

## **Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora "El Rodeo", Costa Rica**

## **Biomass and carbon stored estimation in a harvested primary forest of "El Rodeo" protected zone, Costa Rica**

**Luis Retana-Chinchilla<sup>1</sup>**

**Ana Lucia Méndez-Cartín<sup>2</sup>**

**Henry Sánchez-Toruño<sup>3</sup>**

**William Montero-Flores<sup>4</sup>**

**Ana Isabel Barquero-Elizondo<sup>5</sup>**

**Luis Gustavo Hernández-Sánchez<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Ingeniero Forestal, Estudiante de Licenciatura. Universidad Nacional (UNA)., Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), Costa Rica. Correo electrónico: luisretana26@gmail.com

<sup>2</sup>Máster, Profesora Instructora. Universidad Nacional (UNA), Instituto de Investigación y Servicios Forestales INISEFOR, Costa Rica. Correo electrónico: analumeca89@gmail.com

<sup>3</sup>Licenciado, Profesor I, Coordinador de proyecto, Instituto de Investigación y Servicios Forestales INISEFOR, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Correo electrónico: henry.sanchez.toruno@una.cr

<sup>4</sup>Máster, Profesor Instructor, Universidad Nacional (UNA), Instituto de Investigación y Servicios Forestales INISEFOR, Costa Rica. Correo electrónico: montero.william@gmail.com

<sup>5</sup>Máster, Profesora I, Coordinadora de Proyectos, Universidad Nacional (UNA), Instituto de Investigación y Servicios Forestales INISEFOR, Costa Rica. Correo electrónico: ana.barquero.elizondo@una.cr

<sup>6</sup>Máster, Profesor II, Universidad Nacional (UNA), Instituto de Investigación y Servicios Forestales INISEFOR, Costa Rica. Correo electrónico: gustavo.hernandez.sanchez@una.cr

**Recibido:** 5 de junio de 2019.

**Aprobado:** 21 de octubre de 2019.

---

### **RESUMEN**

En la Estrategia Nacional de Cambio Climático de Costa Rica se recalcó la importancia de los ecosistemas boscosos en la absorción y fijación de CO<sub>2</sub>, como un mecanismo para lograr la carbono-neutralidad. Esta investigación buscó estimar la biomasa y el

carbono almacenado en los diferentes componentes del bosque, de tres sitios pertenecientes a la Zona protectora "El Rodeo", ubicada al oeste de San José, Costa Rica (coordenadas geográficas 9° 52' 9,56" N y 84° 14' 84,20" W). Se instalaron 12 parcelas temporales, donde se inventariaron los componentes: fustales (>10 cm *d*), latizales (5-9,9 cm *d*), necromasa, vegetación herbácea y hojarasca, para determinar las concentraciones de carbono existentes en cada uno, componentes que en su conjunto representan la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada superficie. Con respecto al volumen de carbono del bosque, se determinó que el promedio acumulado en todos los componentes analizados es de 230,38 Mg/ha, por lo que se estima que el stock de carbono aproximado para toda la zona protectora "El Rodeo" es de 541 400,23 Mg. No obstante, el estudio elaborado evidenció una alta variabilidad en los contenidos de biomasa y carbono entre sitios y parcelas establecidas, debido a la amplia matriz del paisaje que genera heterogeneidad en el bosque.

**Palabras clave:** biomasa aérea; bosques húmedos; carbono en suelo; zona protectora "El Rodeo".

---

## ABSTRACT

Costa Rica's National Climate Change Strategy stressed the importance of forest ecosystems in the absorption and fixation of CO<sub>2</sub>, as a mechanism to achieve carbon neutrality. This research sought to estimate the biomass and carbon stored in the different components of the forest of three sites belonging to the "El Rodeo" Protected Zone, located west of San José, Costa Rica (geographic coordinates 9° 52' 9.56" N and 84° 14' 84.20" W). Twelve temporary plots were installed, where the following components were inventoried: stem (>10 cm *d*), latissimus (5-9.9 cm *d*), necromass, herbaceous vegetation and litterfall, to determine the concentrations of carbon in each one, components that together represent the potential amount of carbon that can be released into the atmosphere or conserved and fixed on a given surface. With respect to the volume of carbon in the forest, it was determined that the average accumulated in all components analyzed is 230.38 Mg/ha, so it is estimated that the approximate carbon stock for the entire protective zone "El Rodeo" is 541 400.23 Mg. However, the study evidenced a high variability in biomass and carbon content between sites and established plots, due to the wide matrix of the landscape that generates heterogeneity in the forest.

