



## Conference Paper

# Contribución del bosque en Cerro Pelado a la mitigación del Cambio Climático: almacenamiento y secuestro de carbono

José Ulises Jiménez, Reinhardt Pinzón, José Fábrega, and Dafni Mora

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá

## Abstract

This study deals with the estimation of the carbon associated to the Above Ground Biomass, in a permanent plot of measurement located in the Cerro Pelado Tropical Hydrology Observatory in Gamboa, Panama. The objective is to highlight the contribution made by one-hectare of this forest to the local Climate Change mitigation. We employed a relation to carbon storage and sequestration, based on the important species of the tree community with diameter at breast height equal to or greater than 10 cm. It was found an increase in the Above Ground Biomass at the plot, with values of:  $193 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ,  $218 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$  and  $225 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ , for the 2008, 2012 and 2015 censuses, respectively. The net growth in Above Ground Biomass is eliminating approximately  $7 \text{ to } 8 \text{ Mg de CO}_2 * \text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$  from the atmosphere, which means that it is acting as a sink and sequestrator of  $\text{CO}_2$ . In this habitat, it is recognizable the important contribution of the *Pera arborea* species in terms of sustaining carbon sequestration in the Above Ground Biomass.

Corresponding Author:

José Ulises Jiménez

ulises.jimenez@utp.ac.pa

Received: 15 November 2017

Accepted: 5 January 2018

Published: 4 February 2018

Publishing services provided  
by Knowledge E

© José Ulises Jiménez

et al. This article is distributed  
under the terms of the

Creative Commons Attribution

License, which permits

unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and source  
are credited.

Selection and Peer-review

under the responsibility of the  
ESTEC Conference Committee.

**Keywords:** Gamboa, Panama, Above Ground Biomass, Climate Change,  $\text{CO}_2$

## Resumen

Este estudio trata sobre la estimación del carbono asociado a la Biomasa Sobre el Suelo, en una parcela permanente de medición localizada en el Observatorio de Hidrología Tropical Cerro Pelado en Gamboa, Panamá. El objetivo es destacar el aporte que hace una hectárea de este bosque a la mitigación del Cambio Climático local. Se relacionó el almacenamiento y el secuestro de carbono, con base a las especies importantes de la comunidad arbórea con diámetro a la altura del pecho igual o mayor a 10 cm. Se encontró un incremento en la Biomasa Sobre el Suelo en la parcela, con valores de:  $193 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ,  $218 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$  y  $225 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ , para los censos del 2008, 2012 y 2015, respectivamente. El crecimiento neto en la AGB, está eliminando de la atmósfera entre  $7 \text{ u } 8 \text{ Mg de CO}_2 * \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  aproximadamente, lo que significa que está actuando como sumidero y secuestrador de  $\text{CO}_2$ . En este hábitat se reconoce que la especie *Pera*

## OPEN ACCESS

*arborea* tiene una contribución importante en cuanto al sostenimiento del secuestro del carbono en la Biomasa Sobre el Suelo.

**Palabras claves:** Gamboa, Panamá, Biomasa Sobre el Suelo, Cambio Climático, CO<sub>2</sub>

---

## 1. Introducción

Debido al constante aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, las investigaciones en todo lo concerniente al Cambio Climático se hacen prioritarias para todos los países (Houghton, 2008). Entre las distintas líneas de investigaciones existentes, hay una que se enfoca en la cuantificación de la fijación biológica de carbono como un medio para reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub>.

En los últimos 20 años, han sido ampliados los esfuerzos por monitorear los bosques tropicales utilizando técnicas como: los inventarios de árboles en parcelas permanentes de medición y el uso de sensores remotos, con el fin de disminuir la incertidumbre en las mediciones relacionadas a las emisiones de gases de efecto invernadero por los cambios en la cobertura boscosa producto de la deforestación, degradación y modificación en los usos del suelo (Achard et al., 2014).

