



EVALUACIÓN DASOMÉTRICA Y CARBONO REMOVIDO EN LOS HONDONES, CIÉNAGA DE ZAPATA, MATANZAS, CUBA

EVALUATION DASOMÉTRICA AND CARBON REMOVED IN THE HONDONES, MARSH OF ZAPATA, MATANZAS, CUBA

MISLEYDI MORALES LEZCANO^{1*}, LOURDES GÓMEZ PULIDO¹, ROSÍO DELGADO MARIÑO¹,
YENISLEIDY SÁNCHEZ QUEROL¹, ANDRIA FUENTES ARCIA², GIRALDO CIRILO FAGUNDO ABREU²,
ALICIA MERCADET PORTILLO³, ARNALDO ÁLVAREZ BRITO³

¹Unidad de Ciencia y Técnica de Base Itabo, Matanzas, Cuba.

²Empresa para la Conservación de la Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba. E-mail: silvicultura@eficz.cu

³Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba. mercadet@forestales.co.cu, archie@forestales.co.cu

*Autor para correspondencia: itabo@forestales.co.cu

RESUMEN

La retención de carbono atmosférico por los bosques constituye una estrategia fundamental para mitigar los efectos del cambio climático. En este contexto, se evaluó el carbono retenido en el área de Los Hondones, Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba, durante el período 2020-2024, con el propósito de determinar su contribución como servicio ambiental sujeto a pago por carbono removido. Se utilizaron 11 parcelas permanentes de muestreo, distribuidas en 500 hectáreas, en las que se midieron variables dendrométricas como grosor de corteza, diámetro a 1.30 m del suelo, altura total y volumen. Para el cálculo del carbono retenido, se empleó el sistema automatizado SUMFOR v-5.02 y se realizó un análisis descriptivo con Statgraphics Centurion XVI. Los resultados evidenciaron un incremento en todas las variables medidas: el diámetro promedio aumentó en 2.53 cm, la altura total en 2.43 m, y el volumen total en 17,973.34 m³ entre 2020 y 2024. En cuanto al carbono, la mayor acumulación se localizó en la biomasa (69% en 2024), seguida por el suelo (30%) y la necromasa (6%). Durante el periodo evaluado, la retención total de carbono incrementó en 21,102 t, lo que representó una remoción neta de -11,627.47 t de CO₂ en el último año. Estos valores fueron certificados mediante la Resolución 28/2024 del Ministerio de la Agricultura, validando la contribución del área al cumplimiento de políticas de mitigación climática.

Palabras claves: cambio climático, secuestro de carbono, servicio ambiental, variables dendrométricas, manejo sostenible

ABSTRACT

The atmospheric carbon retention by forests is a fundamental strategy to mitigate the effects of climate change. In this context, the carbon retained in the area of Los Hondones, Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba, was evaluated during the period 2020-2024, aiming to determine its contribution as an environmental service subject to payment for removed carbon. Eleven permanent sampling plots distributed across 500 hectares were used, where dendrometric variables such as bark thickness, diameter at 1.30 m above the ground, total height, and volume were measured. The automated system SUMFOR v-5.02 was employed to calculate retained carbon, and a descriptive analysis was performed using Statgraphics Centurion XVI. The results showed an increase in all measured variables: the average diameter grew by 2.53 cm, total height by 2.43 m, and total volume by 17,973.34 m³ between 2020 and 2024. Regarding carbon, the largest accumulation was observed in biomass (69% in 2024), followed by soil (30%) and necromass (6%). During the evaluated period, total carbon retention increased by 21,102 t, representing a net removal of -11,627.47 t of CO₂ in the last year. These values were certified through Resolution 28/2024 by the Ministry of Agriculture, validating the area's contribution to achieving climate mitigation policies.