**Keywords:** aerial biomass; humid forests; carbon in soil; protective zone "El Rodeo".

---

## INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales juegan un importante papel en la mitigación del cambio climático, ya que estos regulan las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, mediante su captura, almacenamiento y fijación en la biomasa y el suelo (Honorio y Baker, 2010; FAO, 2010; Fonseca *et al.*, 2013). De ahí su papel en el ciclo de carbono global, al reducir la tasa de cambio climático; siendo un mecanismo eficiente en la compensación de las emisiones asociadas a los gases de efecto invernadero (Honorio y Baker, 2010; FAO, 2010). Los bosques maduros tienen, por tanto, la capacidad de atenuar el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, debido al incremento de las actividades antropogénicas contaminantes de las últimas décadas (Honorio y Baker, 2010).

Para el 2001, cerca de un 20 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales fueron causadas por la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales (Schlegel *et al.*, 2001); mientras que para el 2014, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) indica que el sector agricultura, silvicultura y otros usos de suelo aporta alrededor de un 25 % de las emisiones mundiales, donde la deforestación aporta la mayor parte. Por esa razón, Costa Rica, como parte de la estrategia REDD+, ha mostrado su interés en calcular los stocks de carbono contenidos en sus bosques, para desarrollar programas y proyectos destinados a la conservación y manejo sostenible de los mismos, con el fin de reducir la degradación forestal y la deforestación, así como aumentar las reservas de carbono.

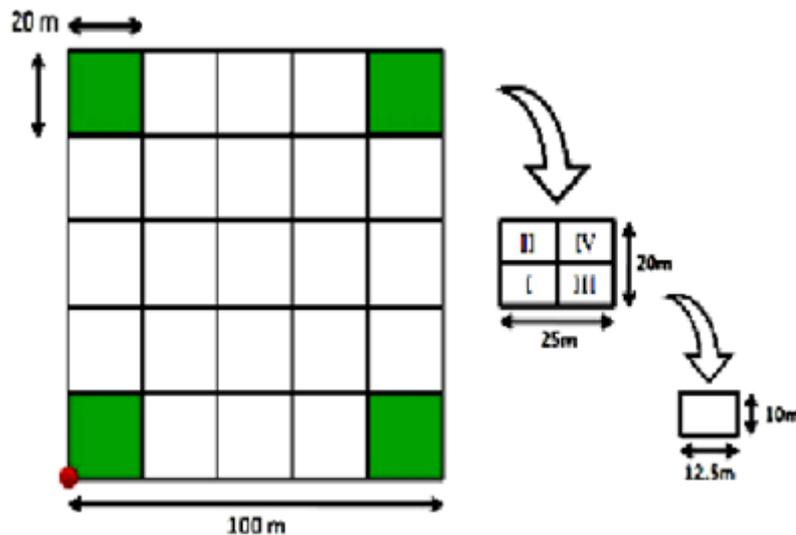
Algunos resultados en Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) para bosques tropicales de América y Asia muestran que estos son sumideros de carbono importantes para el planeta, ya que en promedio mantienen un aumento de la biomasa similar a las emisiones por deforestación (Honorio y Baker, 2010): 0,53 Mg C/ha/año en bosques amazónicos y 0,71 Mg C/ha/año a nivel global (Laszlo *et al.* 2016) para el período 2000 al 2007. Ello permite visualizar la importancia de los bosques en relación con la deforestación evitada, así como mostrar la relevancia de la conservación y manejo sostenible de estos ecosistemas.

Un monitoreo de las coberturas forestales a corto y largo plazo es necesario para registrar información sobre el comportamiento del carbono en las mismas; así como para comprender las consecuencias del cambio climático sobre las poblaciones y los ecosistemas (Bawa y Dayanandan, 1998; Bustamante *et al.*, 2016). En Costa Rica, datos de este tipo de investigaciones a corto plazo permitieron calcular la cantidad de carbono capturado por los bosques del país, donde se estima que los ecosistemas maduros almacenan aproximadamente 1 261.54 tCO<sub>2</sub>/ha; mientras que los bosques secundarios cerca de 628,99 tCO<sub>2</sub>/ha (SINAC, 2014).