El paisaje, la protección del suelo contra la erosión, refugios y alimentos para los animales, la regulación del ciclo hidrológico y del clima son sólo algunos de los bienes y servicios que nos ofrece el bosque. Los bosques tropicales poseen grandes cantidades de carbono almacenado en su biomasa, secuestran dióxido de carbono de la atmósfera cuando crecen o pueden convertirse en fuente de emisión por deforestación o degradación (IPCC, 2001). Los bosques tropicales son extensos y tienen altas tasas de fijación de carbono por lo que resultan ser apropiados para la fijación de carbono en su biomasa como medio para reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> (Vaccaro et al., 2003).

La biomasa es toda materia orgánica viva o muerta generada a partir de un proceso biológico. La biomasa sobre el suelo (AGB, por sus siglas en inglés) es la cantidad total de materia (peso seco por unidad de área, usualmente expresado en Mg \* ha<sup>-1</sup>) de las plantas leñosas vivas, principalmente árboles, presentes sobre la superficie del suelo en un área específica (Chave et al., 2005).

Ya que la AGB está fuertemente correlacionada con el diámetro del tronco, es posible utilizar los datos de los inventarios forestales para estimar la AGB y los cambios de esta variable en reinventarios posteriores (Brown 1997). Los cambios a largo plazo en

la AGB pueden inferirse empleando datos de parcelas de inventarios forestales permanentes (Chave et al., 2005). Para cuantificar la AGB utilizamos fórmulas alométricas, que son obtenidas para diferentes tipos de bosque usando modelos de regresión que convierten los datos de parcelas de inventario como el diámetro a la altura del pecho (dap), densidad de madera promedio y altura total, en una estimación de la AGB.

La AGB de los bosques tropicales se convierte en una variable crucial para ecólogos, forestales y políticos responsables de tomar decisiones sobre mitigación del Cambio Climático. Los inventarios de árboles son una forma eficiente de evaluación del carbono almacenado y de las emisiones de carbono de los bosques tropicales a la atmósfera durante la deforestación o degradación (Chave et al., 2004).

La cuantificación de la AGB, el carbono fijado en ésta (AGB), el dióxido de carbono equivalente y de la tasa de eliminación anual de dióxido de carbono de la atmósfera; como función del estado de complejidad del bosque húmedo tropical (bh-T), sensu Holdridge (1987), son datos valiosísimos en estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. El interés de este tipo de estudio radica en poder conocer el rol ecológico que tienen estos bosques en la mitigación al cambio climático.

Tal como muestra el mapa de zonas de vida de Panamá, el bh-T es el ecosistema más extenso (ANAM, 2010). De allí, la importancia cuantificar la cantidad de carbono que hay almacenado su biomasa y la tasa anual de captura de CO<sub>2</sub> de la atmósfera producto del crecimiento neto en la AGB, en este tipo de ecosistema, según su estado de complejidad. El objetivo general del estudio es destacar cual es el aporte que hace una sola hectárea de bosque en Cerro Pelado a la mitigación del Cambio Climático local, en lo referente a el almacenamiento y el secuestro de carbono, con base en las especies importantes de la comunidad arbórea con diámetro a la altura del pecho igual o mayor a 10 cm.

## 2. Metodología

Se analizaron los datos de tres inventarios de árboles en una parcela permanente de muestreo (PPM) de una hectárea de bosque, denominada "La Torre", en el Observatorio de Hidrología Tropical en Cerro Pelado, Gamboa. El sitio de estudio se localiza en la Provincia de Colón, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, a una elevación aproximada de 180 msnm. Sus coordenadas son 9° 7'28''N, 79° 42'9''W. El mismo es un bosque secundario, producto de un proceso de regeneración natural de más de 90 años sin intervención significativa (Jiménez et al., 2016).

La ubicación de la parcela se escogió de forma preferencial. Según el Mapa de Vegetación de Panamá basado en el Sistema de Clasificación Internacional y Cartografía de la Vegetación de UNESCO, el sitio de estudio se ubica en la categoría de bosque semicaducifolio tropical de tierras bajas (ANAM, 2010).

