



Stock de carbono aéreo en un bosque con paca de terrazas altas de la concesión de conservación "Gallocunca", sector Baltimore, distrito Tambopata, Madre de Dios - Perú

Aboveground carbon stock in a bamboo forest with high terraces of the "Gallocunca" conservation concession, Baltimore sector, Tambopata district, Madre de Dios - Peru

José L. Mamani-Condori ^{1*}

Mishari R. García-Roca ¹

Germán H. Correa-Núñez ²

Sufer M. Baez-Quispe ³

¹Departamento Académico de Ingeniería, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

²Departamento Académico de Ciencias Básicas. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

³Herbario "Alwyn Gentry" (HAG). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

*Autor de correspondencia: jlforest57@gmail.com

Recibido: 09/10/2023 Aceptado: 22/01/2024 Publicado: 25/01/2024

Resumen: El estudio se realizó en un bosque con paca de terrazas altas (BPTa) de la concesión de conservación (CC) "Gallocunca" con el objetivo de estimar el stock de carbono aéreo. Se realizó un inventario de la biomasa aérea en 12 parcelas de muestreo rectangulares, de diseño anidado. Se evaluó la biomasa de árboles grandes (BAG) individuos con $DAP \geq 10$ cm en 0.5 ha (50x100 m), biomasa de árboles pequeños (BAP) individuos con $2.5 \leq DAP < 10$ cm en 0.04 ha (20x20 m) y la biomasa herbácea (BH) individuos con $DAP < 2.5$ cm en 0.0016 ha (4x4 m). Para la estimación se emplearon ecuaciones alométricas locales y de bosques tropicales (LULUCF, 2003). La biomasa herbácea se obtuvo mediante el secado de muestras de 200 g a 80 °C. Los valores promedio de biomasa aérea fueron 331.25 ± 149.18 t/ha (BAG: 306.07 t/ha, BAP: 23.51 t/ha, BH: 1.67 t/ha). Se estimó un stock de carbono aéreo promedio de 165.63 ± 74.59 t C/ha. La cantidad de carbono equivalente (CO₂-equi) evitado si se conserva el BPTa sería de 607.30 ± 273.50 t CO₂-equi/ha.

Palabras clave: biomasa aérea; bosque pacal; composición florística; stock de carbono aéreo

Abstract: The study was conducted in a high-terrace bale forest (HTBF) in the "Gallocunca" conservation concession (CC) with the aim of estimating the aboveground carbon stock. An aboveground biomass inventory was conducted in 12 rectangular, nested sampling plots. The biomass of large trees (TBF) was assessed: individuals with $DBH \geq 10$ cm in 0.5 ha (50x100 m), small tree biomass (STB) was assessed: individuals with $DBH \leq 10$ cm in 0.04 ha (20x20 m), and herbaceous biomass (HB) was assessed: individuals with $DBH < 2.5$ cm in 0.0016 ha (4x4 m). Local and tropical forest allometric equations (LULUCF, 2003) were used for the estimation. Herbaceous biomass was obtained by drying 200 g samples at 80 °C. The average aboveground biomass values were 331.25 ± 149.18 t/ha (BAG: 306.07 t/ha, BAP: 23.51 t/ha, BH: 1.67 t/ha). An average aboveground carbon stock of 165.63 ± 74.59 t C/ha was estimated. The amount of carbon equivalent (CO₂-equi) avoided if the BPTa is conserved would be 607.30 ± 273.50 t CO₂-equi/ha.

Keywords: aboveground biomass; pacal forest; floristic composition; aboveground carbon stock



1. Introducción

En el último siglo han ocurrido diversas manifestaciones climatológicas extremas que indican que el sistema climático mundial ha sido afectado por las actividades humanas (IPCC, 2007), varios estudios han demostrado que el incremento percibido en la temperatura global está directamente asociado con el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) (CBD, 2007) en especial de dióxido de carbono (CO_2) (COP 12, 2006; IPCC, 2007). La quema de combustibles fósiles es una de las principales fuentes de GEI en el mundo, con una estimación de 28 000 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO_2) en el año 2008 (Winrock, 2006); sin embargo, se calcula que 1 700 millones de toneladas de carbono se emiten anualmente a la atmósfera como resultado del cambio en el uso del suelo. Una gran proporción de estas emisiones provienen de la deforestación en zonas tropicales.

