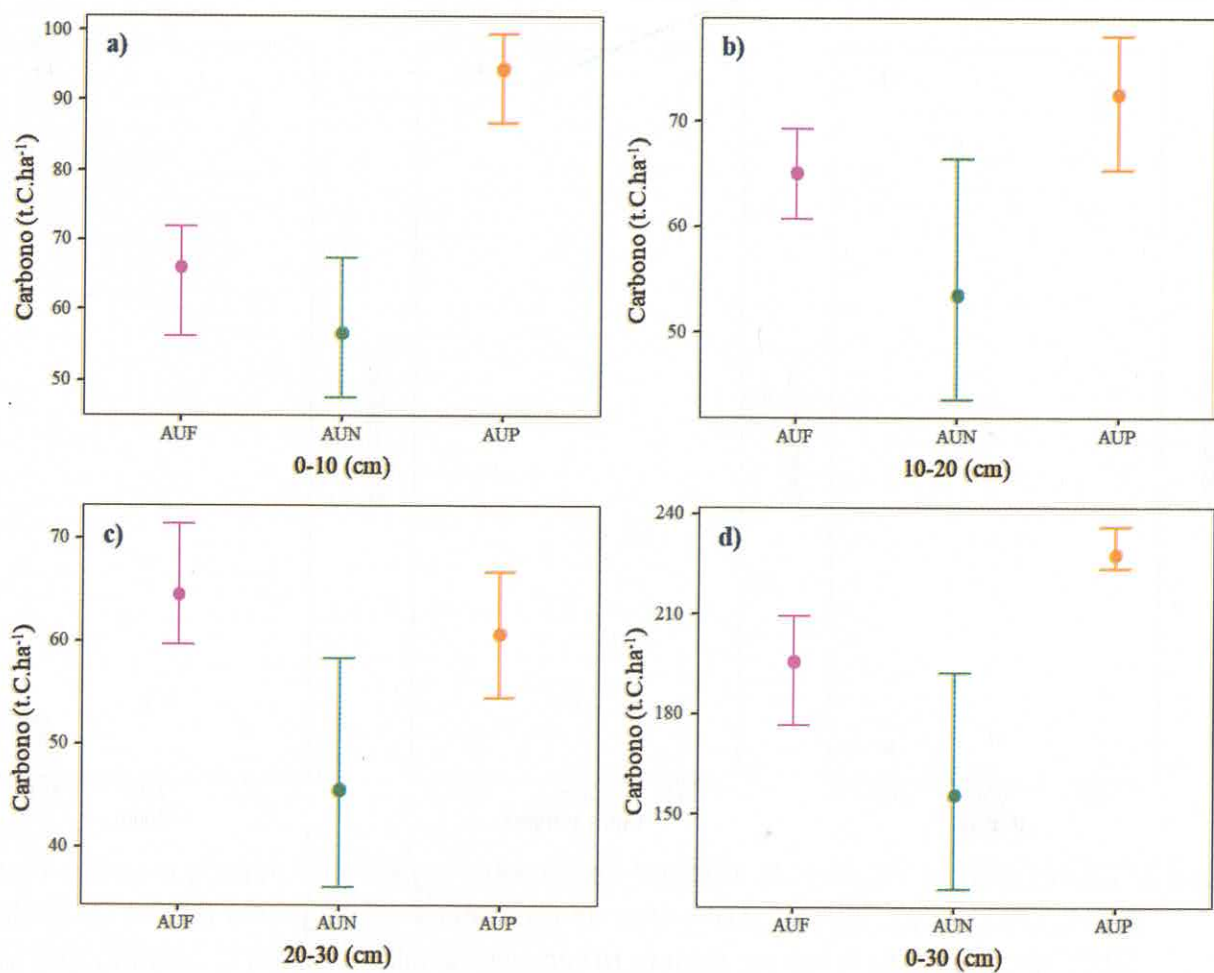


Figura 3. Valores de carbono del suelo en área de uso forestal (AUF), área de uso natural (AUN) y área de uso de pasturas (AUP). a) 0-10 cm; b) 10-20 cm; c) 20-30 cm; d) 0-30 cm de profundidad de muestreo. Media acompañada por intervalo de confianza (IC, 95%) no paramétrico por el método de bootstrap.

Sin embargo, a profundidades de 10-20 y de 20-30 cm (Figuras 3b y 3c) el carbono orgánico del suelo no presenta diferencias significativas entre AUN, AUP y AUF con valores comunes dentro de la amplitud superior y/o inferior.

También, (Fernandez et al., 2019) no encontraron diferencias estadísticas (IC, 95%) entre el carbono de suelo de AUN y AUF; sin embargo, observaron un descenso en el valor de la media en las dos profundidades (0-15 cm y 15 a 30 cm)

de 7,5–6,6% para AUN y de 5,8–5,4% para AUF respectivamente, los cuales estuvo determinando por la abundancia de vegetación y el tipo de residuo.

Del mismo modo se puede observar que a medida que se incrementa la profundidad del suelo (0-10, 10-20 y 20-30 cm) los valores medios del carbono disminuyen (Figuras 3a, 3b y 3c). De modo similar, Cely-Reyes y Moreno-Perez, (2016), determinaron que a profundidades de 0-15 cm concentraron la mayor cantidad de fracciones de carbono, en comparación con la profundidad 15-30 cm, el cual estuvo determinado por los aportes de material vegetal, representados en hojarasca, flores, raíces, entre otros. Por su parte Castañeda-Martín y Montes-Pulido, (2017) establecen que en ecosistema de páramo, entre 0 y 40 cm de profundidad el carbono almacenado en el suelo puede variar entre 119 y 397 t.ha⁻¹, bajo vegetación natural. Cely-Reyes y Moreno-Perez, (2016), sostienen que las bajas concentraciones de carbono en el suelo de las AUP pueden estar influenciado por pisoteo del ganado que genera compactación del suelo y pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas retenedoras de agua y carbono.