La PPM de 1 ha. (100 m \* 100 m) es subdividida en 25 cuadrantes, de 20 m \* 20 m. La PPM se estableció 2008, y allí se contaron, marcaron y midieron los diámetros de los troncos de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho igual o mayor a 10 cm (Condit, 1998); luego se re-censaron en los años 2012 y 2015 (En los censos 2012 y 2015 se midieron y contaron tallos secundarios menores a 10 cm, a diferencia del censo 2008, que no los tomó en cuenta). Para referirnos a estos censos en Cerro Pelado de los años 2008, 2012 y 2015, utilizamos respectivamente, las abreviaciones CP1, CP2 y CP3.

El análisis de los datos se realizó usando el programa R (R Core Team, 2015) y el paquete de la CTFS (CTFS, 2013). Se necesitó dos tipos de bases de datos: la primera tiene sólo los tallos principales (*treetable*), y la segunda base de datos incluye todos los tallos principales y secundarios (*stemtable*). El formato de las bases de datos es estandarizado por la CTFS y usa 20 variables. En la variable *dbh*, las medidas del diámetro se presentan en milímetros. La información de la densidad de madera de las especies de árboles fue extraída de *CTFSpackage*.

Existen varias funciones en el *CTFSpackage* para estimar la AGB dependiendo del formato de la base de datos. La función que se utilizó se llama *biomass.CTFSdb*. Cada vez que se ejecuta esta función se calcula y reescribe el AGB (en Mg) para cada tallo en la columna *agb* de la base de datos. Se suman los valores en las columnas *agb* y se obtiene la AGB para cada Censo. Un megagramo (Mg) es igual a una tonelada y una hectárea (ha) es igual a 10,000 m<sup>2</sup>.

El modelo alométrico utilizado para la estimación de la AGB es tomado de Chave *et al* (2005):

$$AGB = \rho * \exp(-1.499 + 2.148 * \ln(D) + 0.207 * (\ln(D))^2 - 0.0281 * (\ln(D))^3) \quad (1)$$

donde: AGB es la biomasa sobre suelo (en Kg); D es el dap (diámetro a la altura del pecho, en cm); y  $\rho$  es el valor promedio de gravedad específica de la madera (en g \* cm<sup>-3</sup>).

Se calculó: la AGB para los censos CP1, CP2 y CP3; el crecimiento neto en la AGB en el periodo comprendido entre los CP1 y CP2 (AGB<sub>2</sub> - AGB<sub>1</sub>) y CP1 y CP3 (AGB<sub>3</sub> - AGB<sub>1</sub>); la biomasa de los árboles que murieron entre los censos y el aporte en biomasa de los árboles reclutados; el Crecimiento Neto Anual Promedio en la AGB; el Incremento

Neto Anual Promedio Carbono Nuevo en la AGB y la Tasa de Eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera por el Crecimiento Neto en la AGB.

El Crecimiento Neto Anual Promedio en la AGB es igual al crecimiento neto en la AGB dividido por el tiempo en años entre los censos. El contenido de carbono es generalmente cerca de 50% de la biomasa y, en general varía poco entre las especies o entre las diferentes partes del árbol. El Incremento Neto Anual Promedio de Carbono Nuevo en la AGB es igual a la mitad de al Crecimiento Neto Anual Promedio en AGB. La Tasa de eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera por el Crecimiento Neto en la AGB es igual al Incremento Neto Anual Promedio de Carbono Nuevo en la AGB multiplicado por el factor de conversión 3.667, siendo ésta la relación de los pesos atómicos del CO<sub>2</sub> y C ( $^{44u}/_{12u}$ ). Por último, se listan las especies de mayor importancia en cuanto al almacenamiento y fijación de carbono.

### 3. Resultados

La AGB estimada para los censos CP1, CP2 y CP3 fue: 193 Mg \* ha<sup>-1</sup>, 218 Mg \* ha<sup>-1</sup> y 225 Mg \* ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En los censos CP2 y CP3 se incluye la medición de tallos secundarios que midieron menos de 10 cm de diámetro normal, pero, el CP1 no incluyó estos tallos secundarios. De estos resultados se puede apreciar que la cantidad de AGB se va incrementando en esta parcela de bosque a través de estos 7 años.