Los bosques tropicales son importantes en el balance del carbono (C) global y mitigación del cambio climático, pues representan cerca del 59% del C total acumulado en los ecosistemas boscosos del mundo (Dixon et al., 1994). Ya que estos ecosistemas fijan CO_2 atmosférico mediante el proceso de fotosíntesis y almacenan carbono en sus tejidos (Clark & Clark, 2000).

Dado la importancia de los bosques en la captura y almacenamiento de carbono. Es necesario la evaluación in situ ¿Cuánto es el stock de carbono aéreo o la cantidad de carbono almacenado, en un bosque con paca de terrazas altas (BPTa) de la concesión de conservación (CC) "Gallocunca"? y ¿qué cantidad de carbono equivalente (CO_2 -equi) evitaríamos emitir o liberar a la atmósfera, si estos bosques se conservaran o no se cambiarían de uso?

2. Materiales y métodos

2.1. Ubicación del área de estudio

El área se encuentra ubicada en la concesión de conservación "Gallocunca", en un bosque con paca de terrazas altas, dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata, Sector de Baltimore, Región de Madre de Dios - Perú. Geográficamente localizada en la Selva Sur Oriental del Perú, entre las coordenadas $12^\circ 49' 35.8''$ y $12^\circ 46' 53.2''$ de latitud Sur y entre los $69^\circ 25' 26''$ y $69^\circ 24' 19.4''$ de longitud Oeste. El área de estudio comprende una extensión de 527.5 ha.