Este tipo de información es básica para conocer la capacidad de compensación de las coberturas forestales, ya que, para aminorar el impacto del cambio climático, además de aplicar técnicas de mitigación asociadas a la reducción de emisiones, se recomienda trabajar con los bosques y plantaciones forestales para apuntar hacia la neutralidad (Dirección de Cambio Climático, 2017). El gobierno de Costa Rica, en el 2007, adquirió el compromiso de convertirse en un país carbono neutral para el 2021, por lo que lanzó la Estrategia Nacional de Cambio Climático, que recalca la importancia de los ecosistemas boscosos como mecanismos de absorción y fijación de CO<sub>2</sub>, así como de emisiones evitadas (Granados, 2013). Lo anterior propicia que la Universidad para la Paz (UPaz) se interese en conocer sobre el stock de carbono acumulado en los bosques de su propiedad, la cual está incluida en la zona protectora "El Rodeo".

Mediante esta investigación, se pretende estimar la biomasa y el carbono presentes en los diferentes componentes del bosque (necromasa, hojarasca, vegetación herbácea, latizales, fustales y suelo), como base para el cálculo del carbono almacenado en tres Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM), en la zona protectora "El Rodeo", Ciudad Colón.





**Fig. 2.** - Diseño de muestreo de las parcelas y subparcelas

Pinelo (2000) define como fustales las plantas leñosas con D1.30 e"10 cm, los cuales se muestrearon en cada una de las parcelas de 500 m<sup>2</sup>. Los latizales por su parte son la vegetación con D1.30 entre los 2,5 cm y los 9,9 cm (Pinelo 2000), que fue muestreada en el cuadrante II de las subparcelas de 125 m<sup>2</sup>.

Para estimar la biomasa de ambos componentes se utilizó un método no destructivo, en el cual se tomaron datos de *d*, altura, familia botánica y especie. Se utilizó la fórmula #1 para bosques húmedos de Chave *et al.* (2005), ya que para el momento de muestreo no existía una ecuación específica para la zona y esta es la que presenta una menor sobreestimación. (Ecuación 1)

$$AGBest = 0.0776 * (p(d)^2 * H)^{0.94} \quad (1)$$

Donde:

AGBest: Biomasa sobre el suelo (kg) estimada

p: densidad específica de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

*d*: representa el D1.30 (cm)

H: Altura (m)

La necromasa se tomó de una subparcela de 5 x 5 m ubicada en cada esquina de la parcela de una hectárea; se pesó todo el material muerto, con diámetro mayor o igual a 2,5 cm y se tomó una muestra representativa para analizar en el laboratorio. Cuando existieron secciones que no podían ser pesadas, debido a sus dimensiones, estas se cubicaron, se pesó una muestra representativa del material en el campo y se llevó al laboratorio para obtener su volumen.

La hojarasca, que es toda la materia orgánica muerta del mantillo del bosque, se obtuvo de cuatro parcelas anidadas de 50 x 50 cm, ubicadas en el centro de cada cuadrante de 125 m<sup>2</sup> de las parcelas de 500 m<sup>2</sup>. Se pesó la totalidad de hojarasca recolectada en el campo y se tomó una muestra compuesta para analizar en el laboratorio.

La vegetación herbácea, que es todo el material vivo de diámetro menor a 2,5 cm, se muestreó en parcelas de 1 m<sup>2</sup>, ubicadas en las esquinas de cada cuadrante de 125 m<sup>2</sup> de la parcela de 500 m<sup>2</sup>. Todo el material se pesó en el campo y se obtuvo una muestra compuesta para el laboratorio.

Para todos los componentes de biomasa, los resultados se multiplicaron por el factor de carbono (0,45) para obtener el carbono almacenado.

La muestra de suelo se obtuvo del cuarteo de cuatro submuestras tomadas con un palín, a una profundidad de 30 cm en el centro de cada cuadrante de 125 m<sup>2</sup>. Además, se tomó una muestra de suelo para el análisis de la densidad aparente a la misma profundidad, en el cuadrante IV.