Todos los árboles registrados en CP1 (línea base) son árboles vivos. En los siguientes re-censos podemos registrar los árboles que continúan vivos, los que murieron y también, los reclutados (aquellos árboles que han alcanzado la medida de selección,  $dap \geq 10$  cm). A continuación, se resume la información del número de árboles vivos, muertos y reclutados entre los censos:

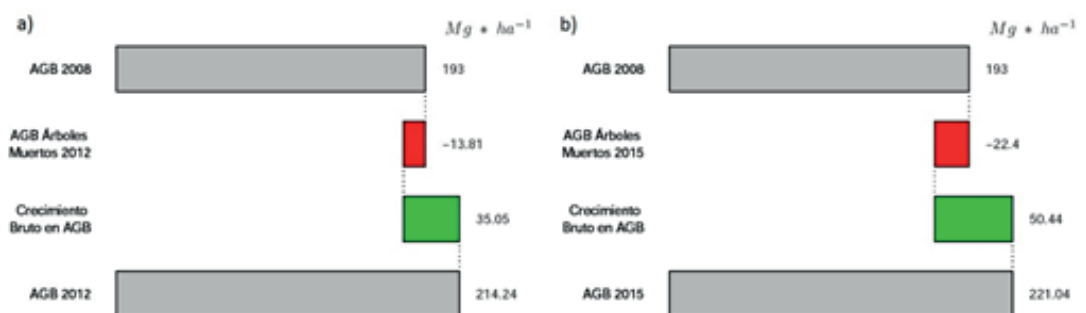
1. En el primer censo CP1 se reportaron 384 árboles.
2. En el censo CP2, se reportaron 385 árboles vivos, del censo anterior murieron 27 árboles, lo que significa que nuevos o reclutados para el censo CP2 hay 28 árboles.
3. En el censo CP3, se reportaron 382 árboles vivos, del censo anterior CP2 murieron 30 árboles, y reclutados para el censo CP3 hay 27 árboles; y si lo tomamos desde el censo CP1, para el censo CP3 han muerto 57 árboles y reclutado 55.

La biomasa de árboles con estatus de muerto en el censo CP2 fue de 13.81 Mg \* ha<sup>-1</sup> y en el censo CP3 fue de 22.4 Mg \* ha<sup>-1</sup>. Cuantificar la cantidad de AGB que pasó a ser necromasa sobre el suelo es un parámetro importante para conocer el

crecimiento bruto en AGB. El incremento en AGB se debe al crecimiento de los árboles que continúan vivos y a los nuevos árboles que alcanzan la medida de selección; o lo que es lo mismo, los nuevos registros de árboles con diámetro normal igual o mayor a 10 cm. La biomasa de árboles reclutados entre el censo CP1 y CP2 fue de  $2.6 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$  y entre el censo CP1 y CP3 fue de  $5.51 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ .

Para poder comparar el crecimiento en AGB entre los censos CP1 - CP2 y entre CP1 - CP3, excluimos de los censos CP2 y CP3 todos los tallos secundarios menores a 100 mm, ya que estos no fueron tomados en cuenta en el censo CP1. Para los censos CP1, CP2 y CP3, la AGB fue:  $193 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ,  $214 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$  y  $221 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ , respectivamente.

La figura 1, dinámica de la AGB, resume los resultados de la estimación del almacenamiento y del crecimiento en la AGB para una hectárea de bosque en Cerro Pelado, Gamboa; la sección "a" de la figura: entre los censos CP1 y CP2, y la sección "b": entre CP1 y CP3. El tiempo entre los censos CP1 y CP2 es de 4.76 años; y entre CP1 y CP3 es de 7.33 años. Los re-censos entre CP2 y CP3 tienen entre si menos de 3 años y es por eso que no los comparamos entre ellos, ya que los errores de medición de los diámetros tendrían una influencia significativa de sesgo sobre los resultados del cambio en diámetro de los troncos, y únicamente se utiliza el censo CP1 como punto de partida para ambos re-censos.