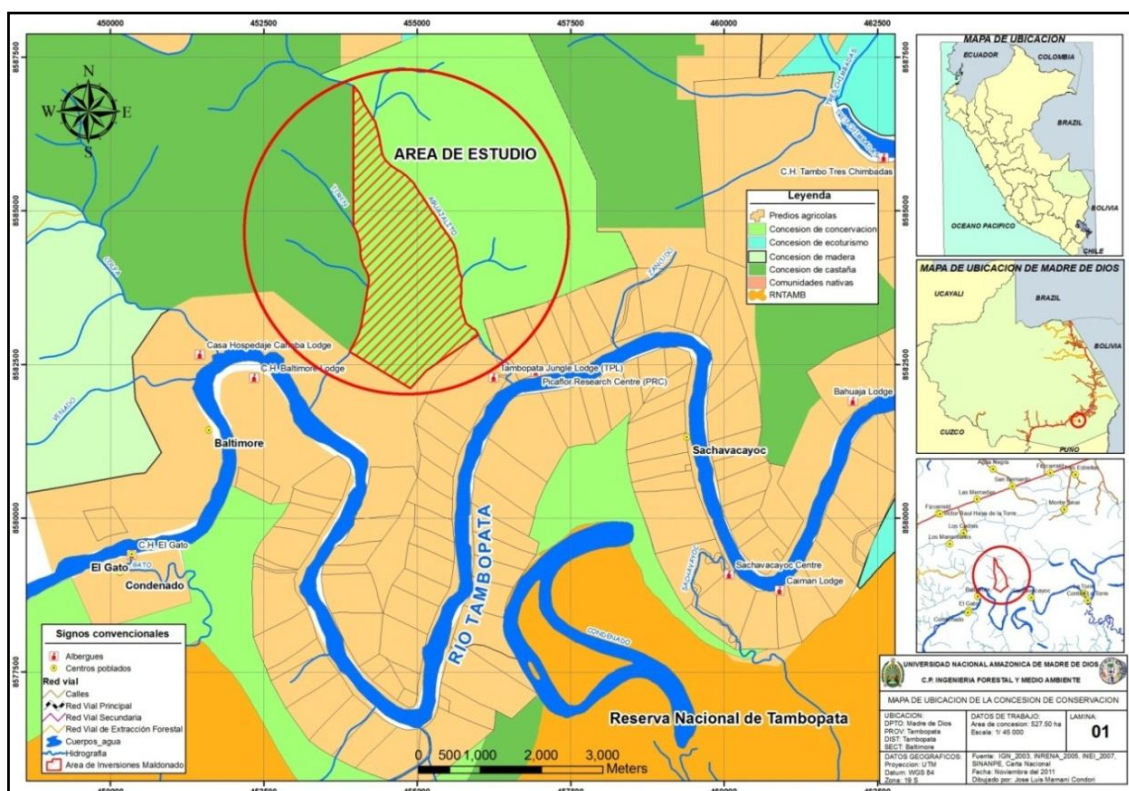


Figura 1. Área de estudio de la concesión de conservación "Gallocunca".

2.2. Tamaño, Forma y Diseño de la parcela

El tamaño de la unidad de muestreo se estableció en 0.5 hectáreas, la cual representa una caracterización eficiente de la composición florística y biomasa (Honorio Coronado & Baker, 2010). En estudios realizados (Chave et al., 2003), se ha demostrado que la unidad de muestreo de forma rectangular tipo faja es más eficiente para la evaluación de la estructura del bosque (Cruzado B & Flores N, 2010). El diseño fue de parcelas rectangulares anidadas, como sugiere (Honorio Coronado & Baker, 2010) y (Araujo-Murakami et al., 2006).

2.3. Composición florística

Se utilizó el método colección e identificación en campo y/o gabinete propuesto por (Ríos Trigos, 1982). Las muestras se identificaron a nivel de especie; a partir del uso de claves taxonómicas, comparación del material de herbario, uso de bibliografía especializada y consulta con especialistas en dendrología. El ordenamiento taxonómico se realizó de acuerdo con el Sistema de Clasificación Taxonómico Filogenético de Angiospermas de Jud Grupo III (Angiosperm Phylogeny Group, 2009) actualizado al 2024 del site: <http://www.tropicos.org/>.

2.4. Inventario de biomasa

Para el inventario de, se evaluó de acuerdo con la metodología de parcelas anidadas propuesto por (Honorio Coronado & Baker, 2010) y (Araujo-Murakami et al., 2006) de acuerdo con el siguiente detalle:

- En las parcelas de 50x100 m, se realizó el inventario de biomasa de árboles grandes (BAG) entre árboles y palmeras, con DAP \geq 10 cm.
- En la subparcela de 20x20 m se realizó el inventario de biomasa de árboles pequeños (BAP), evaluándose individuos entre arbolitos, arbustos, palmeras, pacas y lianas, con 2.5 \geq DAP<10 cm
- En la subparcela de 4x4 m, se realizó el, de inventario de biomasa herbácea (BH), se evaluó individuos con DAP<2.5 cm, en la en ella se colectó todos los arbustos, hierbas y pastos.

2.5. Estimación de biomasa

La biomasa de componentes de BAG y BAP, se estimó mediante ecuaciones alométricas de (Penman et al., 2003) (a partir de variables como: el DAP, DAC, HT y densidad del árbol) Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa (Kg de materia seca por árbol) a nivel local y para regiones amazónicas.