### **Análisis muestras en laboratorio**

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional. En el caso de la necromasa, la hojarasca y la vegetación herbácea, se secaron a una temperatura de 60 °C, hasta alcanzar un peso seco constante. Se calculó el peso seco, se trituraron, molieron y tamizaron (1 mm) con el fin de obtener la muestra necesaria para realizar el análisis de Materia Orgánica (MO), según el método de Walkley y Black (1934). El porcentaje de carbono (% CO) se obtuvo mediante la fórmula #2: (Ecuación 2)

$$\%CO = \%MO / 1,72 \quad (2)$$

Donde:

1,72 es un factor empírico

El suelo se secó a temperatura ambiente y se tamizó a 2 mm de grosor para obtener la muestra que se llevó al laboratorio y realizar el mismo método anterior para la obtención del porcentaje de CO. La densidad aparente (Da) se calculó según el método de Forsythe (1985). El carbono en el suelo (CS) se calculó con la fórmula #3: (Ecuación 3)

$$CS = \%C * Da * p \quad (3)$$

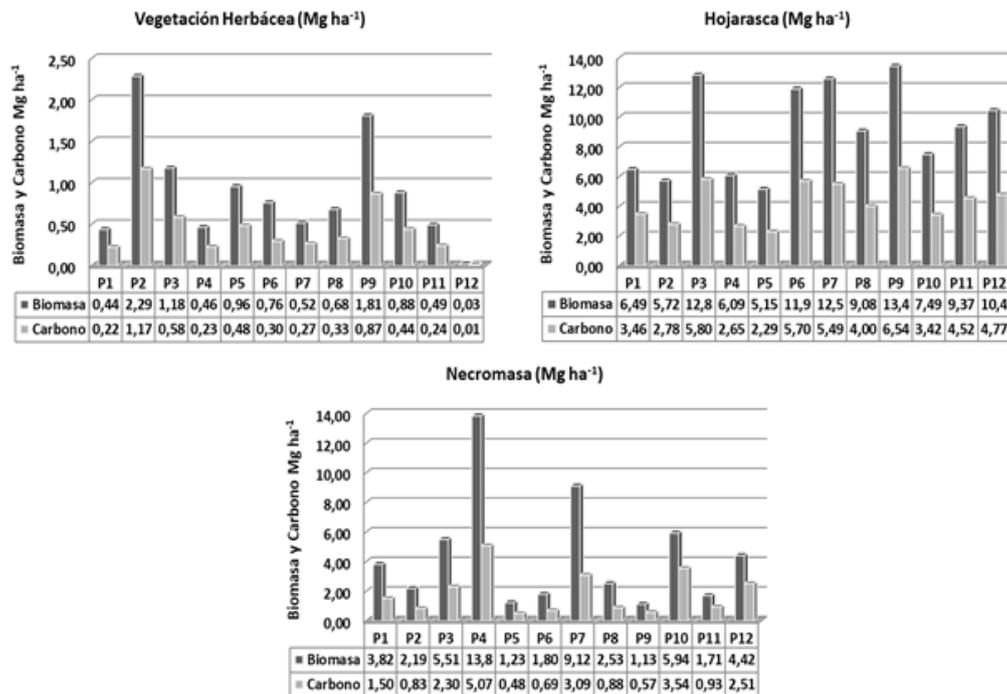
Donde:

p es la profundidad

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se encontró una alta variabilidad en los contenidos de biomasa y carbono en todas las parcelas establecidas, en especial en los componentes con menor fijación, como lo es la necromasa, la vegetación herbácea y la hojarasca; esta situación pudo estar asociada a la representatividad del sitio a escala de paisaje, siendo una de las posibles fuentes de error en el momento de estimar la biomasa en general de los bosques naturales.

Al analizar el componente de necromasa, en la parcela P5 se obtuvo el valor más bajo de carbono en campo (8 kg con relación al peso húmedo), lo que representó 0,48 Mg/ha; por el contrario, la parcela P4 presentó el valor más alto, con 81 kg, equivalentes a 5,07 Mg/ha de carbono (Figura 3). Esto puede atribuírsele a la dinámica de mortalidad dentro del bosque, donde la formación de claros puede generar mayores contenidos de necromasa en los sitios donde existió caída de árboles o ramas y menores cantidades en zonas que no presenten estos impactos.