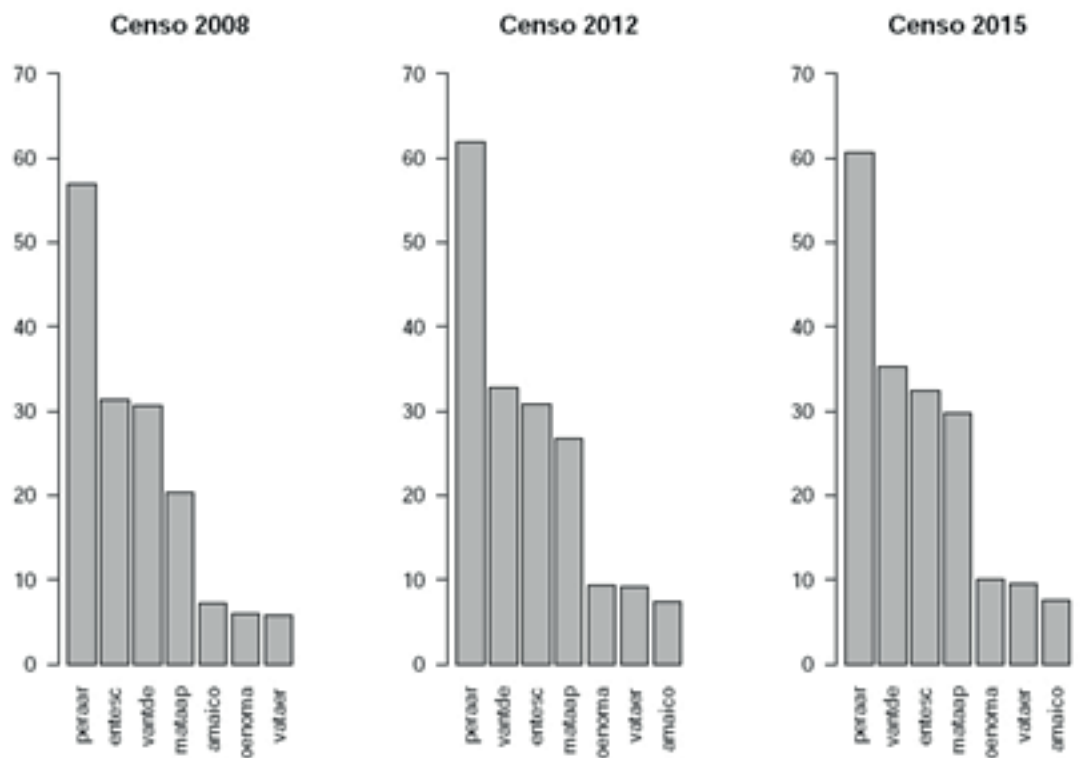


**Figura 1:** Dinámica de la AGB utilizando el censo de 2008 como base. a) comparación con censo 2012 y b) comparación con censo de 2015.

La diferencia de la AGB entre dos censos es el crecimiento neto en la AGB. El crecimiento neto en la AGB del censo CP1 al CP2 fue de  $21.24 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ . Luego, si tomamos también el primer censo como línea base, el crecimiento neto en AGB del censo CP1 al CP3 fue de  $28.04 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ . De aquí obtenemos que, el crecimiento neto anual promedio en AGB del censo CP1 al CP2 fue de  $4.46 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y mientras que, del censo CP1 al CP3 fue de  $3.82 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Se advierte que el Crecimiento Neto Anual Promedio en AGB tuvo una mayor tasa en los primeros 4.7 años comparado con los últimos 2.5 años, ya que se disminuye este promedio en un 14%. La tasa de crecimiento neto anual promedio en AGB para los últimos años se estima en  $2.63 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, debido principalmente al aumento en la tasa de árboles muertos por año (de 5 a 6 árboles muertos por año pasó a ser de 11 a 12 árboles muertos por año).