Ecuación alométrica	Especies	Diámetros (cm), otros	N	R ²	Origen de información	Fuentes
$Y = \rho^* \text{Exp}(-1.499 + 2.148*\text{Ln}(\text{DAP}) + 0.207*(\text{Ln}(\text{DAP}))^2 - 0.0281*(\text{Ln}(\text{DAP}))^3)$	General	≥ 5	143	0.96	Neotrópicos	1
$Y = \text{Exp}(-1.7689 + 2.3770*\text{Ln}(\text{DAP}))$	General	1-5	20	0.96	Manaos, Brasil	2
$Y = 12.764 + 0.2588 * \text{DAP}^{2.0515}$	<i>Cecropia sp.</i>	1 - 40	(*)	(*)	Bolivia	3
$Y = -0.0582*H^3 + 4.5868*H^2 - 43.198*H + 126.82$	<i>Mauritia flexuosa</i>	6 - 41 altura	16	0.99	Iquitos, Perú	4
$Y = 6.666 + 12.826*H^{0.5}* \text{Ln}(H)$	<i>Euterpe precatória</i>	33 altura	(*)	0.75	Bolivia	5
$Y = 139.48 + 7.308H^{1.133}$	<i>Oenocarpus bataua</i>	0.5 - 2.5 altura	83	0.83	Porce, Colombia	6
$Y = \text{Exp}(0.952*\text{Ln}(\text{DAP}) + 0.90*\text{Ln}(H) - 0.552)$	<i>Oenocarpus mapora</i>	≥ 1	15	0.89	Porce, Colombia	7
$Y = 23.487 + 41.851(\text{Ln}(H))^2$	<i>Attalea phalerata</i>	1-11 altura	(*)	0.62	Bolivia	5
$Y = \text{Exp}(-2.249 + 0.861*\text{Ln}(\text{DAP}^{2*H}))$	Otras palmeras	≥ 1	37	0.94	Porce, Colombia	7
$Y = 7.2581\text{DAC} - 7.0782$	<i>Guadua sp.</i>	≥ 2.5	(*)	0.89	Madre de Dios, Perú	8
$Y = [-21.379 + 0.31375(\text{DAP}) + 0.296H]*1582.454$	<i>Dipteryx mycrantha</i>	≥ 30 y 14.28 - 36 altura	64	0.83	Madre de Dios, Perú	9
$Y = [-6.719 + 0.13495(\text{DAP}) + 0.149H]*1722.030$	<i>Manilkara bidentata</i>	≥ 30 y 9.1 - 17 altura	62	0.88	Madre de Dios, Perú	9
$Y = [-3.979 + 0.07764(\text{DAP}) + 0.062H]*1636.715$	<i>Myroxylum balsamun</i>	≥ 30 y 9.1 - 27 altura	62	0.84	Madre de Dios, Perú	9
$Y = \text{Exp}(0.028 + 1.841*\text{Ln}(\text{DAP}))$	Lianas	1-11	33	0.87	Porce, Colombia	6

Donde:

Y : Es la biomasa de árboles, palmeras y lianas en kilogramos (Kg) de peso seco.

DAP: Es el diámetro a la altura del pecho (1.30 m) en centímetros (cm).

DAC: Es el diámetro del cuello (cm).

H : Es la altura total (m).

Ln : Es el logaritmo neperiano.

Exp : Es el exponencial, es el inverso de Ln.

ρ : Es la densidad de la madera (g/cm^3). Base de datos para Bosques Amazónicos (Zanne et al., 2009).

N : Es el número de muestras utilizadas para construir la ecuación.

R² : Es el coeficiente de correlación.

(*) : Sin información.

Estimación de la BAG, BAP en toneladas de biomasa por hectárea de superficie (Cruzado B & Flores N, 2010).

$$\text{BAG (t/ha)} = \sum_{i=1}^n [\text{Y}] * 0.002 \quad \text{y} \quad \text{BAP (t/ha)} = \sum_{i=1}^n [\text{Y}] * 0.025$$

Estimación de la BH en toneladas de biomasa por hectárea de superficie (Rügnitz Tito et al., 2009).

$$\text{BH (t/ha)} = [(\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}] * 0.625$$

2.6. Estimación de la biomasa aérea (BA)

La estimación de la biomasa aérea se determinó mediante la suma de los componentes de biomasa de árboles grandes, biomasa de árboles pequeños y la biomasa herbácea (Cruzado B & Flores N, 2010).

$$\text{BA (t/ha)} = [\text{BAG} + \text{BAP} + \text{BH}]$$

2.7. Cálculo del stock de carbono aéreo

Se calculó el stock de carbono aéreo o cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, multiplicando a la biomasa aérea (BA) por el factor de conversión a carbono de 0.5, o fracciones de carbono específicas (Cruzado B & Flores N, 2010).