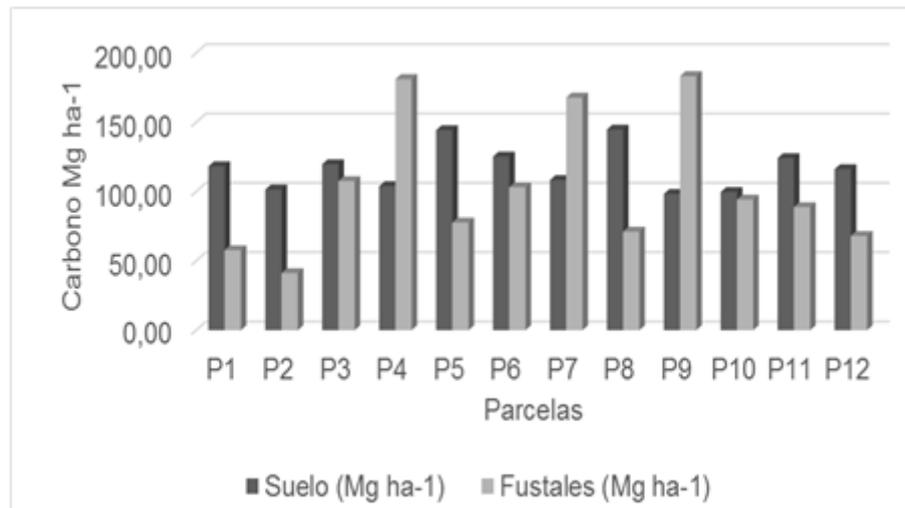
**Fig. 3.-** Biomasa y carbono acumulado en los componentes de necromasa, vegetación herbácea y hojarasca, por parcela

Esta tendencia fue similar a la que se presentó para el caso de la hojarasca y para vegetación herbácea. Para hojarasca, el valor máximo encontrado fue, en la P9, de 6,54 Mg/ha, correspondiente a un valor de campo de 3,9 kg; mientras que el mínimo se obtuvo en la P5 y es de 1,8 kg, equivalente a 2,29 Mg/ha. Para la vegetación herbácea, de igual manera se hallaron valores que van desde 1,17 Mg/ha en la P2, hasta 0,01 Mg/ha en la P12, en términos de valores máximos y mínimos (Figura 3).

Al analizar el stock del sitio de estudio en relación con cada componente, se reveló que la biomasa aérea concentra el 46,35 % del carbono total, correspondiente a un promedio de 103,44 Mg/ha. Lo que concordó con el promedio registrado por Ulate (2011) para bosques primarios intervenidos de la misma zona de vida en Costa Rica (91,56 Mg/ha).

Se conoce que el suelo concentra los mayores depósitos de carbono terrestre, aproximadamente el 75 % del carbono en los bosques (Schoijet, 2008) y para el presente estudio almacenó el 50,79 % del carbono total. Si se toman en cuenta únicamente los componentes suelo y biomasa aérea, estos representaron el 97,14 % del carbono total en el área de estudio (figura 4). La presente investigación mostró un valor promedio de 117,01 ± 10,10 Mg/ha, con máximo y mínimo de 144,71 y