Acercas del carbono nuevo en AGB, se obtuvo que el incremento neto anual promedio de carbono para el periodo CP1 al CP2 fue de 2.23 Mg de C \* ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y del CP1 al CP3 fue de 1.91 Mg de C \* ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>; lo que se traduce en una tasa de eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, debido al crecimiento neto en la AGB de 8.17 Mg de CO<sub>2</sub>\* ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para el periodo CP1 al CP2 y de 7.01 Mg de CO<sub>2</sub>\* ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para el periodo CP1 al CP3.



**Figura 2:** Especies de árboles con mayores aportaciones al almacenamiento y secuestro de carbono en la AGB dentro de la parcela PPM en Gamboa, Colón, Panamá.

La figura 2, muestra el valor absoluto del aporte al almacenamiento y secuestro de carbono expresado como la AGB para cada especie. Los códigos usados emplean las 4 primeras letras del género y las 2 primeras letras del epíteto de la especie. Las especies están ordenadas descendientemente, de forma que las primeras especies son las que más aportan al secuestro de carbono en la AGB.

Las especies que más aportaron al almacenamiento y secuestro de carbono en la AGB en este hábitat de Cerro Pelado son: sapito, *Pera arborea* Mutis (peraar); chiricano, *Vantanea depleta* McPherson (vantde); corotú de montaña, *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (entesc); gorgojo, *Matayba apetala* Radlk. (mataap); maqueunque, *Oenocarpus mapora* H. Karst. (oenoma); amargo, *Vatairea erythrocarpa* Ducke (vataer) y madroño, *Amaioua corymbosa* Kunth. (amaico).

## 4. Discusión

Los resultados que se muestran en este informe se circunscriben a una sola parcela de una hectárea situada en Cerro Pelado, Gamboa. Esta situación hace que haya poca información sobre la biomasa del bosque circundante debido a la alta variación en la estimación de AGB (Brown et al., 1989; Chave et al., 2003). Condit (2008) muestra valores para la AGB promedio estimada para Barro Colorado ( $260.0 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ) y el área del Canal de Panamá ( $232.7 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ), muy cercanos y comparables a los reportados para la PPM "La Torre", con AGB de:  $193 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ ,  $218 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$  y  $225 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ , para los censos CP1, CP2 y CP3, respectivamente. Este estudio encontró que la AGB para la PPM "La Torre" ha ido en aumento; pero la tasa promedio anual en que lo hace, disminuyó en los dos últimos años (de  $4.46 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  disminuye a  $2.63 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Los cambios de la AGB se presentaron en la tabla 1.

Pinzón et al. (2012) realizó un estudio acerca de la estimación de biomasa y carbono fijado, con base en los datos de la misma PPM para el censo de 2008 estimando la AGB en  $156.8 \text{ Mg} * \text{ha}^{-1}$ , con un modelo que incluye la medición de la altura total, además del dap y la densidad de madera. Tanto en este estudio, como en Pinzón et al. (2012) se utilizaron modelos muy aceptados para estimar la AGB en este tipo de bosque, los cuales se encuentran en Chave (2005); sin embargo, los resultados no son comparables; en principio, las ecuaciones alométricas de regresión utilizadas son distintas; además, el tiempo entre los censos comparados fue de escasamente tres años. Cuando el tiempo entre los censos es corto (menor a 4 o 5 años) los errores de medición del dap aumentan la incertidumbre en la estimación de la AGB.

En la figura 2 se presentaron las 7 especies de árboles que más aportan al almacenamiento y secuestro de carbono en la AGB en la PPM "La Torre". Aquí, *Pera arborea*, se ubica como las más importante a través de los re-censos, manteniendo su aporte en la AGB, aunque los datos de inventario muestran disminución en su abundancia.



## 5. Conclusión

Con el crecimiento neto en la AGB, para la hectárea de bosque evaluada en Cerro Pelado, se reporta que se está eliminando de la atmósfera entre 7 u 8 Mg de CO<sub>2</sub>\* ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Es de resaltar que la cantidad AGB en esta hectárea de bosque sigue con tendencia a aumentar tras los 7 años transcurridos, lo que significa que está actuando como sumidero y secuestrador de CO<sub>2</sub> y de allí, su importancia en la dinámica del ciclo del carbono y su implicación en la mitigación del cambio climático. En este hábitat se reconoce que la especie *Pera arborea* tiene actualmente una contribución importante en cuanto al sostenimiento del secuestro del carbono en la AGB.