$$\text{CT (t C/ha)} = \text{BA} \times 0.5$$

2.8. Cálculo de la cantidad de carbono equivalente (CO₂-equi)

La cantidad de carbono equivalente (CO₂-equi) que evitaríamos en emitir a la atmósfera, a partir de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, se multiplica el stock de carbono aéreo por el factor de conversión de 3.67, a carbono equivalente (Rügnitz Tito et al., 2009).

$$\text{CO}_2\text{-equi (t CO}_2\text{-equi/ha)} = \text{CT} * 3.67$$

3. Resultados

3.1. Composición florística del bosque con paca de terrazas altas

3.1.1. Composición florística de los árboles y palmeras con DAP>10 cm

Se registraron aproximadamente 2804 individuos de 312 especies, las cuales están distribuidos en 180 géneros y 60 familias. Las 4 especies con alta abundancia y densidad fueron: *Euterpe precatória* "Huasai" (195 individuos; 32.50 ind./ha), *Iriartea deltoidea* "Pona" (75; 12.50) y *Leonia glycyarpa* "Tamara" (69; 11.50). De igual

manera, las palmeras más frecuentes como *Euterpe precatoria*, *Iriartea deltoidea*, *Socratea exorrhiza*, también han sido reportadas por (Encarnacion et al., 2008) para el BPTa de la región Madre de Dios.

3.1.2. Composición florística de arbolitos, lianas, bambús y palmeras con $2.5 \leq \text{DAP} < 10$ cm

En las subparcelas de 0.04 ha (20x20 m), se registraron 931 individuos de 223 especies, las cuales están distribuidas en 144 géneros y 55 familias. Las 4 especies con alta abundancia y densidad que destacan fueron: *Guadua weberbaueri* "Paca" (134 individuos; 279.17 ind./ha), *Arrabidaea* sp. "Cipo cruz" (41; 85.42 ind/ha) y *Carpotroche longifolia* "Champa huayo" (28; 58.33 ind/ha). El bambú más frecuente, *Guadua weberbaueri*, se halla en pequeñas comunidades asociadas a lianas como *Dolioscarpus dentatus*. También a palmeras más frecuentes como *Oenocarpus mapora* y *Euterpe precatoria* que también fueron reportadas por (Encarnacion et al., 2008) y (Chambi, 2009) para el BPTa de la región Madre de Dios.

3.2. Estimación de biomasa en los componentes

El inventario de BAG, BAP y BH estimó valores de biomasa en promedio 306.07 t/ha, 23.51 t/ha y 1.67 t/ha respectivamente.

3.2.1. Biomasa aérea (BA)

La biomasa aérea estimada, del BPTa de la CC "Gallocunca", mostró valores de biomasa mínimos de 232.02 t/ha y máximos a 461.45 t/ha, resultando en promedio 331.25 ± 149.18 t/ha como se observa en la Figura 2.