Keywords: climate change, carbon sequestration, environmental service, dendrometric variables, sustainable management

INTRODUCCIÓN

La mitigación del cambio climático se refiere a las acciones, medidas, programas y políticas que contribuyen a la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero. Este concepto abarca tanto la disminución de las emisiones en sus fuentes como la remoción de estas por

medio de los sumideros. En este contexto, los bosques desempeñan un papel fundamental al actuar como importantes sumideros de CO₂, el principal gas de efecto invernadero (Mercadet et al., 2020). Además de esta función, los bosques brindan numerosos servicios ecosistémicos esenciales.

Recibido: 02/6/2024

Aceptado: 02/9/2024

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existe conflictos de interés.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En la Tercera Comunicación Nacional de Cuba se detalla que, para cumplir con la Tarea 8 del Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático, es necesario implementar y controlar medidas de mitigación. Estas medidas deben derivarse de las políticas sectoriales e incluirse en programas, planes y proyectos relacionados con áreas como la seguridad alimentaria, la energía renovable, la eficiencia energética, el ordenamiento territorial y urbano, la pesca, la agropecuaria, la salud, el turismo, la construcción, el transporte, la industria y el manejo integral de los bosques (Planos & Gutiérrez, 2020).

Por otro lado, las intervenciones productivas destinadas a la captura de carbono pueden generar ingresos para quienes plantan, cuidan y manejan los bosques. Si se realizan correctamente, estas acciones no solo contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también promueven el uso sostenible de los recursos naturales y mejoran el bienestar general. Estas intervenciones suelen basarse en la implementación de sistemas de uso de la tierra que incrementan la producción de biomasa y, por ende, aumentan los reservorios de carbono (Rügnitz et al., 2012).

La situación de los diferentes servicios ambientales proporcionados por los bosques, en relación con las causas de su falta de pago, varía considerablemente. Por ejemplo, la remoción de carbono atmosférico cuenta con una metodología técnica aprobada y validada en condiciones reales. Esto ha permitido establecer mecanismos para la medición, certificación, reporte y verificación, además de proporcionar una base para determinar los precios de la tonelada de CO₂ removida. Sin embargo, otros servicios ambientales no han alcanzado el mismo nivel de avance (Lok et al., 2013).

Actualmente, se dispone de una resolución ministerial que define el procedimiento para el pago del carbono forestal y establece la tarifa aplicable por tonelada de CO₂ removida. Este esquema considera la categoría de bosque y busca, como objetivo adicional, favorecer la conservación de la biodiversidad y fomentar el establecimiento de bosques artificiales destinados a la producción de madera (MINAG, 2024).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2006) reconoce dos métodos principales para evaluar la remoción de carbono atmosférico. El primero se basa en el aumento y pérdida de carbono, método utilizado en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El segundo considera la diferencia de existencias, es decir, la variación en las reservas de carbono en un lugar determinado, medida en dos momentos diferentes. Ambos enfoques son esenciales para comprender y cuantificar la contribución de los bosques a la mitigación del cambio climático.

Con base en estas metodologías, se llevó a cabo un estudio en el área de Los Hondones, ubicada en la Ciénaga de Zapata. Este estudio tuvo como objetivo evaluar

el carbono retenido por los bosques en dos mediciones distintas y analizar su contribución para alcanzar la meta de pago por el carbono removido como servicio ambiental. Los resultados de este análisis representan un aporte significativo para la implementación de políticas de mitigación basadas en servicios ecosistémicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El patrimonio de la Empresa para la Conservación de la Ciénaga de Zapata se encuentra en la zona sur de la provincia de Matanzas. Este municipio constituye el mayor humedal de Cuba y del Caribe insular. Limita al norte con la autopista, desde el kilómetro 91 hasta el 165, incluye los municipios de Unión de Reyes, Jagüey Grande y Calimete. Al este colinda con la provincia de Cienfuegos, mientras que al oeste lo hace con la Ensenada de la Broa y la provincia de Mayabeque. Además, se encuentra en contacto con el Mar Caribe.