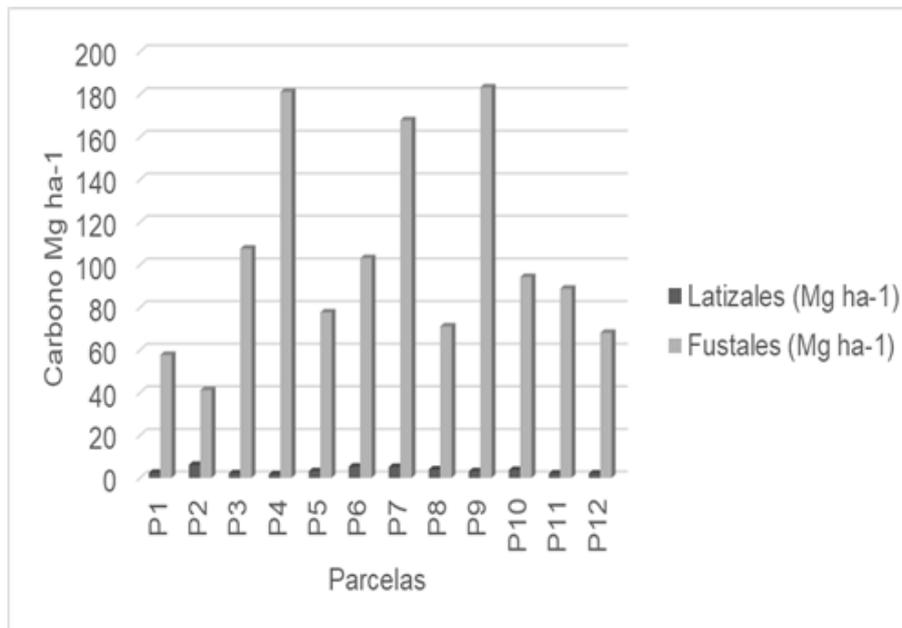
98,27 Mg/ha respectivamente, lo que denotó poca variabilidad en la zona protectora (Figura 4). Estos datos concuerdan con lo encontrado por Ibrahim *et al.* (2007), quienes indican que el carbono en suelo para bosques primarios y secundarios puede variar en promedio entre 60 y 115 Mg/ha, de forma respectiva, por lo que el valor obtenido se asemejó en gran medida a esos resultados.



**Fig. 4.** - Carbono en fustales (>10cm) y suelo por parcela, "El Rodeo"

Al analizar el stock de carbono por parcela se mantuvo la tendencia mencionada anteriormente, siendo el suelo el componente con más CO<sub>2</sub> almacenado. Sin embargo, en las parcelas P4, P7 y P9, los fustales sobrepasaron la cantidad de carbono en el suelo, lo que pudo estar relacionado a que en ellas se encontraron individuos de grandes dimensiones.

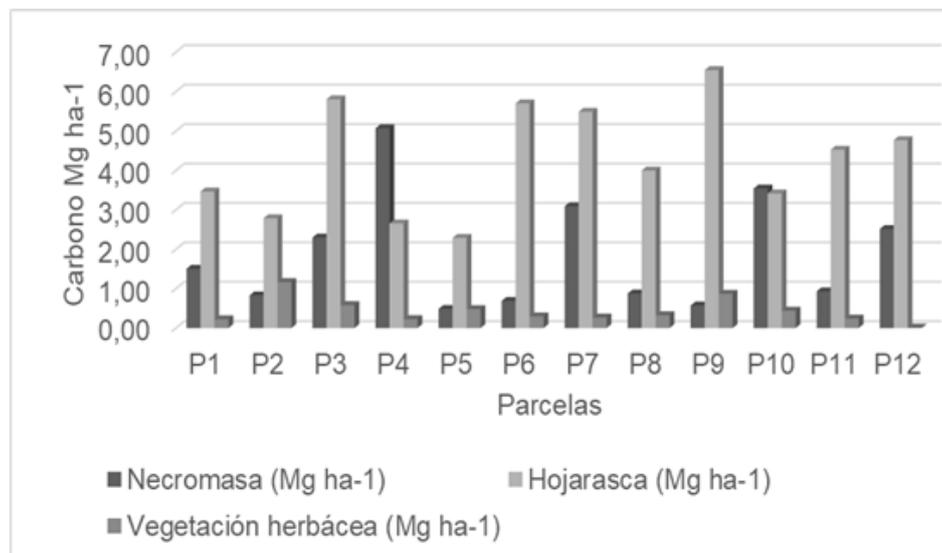
En cuanto a los latizales, correspondieron a un 1,46 % del total del stock de carbono calculado en el estudio, lo que mostró que dicho componente de vegetación no posee un peso representativo dentro de la cuantificación de este elemento en el bosque. Lo anterior se observó de manera concreta al comparar el dato reportado para latizales con el de fustales, que fue el segundo componente que a nivel general capturó más carbono en las unidades de muestreo establecidas en la zona protectora "El Rodeo" (Figura 5).