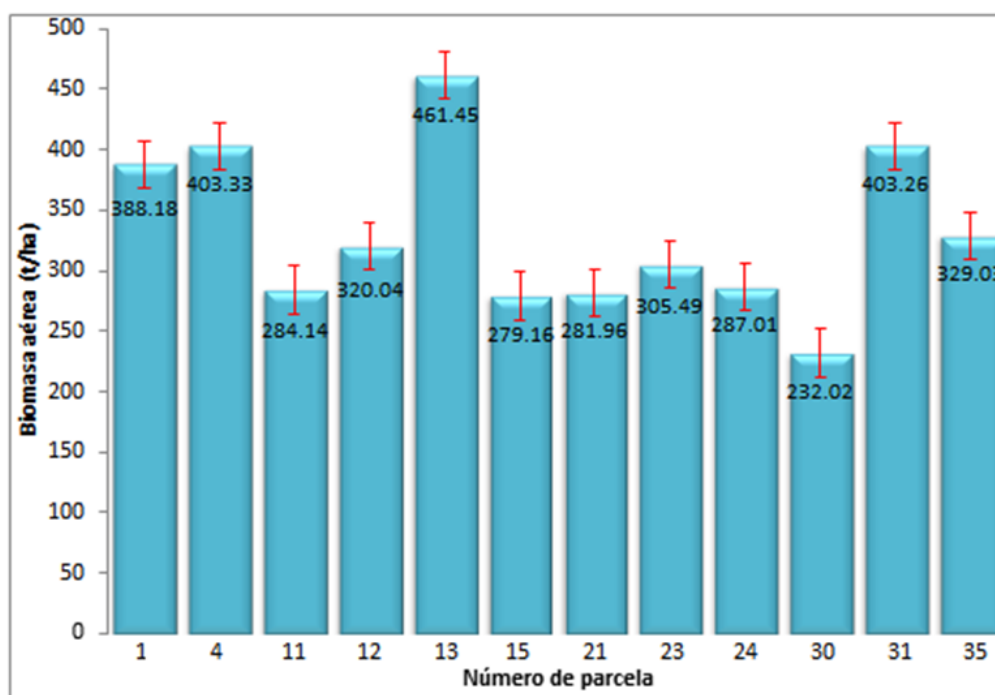


Figura 2. Distribución de la biomasa aérea (BA), por parcelas de muestreo, del BPTa.

Anderson (2012) refiere que en estudios recientes basados enteramente en datos de campo (Malhi et al., 2006) se fusionaron con un conjunto de datos de teledetección (Saatchi et al., 2011), donde sugieren valores altos de biomasa en 300 – 400 t/ha para bosques de la Amazonía oriental (este), noreste de la Amazonía y zonas centrales este del río Trombetas y el río Negro. También sugieren valores menores de biomasa de 200 – 300 t/ha para bosques de la Amazonía occidental (oeste), canal principal del río Amazonas, llanuras inundables de Igapó – Várzea, al oeste y sur de la Amazonía. El autor refiere que la baja biomasa en la Amazonía occidental podría deberse a la presencia de bosques de bambú.

La biomasa aérea estimada del BPTa de la CC "Gallocunca", Madre de Dios, fue superior a los reportados para el Noroeste de la Amazonía y en América Central por Orrego S. Del Valle (2001); Arreaga Gramajo (2002); Herrera Arango (2022); Sierra et al. (2007); Ponce R (2009) y Arango Arango & Camargo García (2010). También la biomasa aérea fue superior a los reportados para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Freitas Alvarado et al. (2006) y Saatchi et al. (2011); a nivel regional por Malhi et al. (2006); Winrock (2006) y AIDER, (2012). Sin embargo, la biomasa aérea, fue inferior a los reportados para el Este y Centro de la Amazonía por

Nascimento & Laurance (2002) y Winrock (2006). También fue inferior a los reportados para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Lapeyre et al. (2004); Lujan Cárdenas & Chavez Arcos (2006) y Malhi et al. (2006); a nivel regional por Chambi (2009) y Maderacre et al. (2009).

Una vez más se confirmaría la deducción, de que las diferencias de variación en las estimaciones de biomasa aérea, según Sarmiento et al. (2005) se deberían a procedimientos metodológicos.

3.3. Stock de carbono aéreo (CT)

El stock de carbono aéreo, estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", mostró valores mínimos de 116.01 t C/ha y máximos a 230.72 t C/ha, resultando en promedio 165.63 \pm 74.59 t C/ha como se observa en la Figura 3.