La empresa posee una superficie total de 491.3 mil hectáreas, de las cuales 281.9 mil hectáreas corresponden a cobertura forestal. El índice de boscosidad actual es del 57.4%. Esta extensión forma parte de una rica biodiversidad que es cuidadosamente gestionada para la conservación.

La evaluación de los recursos se realizó en una superficie de 500 hectáreas en el área conocida como Los Hondones, compuesta por bosques semicaducifolios sobre calizas. Esta área ha sido categorizada para su conservación y manejo especial. Se establecieron 11 parcelas permanentes de muestreo (PPM), distribuidas a intervalos de 45.5 hectáreas, durante el año 2020. Estas parcelas fueron monitoreadas hasta 2024. El diseño de muestreo utilizado fue completamente aleatorio, sin reemplazo, y se muestra en la figura 1.

Entre 2020 y 2024, se realizó un análisis dendrométrico en las parcelas permanentes establecidas. En dicho análisis, se midieron las variables de grosor de corteza, diámetro normal del fuste (a 1.30 m del suelo, para árboles con un diámetro superior a 6.0 cm) y altura total de todos los árboles presentes. Para evaluar la remoción de carbono atmosférico y el incentivo correspondiente, se empleó un sistema automatizado de cálculo de carbono adaptado a las particularidades de la actividad forestal cubana (SUMFOR v-5.02). Este sistema permite procesar los datos relacionados con especies o formaciones naturales dentro del patrimonio forestal administrado por un tenente (Álvarez & Mercadet, 2024).

Consideramos la superficie y composición del área de trabajo, así como el volumen total calculado para cada parcela y se determinó la retención total de carbono (tC) por parcela, así como la retención relativa (tC/ha). Además, se calculó la retención relativa por depósito (biomasa, necromasa y suelo), expresada como porcentaje del total. La evaluación se realizó según la norma 595 del Ministerio de la Agricultura, se utilizó un fichero de Excel con 51 hojas.

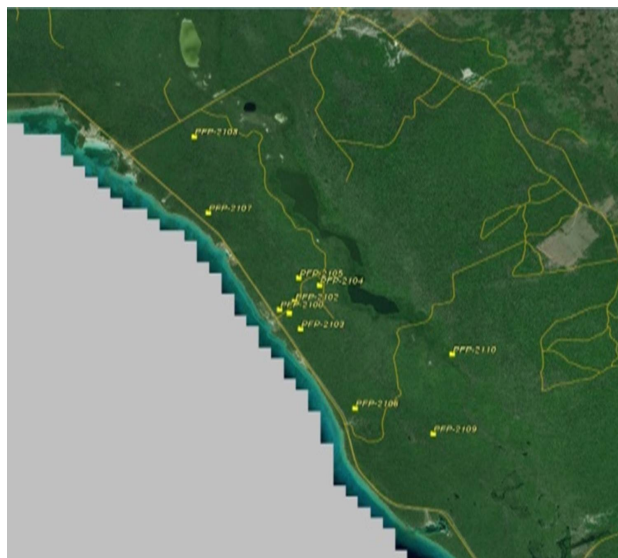


Figura 1. Representación del área que ocupa Los Hondones.

La primera hoja presenta el resumen de los cálculos, mientras que las 50 restantes se destinan a los datos de cada PPM. El formato de la primera hoja se muestra en el Anexo 2.

A partir de la retención total de carbono en el conjunto de parcelas, se calculó el valor promedio para el área de trabajo. Este conjunto de datos también fue sometido a un análisis descriptivo de datos para una variable numérica, con el sistema Statgraphics Centurion XVI. El objetivo fue obtener el coeficiente de variación (%) de los datos.

Luego, con la expresión [1] para calcular el tamaño de muestra apropiado en un muestreo aleatorio simple sin remplazo, despejada en función del término de error:

$$N = (Cv \cdot t / E)^2 \quad (1)$$

$$E\% = Cv \cdot t / \sqrt{n}$$

donde CV es el coeficiente de variación (%); t es el estadígrafo t de Student para una sola cola para (n-1) parcelas con una probabilidad de 0,05. El número total de parcelas es n, fue determinado el porcentaje de error correspondiente a la retención total de carbono promedio del área de trabajo, valor que fue considerado aceptable siempre que no superara 20 %.