## 6. Trabajo futuro

Continuar con los estudios relativos al comportamiento de estos bosques, mediante el monitoreo de otras parcelas de muestreo en el área. Con este fin, se han establecido dos nuevas PPM (“El Vertedero” y “Las Ruinas”) en el Observatorio de Hidrología Tropical en Cerro Pelado. De esta forma, esperamos dar mayor robustez a los resultados obtenidos en la Parcela estudiada (PPM “La Torre”) en lo relacionado a la capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono.

## 7. Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por su apoyo a través del proyecto INF 10-25: “Equipamiento de un laboratorio natural húmedo tropical con instrumentos de medición de flujo de carbono a nivel de planta y suelo para el desarrollo de investigaciones aplicadas en eco hidrología”. También agradecemos al Dr. Richard Condit y a los botánicos Salomón Aguilar y Rolando Pérez del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Queremos expresar nuestra gratitud a Alejandrina Batista, Ana Franco y Felipe Rivera, colaboradores del CIHH que contribuyeron con este proyecto.

## Referencias

- [1] Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H. J., Bodart, C., Brink, A., Carboni, S., Desclée, B., Donnay, F., Eva, HD., Lupi, A., Rasi, R., Seliger, R., Simonetti, D. 2014. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990

- to 2010. *Global Change Biology*, 20(8), 2540-2554.
- [2] ANAM. 2010. Atlas Ambiental de la República de Panamá. 190p.
- [3] Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Rome: FAO.
- [4] Brown, S., Gillespie, A. J. R., & Lugo, A. E. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35(4), 881-902.
- [5] Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145, 87-99.
- [6] Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., & Perez, R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1443), 409-420.
- [7] Chave, J., Condit, R., Lao, S., Caspersen, J. P., Foster, R. B., & Hubbell, S. P. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91, 240-252.
- [8] Condit, R. 2008. Methods for estimating above-ground biomass of forest and replacement vegetation in the tropics. Center for Tropical Forest Science Research Manual.
- [9] Condit, R. 1998. Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag and R. G. Landes Company, Berlin, Germany, and Georgetown, Texas.
- [10] Holdridge, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. *Agroamérica*, N°83. 216p.
- [11] Houghton, R.A. 2008. El flujo de carbono a la atmósfera a partir de los cambios de uso del suelo: 1850-2005. En las tendencias: Un compendio de datos sobre el cambio global, Dióxido de Carbono del Centro de Análisis de Información. Tennessee, US, Laboratorio Nacional Oak Ridge, Departamento de Energía. URL <http://cdiac.ornl.gov/trends/landuse/houghton/houghton.html>.
- [12] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, UK/US). 2001. Climate change 2001: Glosario de términos. Anexo B. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the IPCC. Eds. Metz, B, O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan. Cambridge, UK/US, Cambridge University Press. 752 p.
- [13] Jiménez, J. U., Fábrega, J., Mora, D., Tejedor, N., & Sánchez, M. 2016. Composition, Diversity, and Tree Structure of a Tropical Moist Forest in Gamboa, Colon, Panama. *Air, Soil and Water Research* 2016, 9, 29-34. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S33960>

- [14] Pinzón, R., Fábrega, J., Vega, D., Vallester, E. N., Aizprúa, R., López-Serrano, F. R., ...Espino, K. 2012. Estimates of biomass and fixed carbon at a rainforest in Panama. *Air, Soil and Water Research*, 5, 79–89. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S9528>
- [15] R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [16] Vaccaro, S.; Arturi, M.; Goya, J.; Frangi, J.; Piccolo, G. 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria en la provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia* 28(9):521-527.

## Autorización y Renuncia

*Los autores autorizan a ESTEC a publicar este artículo en las Actas del Congreso. Ni ESTEC, ni los editores son responsables ni del contenido, ni de las implicaciones de lo que se expresa este artículo.*