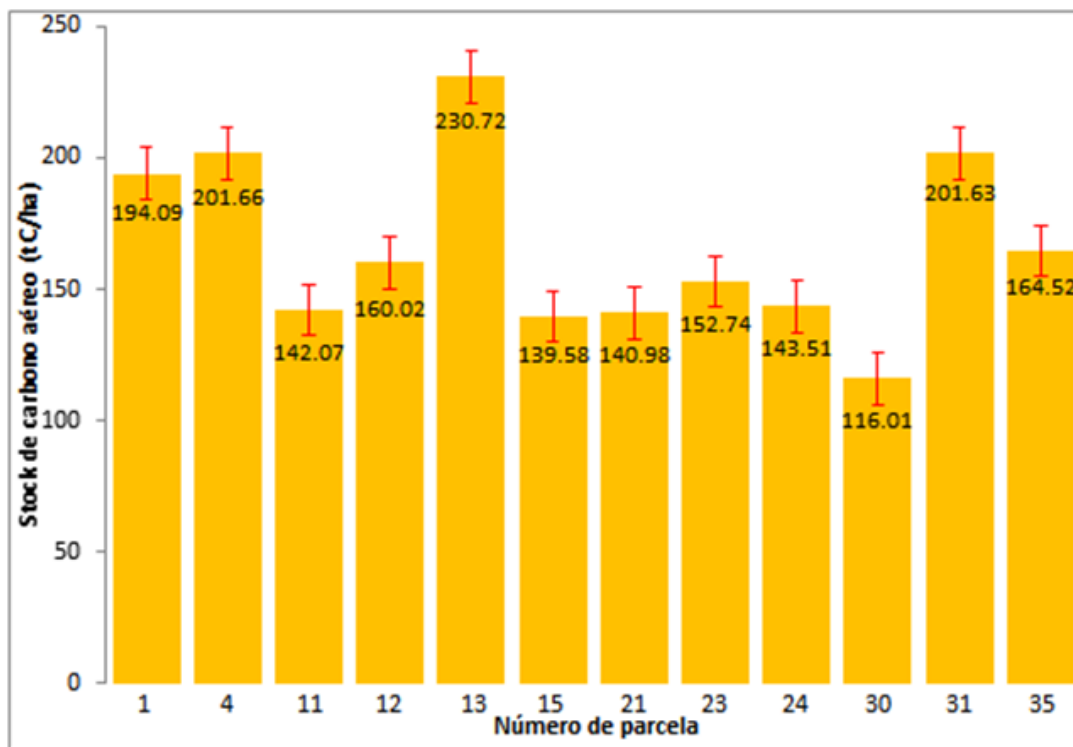


Figura 3. Distribución del stock de carbono aéreo, por parcelas de muestreo, del BPTa.

Al respecto (Saatchi et al., 2011) y Woods Hole Research Center (2012) usando una combinación de sensores remotos y datos de campo, estimaron valores en promedio de carbono en 150 - 200 t C/ha para bosques de la Amazonía oriental (este) y de 100 - 150 t C/ha para bosques de la Amazonía occidental (oeste).

El stock de carbono aéreo estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", Madre de Dios, mostró en promedio 165.30 \pm 74.59 t C/ha, el cual fue superior a los reportados para el Noroeste de la Amazonía y en América Central por Orrego S. Del Valle (2001); Arreaga Gramajo (2002); Herrera Arango (2022); Sierra et al. (2007); Ponce R (2009) y Arango Arango & Camargo García (2010). También el contenido de carbono aéreo fue superior a lo reportados para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Freitas Alvarado et al. (2006) y a nivel regional por Winrock (2006) y AIDER, (2012). Sin embargo, el stock de carbono aéreo estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", Madre de Dios, fue inferior a lo reportado para el Este y Centro de la Amazonía por Nascimento & Laurance (2002) y Winrock (2006). También el stock de carbono aéreo fue inferior a los reportados para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Lapeyre et al. (2004); Lujan Cárdenas & Chavez Arcos (2006); a nivel regional por Chambi (2009) y Maderacre et al. (2009).

3.3.1. Cantidad de carbono equivalente (CO₂-equi)

La cantidad de carbono equivalente estimada que evitaríamos en emitir a la atmósfera, del BPTa de la CC "Gallocunca", mostró valores de carbono equivalente mínimos de 425.36 t CO₂-equi/ha y máximos a 845.99 t CO₂-equi/ha, resultando en promedio 607.30 \pm 273.50 t CO₂-equi/ha como se observa en la Figura 4.