La retención total de carbono del sitio se calculó como la suma de las retenciones de todas sus parcelas. El cálculo del carbono removido, también conocido como balance de carbono, se realiza a partir de la segunda evaluación. El pago del incentivo solo se efectúa si el carbono retenido en la última evaluación supera el valor obtenido en la anterior.

El proceso se basa en la segunda metodología mencionada. Esta metodología parte de la superficie y el volumen existente por especie (se consideraron 160 especies diferentes en los bosques artificiales y 16 formaciones en los bosques naturales). Para ello, se utilizan como factores de

emisión la densidad básica de la madera, la proporción de corteza por especie y el contenido de carbono presente en la madera y la corteza.

Adicionalmente, el sistema determina un indicador de manejo sostenible del bosque (Herrero, 2005), considerando tanto las emisiones como las remociones. El cumplimiento de estos indicadores es un requisito necesario para recibir el pago por el carbono, que es acreditado mediante un certificado acompañado de una etiqueta ambiental para su uso por parte del tenente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se partió de las 11 PPM rectangulares de 500 m² 20 m × 25 m establecidas, se midieron todos los árboles con un diámetro DAP a 1.30 m del suelo (diámetro a 1.30 m sobre el suelo) ≥ 6 cm con una Forcípula. El grosor de la corteza, en milímetros, se determinó con un perforador, y la altura total, en metros, se midió con un Hipsómetro de Suunto, ambos con una precisión de 1 mm. A partir de estas mediciones, se calculó el volumen por parcelas mediante la fórmula:

$$(d^2 / 4 (h+3) f)$$

donde:

- d²- Diámetro expresado en metros elevado al cuadrado.
- h- Altura del árbol, a la cual se suma 3 para las latifolias, se consideró este valor como error visual.
- f- Coeficiente de forma de cada especie.

La caracterización dasométrica del área, tras realizar las mediciones al 100% de los árboles, expone el promedio de las variables: grosor de la corteza (mm), diámetro a 1.30 m del suelo (DAP 130 cm), altura total (HT m) y volumen total (Tabla 1).

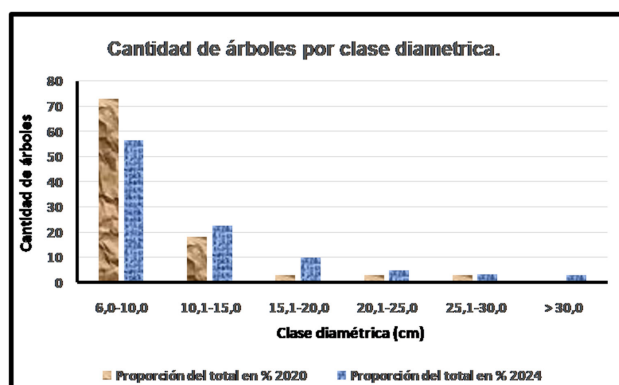
Tabla 1. Resultados dendrométrico promedio del área de trabajo.

Variable	2020	2023	2024
Grosor de corteza (mm)	3,32	5,31	5,76
Diámetro ≥ 6 cm	9,71	11,63	12,24
Altura total (m)	7,98	9,36	10,41
Volumen total (m ³)	54.843,70	65.999,00	72.817,04
Error del Promedio m ³	$\pm 4.646,05$	$\pm 7.983,27$	$\pm 5.796,24$
Error del Promedio %	8,5	12,10	7,96

Desde el segundo año evaluado, se observa un incremento en todas las variables al comparar los datos de 2024 con los de 2020. El grosor de la corteza aumentó en 2.44 mm, el diámetro en 2.53 cm y la altura total ascendió en 2.43 metros. Además, el porcentaje de error confirma que el número de parcelas fue adecuado para este tratamiento.