**Fig. 5.** - Contenido de carbono reportado para los componentes de latizales y fustales por parcela, en "El Rodeo"

Los datos generados para carbono en fustales mostraron que la P9 fue la parcela que capturó el mayor volumen de  $\text{CO}_2$  (183,26 Mg/ha), lo que se atribuye a que la P9 es la única parcela con más del 20 % de sus individuos en las clases diamétricas superiores a 40 cm y cuyas especies tienen densidades de la madera superiores a  $0,6 \text{ g/cm}^3$  (65%). En el caso contrario, la P2 capturó la menor cantidad de  $\text{CO}_2$  (41,16 Mg/ha), la cual presenta pocos individuos con categorías inferiores, además de bajas densidades de madera de las especies presentes. En esta última parcela también se encontró el mayor almacenamiento de carbono por parte en los latizales (6,04 Mg/ha), lo que pudo estar asociado a que, al contar con una menor cantidad de fustales, existió una mayor apertura de luz, que permitió la germinación y el establecimiento de más árboles, con dimensiones inferiores a 10 cm de  $d$ .

La vegetación herbácea, hojarasca y la necromasa son los componentes que almacenaron una menor cantidad de carbono dentro del ecosistema, lo que coincidió con los resultados para bosques húmedos del caribe costarricense, expuesto por Fonseca *et al.* (2008). Sin embargo, aun considerando lo anterior y la alta heterogeneidad de los datos obtenidos, se determinó que el componente de hojarasca es el que fijó un mayor contenido de  $\text{CO}_2$ , al comparar con los anteriores (Figura 6). Este resultado pudo estar asociado a que el sitio tiene una diversidad de especies similar a la de los bosques secos (Cascañe y Estrada, 2001), lo que permitió una mayor acumulación de hojas en el suelo, por las características deciduas de algunas de ellas.



**Fig. 6.** - Carbono total fijado en la necromasa, hojarasca y vegetación herbácea por parcelas, "El Rodeo"

La necromasa fue el segundo componente con mayor almacenaje de carbono, el cual fue superior al encontrado en la hojarasca en dos parcelas (P4 y P10), lo cual pudo relacionarse con la dinámica de mortalidad del bosque, donde con frecuencia se encuentra árboles caídos que generan claros en el ecosistema, como lo describieron Cascante y Estrada (2001) en su estudio de composición y estructura de "El Rodeo", al referirse a la dinámica de claros en estos sitios (Figura 6).

El stock de carbono para las tres PPM muestreadas fue de aproximadamente de 691,14 Mg de carbono, lo que corresponde a 230,38 Mg/ha. Esto sirve de línea base para estimar el carbono almacenado en la zona protectora "El Rodeo". De los cinco componentes evaluados, a saber, necromasa, vegetación herbácea, hojarasca, latizales, fustales y suelo, los dos últimos presentan mayor porcentaje de carbono total (46,35 % y 50,79 %, respectivamente).