Vela et al. (2011) clasificaron en 4 categorías a los suelos de páramo según el almacenamiento de C: muy alto >150 t.C.ha⁻¹; alto entre 100-150 t.C.ha⁻¹; medio entre 50-100 t.C.ha⁻¹ y bajo <50 t.C.ha⁻¹. Considerando los resultados de C en la MOs en AUP, AUF y AUN en páramos de Cajamarca (Figura 3d), se ubican dentro de la categoría de muy alto contenido de C (>150 t.C.ha⁻¹).

CONCLUSIONES

El carbono orgánico vegetal es mayor en áreas de uso forestal, sin embargo, elimina la

vegetación natural.

El carbono orgánico del suelo es mayor en áreas de uso de pasturas, favorecido por la actividad pecuaria que incorpora el carbono al suelo.

El cambio de uso del suelo elimina la vegetación natural, en áreas de pasturas por la actividad agropecuaria, y en área forestal por la competencia de la especie implantada.

El impacto humano sobre el carbono en la materia orgánica del suelo en los diferentes usos de suelo es relativamente pequeño, pero es grande el impacto del carbono en la materia orgánica de la vegetación en área de uso forestal.

REFERENCIAS

- ALAYA, L.; VILLA, M.; AGUIRRE, Z., AGUIRRE, N. 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. CEDAMAZ, 4(1): 45-52.
- BREMER, L. L., FARLEY, K. A., DEMAAGD, N., et al. 2019. Biodiversity outcomes of payment for ecosystem services: lessons from páramo grasslands. *Biodivers Conserv* 28(1): 885–908. doi:10.1007/s10531-019-01700-3
- CAIRNS, M. A., BROWN, S., HELMER, E. H., & BAUMGARDNER, G. A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1–11. doi:10.1007/s004420050201
- CARVAJAL, A. F., FEIJOO, A., QUINTERO, H., RONDÓN, M. A. (2009). Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 9(3), 222-235. doi:10.4067/S0718-27912009000300005
- CASTAÑEDA-MARTÍN, A. E., & MONTES-

- PULIDO, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210–221. doi: 10.18041/entramado.2017v13n1.25112
- CELY-REYES, G. E., & MORENO-PEREZ, D. F. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno*, 7(2), 139–149.
- CHIHARA, L. M., & HESTERBERG, T. C. (2018). *Mathematical statistics with resampling and*. R. John Wiley & Sons. 161 p.
- DÍAZ-FRANCO, R., ACOSTA-MIRELES, M., CARRILLO-ANZURES, F., BUENDÍA-RODRÍGUEZ, E., FLORES-AYALA, E., Y ETCHEVERS-BARRA, J. D. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y bosques*, 25-34. doi:10.21829/myb.2007.1311233
- FERNANDEZ, C., CELY, G., & SERRANO, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121–133. doi:10.15446/rcdg.v28n1.66152.1
- HOFSTEDE, R., MENA, P. A. 2011. Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano. 163 p.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Intergovernmental Panel of Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- JOSSE, C.; CUESTA, F.; NAVARRO, G., et al. 2009. Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima. 100 p.
- MA, M., CHANG, R. 2019. Temperature drive the altitudinal change in soil carbon and nitrogen of montane forests: Implication for global warming. *CATENA*, 182: 104126. doi:10.1016/j.catena.2019.104126
- MARCELO P. J. L, SÁNCHEZ V. I., MILLÁN T. J. F. 2006. Estado actual de la diversidad florística del páramo sectores: el Espino y Palambe, Sallique, Cajamarca. Perú. *Ecología Aplicada*, 5(2): 1-8.
- MUÑOZ, F. A., PÉREZ, E. H. 2016. Conflictos de uso de suelo en la frontera agrícola y áreas del páramo del municipio de Totoró, Cauca. *Suelos Ecuatoriales*, 47(1 y 2), 9-15.
- PINOS-ARÉVALO, N. J. 2016. Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial-Caso cantón Cuenca. *Estoa. Revista de la Facultad de arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 7-19. doi: 10.18537/est.v005.n009.02
- ROSS C, FILDES S, MILLINGTON A. 2017. Land-Use and Land-Cover Change in the Páramo of South-Central Ecuador, 1979–2014. *Land*. 6 (3): 46. doi:10.3390/land6030046
- R CORE TEAM. (2021). *RStudio: Integrated Development for R*. Disponible en: <<http://www.rstudio.com/>>. Acceso en: julio. 2021.
- SARMIENTO, C., OSEJO, A., UNGAR, P., et al. 2017. Páramos habitados: desafíos para la gobernanza ambiental de la alta montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 122-145.
- TORRES R. S. F., PROAÑO S. C. O. 2018. Componentes del balance hídrico en los páramos de Jatunsacha, Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2), 52-66. doi:10.17163/lgr.n28.2018.04

VELA, C. G.; LÓPEZ, B. J., RODRÍGUEZ, G. 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, 11(77): 18-30.

Recibido: 30-08-2021 Aceptado: 02-09-2021 Publicado: 22-09-2021