La distribución de las clases diamétricas es independiente de la especie, la calidad del sitio y la densidad. Solo muestra cierta dependencia de la edad y de las cortas intermedias realizadas, según Padilla, G. (1999), citado por (Álvarez & Mercadet, 2024). A continuación, se presenta la cantidad de árboles según las clases diamétricas.

En la figura 2 se muestra cómo el bosque experimentó un crecimiento, reflejado en la disminución de árboles con diámetro ≥ 6.0 -10.0 cm y el aumento en el resto de las clases diamétricas, incluso en las de > 30.0 cm, que en sus inicios no existían. Este resultado ratifica que el manejo aplicado en el área fue adecuado.

**Figura 2.** Distribución de árboles por clase diamétrica.

Con la superficie y composición del área, se calculó el volumen por parcelas y el volumen promedio. El análisis de los datos obtenidos en los tres años evaluados evidencia que los volúmenes totales de madera aumentaron en 6,818.04 m³ con respecto al año 2023 y en 17,973.34 m³ respecto al año 2020. Esto incide positivamente en el incremento del

rendimiento (35.94 m³/ha) y en el ICA (6.2 m³/ha/a) entre los años 2020 y 2024 (Tabla 2).

La acumulación de carbono orgánico en el suelo mejora las propiedades de los suelos y su capacidad para producir biomasa. Además, este proceso reduce la contaminación de la atmósfera y la hidrósfera con compuestos de carbono, tal como lo enuncian (Pérez Iglesias et al., 2021). Este enfoque no solo favorece el entorno local, sino que también contribuye a mitigar los efectos negativos del cambio climático.

La acumulación de carbono presentó una distribución desigual entre los diferentes depósitos, como se observa en la tabla 3. Según diversos autores, la acumulación de carbono depende en gran medida de la estructura arbórea y la composición florística (Asase & Tetteh, 2016; Olorunfemi et al., 2019). Estas variaciones se deben a las diferencias en las características ecológicas de cada área.

La mayor concentración de carbono se localizó en la biomasa, que representó entre el 63% y el 69% del total en todos los años estudiados. El suelo fue el segundo depósito más importante, con valores entre el 24% y el 30%. Finalmente, la necromasa representó un 6% del total. En 2024, se contabilizaron más de 97 mil toneladas de carbono, con un incremento de 21.102,0 t de carbono durante el período 2020-2024. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de (Yepes et al., 2015), quienes afirman que la biomasa aérea puede contribuir hasta con un 60% del carbono total. (Asase & Tetteh, 2016) sugieren que la abundancia de fustales grandes, los cuales almacenan carbono en mayores proporciones, es una de las razones de este comportamiento.

A partir del volumen promedio, se calculó la existencia de carbono para los años 2023 y 2024. En 2024, esta existencia fue de -247.559,22 t CO₂, mientras que en 2023 fue de -235.931,75 t CO₂. Esto representa una remoción de -11.627,47 t CO₂ en solo un año. Este resultado fue acreditado con el Certificado de Carbono y la Etiqueta Ambiental, con respaldo legal según lo establecido en la Resolución 28/2024 (MINAG, 2024) del Ministerio de la Agricultura en nuestro país.

Tabla 2. Distribución volumétrica del área de trabajo.

Parcela N°	2020	2023	2024
	Vol. (m³)	Vol. (m³)	Vol. (m³)
2100	47.382,95	52.534,40	61.719,90
2101	39.544,21	53.148,50	60.395,75
2102	53.412,85	128.540,80	72.566,65
2103	78.134,02	98.313,30	103.427,42
2104	43.147,66	50.879,20	57.445,48
2105	57.651,75	71.119,30	68.432,47
2106	55.421,73	65.114,40	79.081,32
2107	85.654,94	99.010,20	110.833,46
2108	61.434,25	74.582,90	77.571,36
2109	42.338,15	52.793,10	60.618,65
2110	39.158,23	43.928,80	48.895,01
Promedio (m3)	54.843,70	65.999,00	72.817,04
Error del Prom. (m³)	± 4646,05	± 7983,27	± 5.796,24
(%)	8,50	12,10	7,96
Rendimiento (m3/ha)	109,69	132,00	145,63
ICA (m3/ha/a)	-----	7,44	13,64