Es importante ampliar el muestreo a otros sectores de la zona Protectora, ya que la misma está conformada por bosques secundarios, y otros tipos de cobertura, los cuales no fueron considerados en este estudio. También es importante continuar con el monitoreo de carbono en cada uno de los componentes de manera periódica, para conocer la dinámica y el comportamiento de este elemento, que brinda información relevante para la gestión del ecosistema y como parámetro a tomar en cuenta en el marco de la estrategia nacional de descarbonización, así como la política de carbono neutralidad.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Para la Paz, administradora de los terrenos donde se encuentra la zona protectora "El Rodeo", por la colaboración brindada, así como a los funcionarios del Herbario Nacional del Museo Nacional de Costa Rica, que colaboraron con la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAWA, K.S. y DAYANANDAN, S., 1998. Global Climate Change and Tropical Forest Genetic Resources. *Climatic Change* [en línea], vol. 39, no. 2, pp. 473-485. [Consulta: 18 junio 2019]. ISSN 1573-1480. DOI 10.1023/A:1005360223639. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1005360223639>.
- BUSTAMANTE, M.; ROITMAN, I.; AIDE, T.M.; ALENCAR, A.; ANDERSON, L.; ARAGAO, L.; ASNER, G.; BARLOW, J.; BERENQUER, E.; CHAMBERS, J.; COSTA, M.; THIERRY, F.; FERREIRA, G.L.; FERREIRA, J.N; MICHAEL, K; MAGNUSSON, W.; MORALES, L.; MORTON, D.; OMETTO, J. Y GUIMARAES-VIEIRA, I., 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology*. vol. 22, pp. 92-109. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.13087>
- CASCANTE M., A. y ESTRADA CH., A., 2001. Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* [en línea], vol. 49, no. 1, pp. 213-225. [Consulta: 18 junio 2019]. ISSN 0034-7744. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0034-77442001000100020&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-77442001000100020&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- CASCANTE-MARÍN, A., 2012. Ubicación, Relieve y Clima de la zona de "El Rodeo" - PDF. *BRENESIA* [en línea], vol. 77, pp. 15- 22. [Consulta: 18 junio 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/5419460-Ubicacion-relieve-y-clima-de-la-zona-de-el-rodeo.html>.
- CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, N.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B Y YAMAKURA, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. vol. 145, no. 1, pp. 87-99. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-005-0100-x>
- DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2017. Estrategia Nacional de Cambio Climático [en línea]. 2017. S.l.: Dirección de Cambio Climático. Disponible en: <http://www.cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-42-06/estrategia-nacional-de-cambio-climatico>.
- FAO, 2010. Gestión de los bosques ante el cambio climático. [en línea]. 2010. S.l.: FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>.
- FONSECA G, W., ALICE, F.E., MONTERO, J., TORUÑO, H. y LEBLANC, H., 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. [en línea], [Consulta: 18 junio 2019]. ISSN 1022-7482. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:80/handle/11554/5742>.

FONSECA, W., RUÍZ, L., ROJAS, M. y ALICE, F., 2013. Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata*. *Revista de Ciencias Ambientales* [en línea], vol. 46, no. 1, pp. 37-50. [Consulta: 18 junio 2019]. ISSN 2215-3896. DOI 10.15359/rca.46-2.4. Disponible en: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7218>.

FORSYTHE, W., 1985. *Física de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA.

GRANADOS SOLÍS, A., 2013. "Carbono Neutralidad: Avances y desafíos de cara al año 2021". *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible* [en línea]. San José CR: Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, pp. 28. Disponible en: [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/019/granados\\_2013.pdf](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/granados_2013.pdf)

HONORIO, E.N. y BAKER, T.R., 2010. *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. 2010. S.l.: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/Universidad de Leeds. Disponible en: <http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/290>

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*. vol. 45, pp. 10. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7934>

LASZLO, N (ED), FORSBERG, BR (ED), ARTAXO, P (ED). *Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin Vol.227*. Berlin: 2016. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Disponible en: <https://www.springer.com/gp/book/9783662499009>

PINELO, G. *Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala*. Turrialba: CATIE, 2000. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3006>

SÁNCHEZ GONZÁLEZ, J., 2012. Caracterización de los ecosistemas vegetales y uso del suelo en "El Rodeo", Costa Rica. *BRENESIA* [en línea], vol. 77:23-40, pp. 17. Disponible en: <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/ecosistemas/rodeo/publicaciones/Caracterizacion%20de%20los%20ecosistemas%20vegetales%20y%20uso%20del%20suelo%20en%20El%20Rodeo,%20Costa%20Rica.pdf>.

SCHLEGEL, B., GAYOSO, J. y GUERRA, J., 2001. *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. 2001. S.l.: Universidad Austral de Chile. Valdivia, Ch.

SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN (SINAC), 2014. Inventario Forestal Nacional de Costa Rica. *Programa REDD/CCAD/GIZ* [en línea]. Costa Rica: REDD/CCAD/GIZ, Disponible en: <http://www.sirefor.go.cr/?p=1170>.

ULATE, C.A. *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según la zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica*. Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2011. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3005>

WALKLEY, A. y BLACK, I.A., 1934. *An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents*". S.l.: Soil Science. Vol. 63, pp. 251-263. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2019 Luis Retana-Chinchilla, Ana Lucia Méndez-Cartín, Henry Sánchez-Toruño, William Montero-Flores, Ana Isabel Barquero-Elizondo, Luis Gustavo Hernández-Sánchez