Tabla 3. Existencia de Carbono por depósitos

Tipo de área	Año	Superficie. (ha)	Existencias de carbono (t)			
			Biomasa	Necromasa.	Suelo	Total
Bosques natural. Semicaducifolio sobre caliza	2020	500	48.035,0	4.585,0	23.500,0	76.120,0
	2023	500	52.597,5	5.035,0	23.500	81.132,5
	2024	500	67.516,0	6.206,0	23.500	97.222,0

Los valores obtenidos en esta primera evaluación del carbono retenido en el área de trabajo sirvieron como base para calcular la remoción anual de CO₂. Este cálculo se realizó mediante la técnica de la diferencia de existencias, que es reconocida por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006) como un método adecuado para estimaciones.

El Balance Neto de Emisiones (BNE) total, correspondiente al período 2020-2024, resultó en un valor final de -24.222,56 t CO₂. Este resultado reafirma que los bosques siguen siendo el único sumidero de carbono en el país, como lo señalan (Planos & Gutiérrez, 2020).

CONCLUSIONES

El área evaluada contribuye a la mitigación del cambio climático al alcanzar la condición de Sumidero de Carbono.

Los resultados positivos del balance de carbono entre evaluaciones sucesivas, crea las bases para que la Empresa para la Conservación de la Ciénaga de Zapata, pueda acceder al sistema nacional de pago por servicios ambientales del bosque.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A., & Mercadet, A. (2024). Los Beneficios económicos y ambientales de la Biodiversidad Biológica en Cuba en apoyo a la toma de decisiones en sectores y paisajes productivos (ECOVALOR) (Actualización del Sistema SUMFOR v.5.0. No. Informe Final del Proyecto; Resultado II: Aplicadas y validadas metodologías para evaluar el estado de los bienes y servicios ecosistémicos en los sitios de intervención y las implicaciones económicas de su manejo en función de la toma de decisiones.).
- Asase, A., & Tetteh, D. A. (2016). Tree diversity, carbon stocks, and soil nutrients in cocoa-dominated and mixed food crops agroforestry systems compared to natural forest in southeast Ghana. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(1), 96-113. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1110223>
- Herrero, J. A. (2005). Criterios e indicadores de manejo forestal sostenible. Una visión de futuro (Agrimfor, p. 55). Ministerio de la Agricultura.

- IPCC, I. P. O. C. C. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2-3.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., & García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1), 75-82. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193028545014.pdf>
- Mercadet, A., Álvarez, A., & Ajete, A. (2020). La Mitigación del Cambio Climático por el Sector Forestal Cubano (Instituto Investigaciones Agro-Forestales).
- MINAG. (2024). Resolución 28/2024. Gaceta Oficial de la República de Cuba N° 18.
- Olorunfemi, I. E., Komolafe, A. A., Fasinmirin, J. T., & Olufayo, A. A. (2019). Biomass carbon stocks of different land use management in the forest vegetative zone of Nigeria. *Acta Oecologica*, 95, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.01.004>
- Pérez Iglesias, H. I., Rodríguez Delgado, I., & García Batista, R. M. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 141-149. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202021000200141&script=sci_arttext
- Planos, E., & Gutiérrez, T. (2020). Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. CITMA: Ciego de Ávila, Cuba.
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2012). Guía para la determinación de carbono en pequeña propiedades rurales (1ra ed.). World Agroforestry Centre (ICRAF). http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf
- Yepes, A., Herrera, J., Phillips, J., Cabrera, E., Galindo, G., Granados, E., Duque, Á., Barbosa, A., Olarte, C., & Cardona, M. (2015). Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 69-82. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000100007