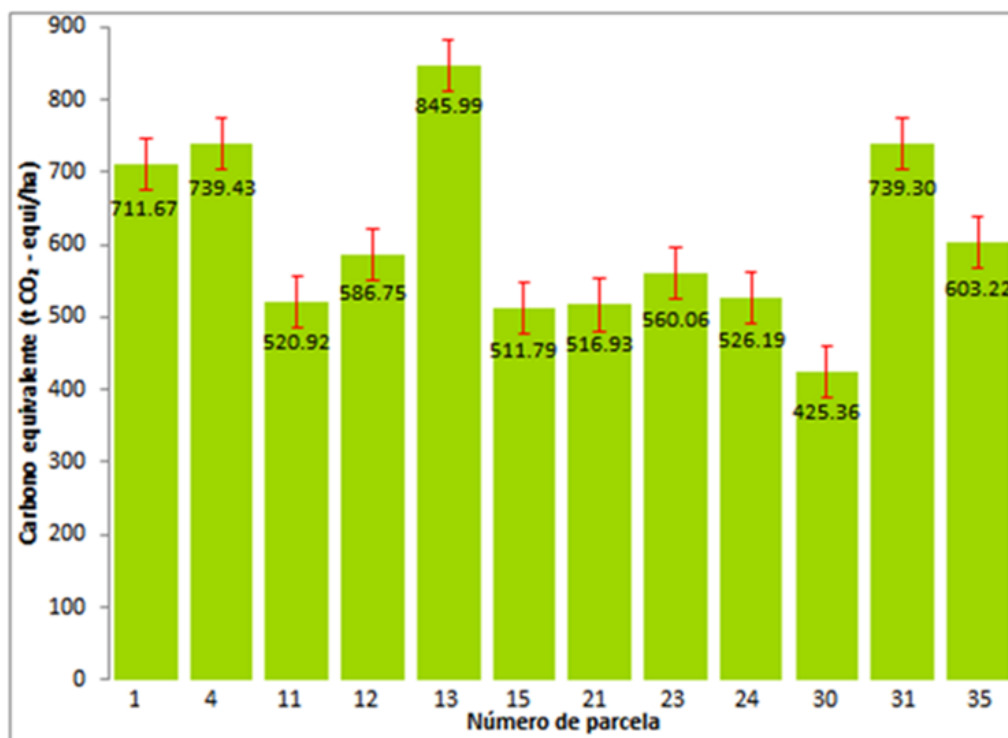


Figura 4. Distribución del carbono equivalente, por parcelas de muestreo, del BPTa.

La cantidad de carbono equivalente estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", Madre de Dios fue superior a los reportados para el Noroeste de la Amazonía y en América Central por Orrego S. Del Valle (2001); Arreaga Gramajo (2002); Herrera Arango (2022); Sierra et al. (2007); Ponce R (2009) y Arango Arango & Camargo García (2010). También la cantidad de carbono equivalente estimado fue superior a los reportados para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Freitas Alvarado et al. (2006) y a nivel regional por Winrock (2006) y AIDER, (2012). Sin embargo, la cantidad de carbono equivalente estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", Madre de Dios, fue inferior a los reportados para el Este y Centro de la Amazonía por Nascimento & Laurance (2002) y Winrock (2006). También la cantidad de carbono equivalente estimado fue inferior a la reportada para el Suroeste de la Amazonía: a nivel nacional por Lapeyre et al. (2004); Lujan & Chávez (2006); a nivel regional por Chambi (2009) y Maderacre et al. (2009).

4. Conclusiones

Las especies con alta abundancia y densidad de individuos, para los árboles grandes fueron: *Euterpe precatoria*, *Iriartea deltoidea* y *Leonia glycyarpa*. La biomasa aérea estimada del BPTa de la CC "Gallocunca", presentó un valor promedio de 331.25 ± 149.18 t/ha, el cual se encuentra dentro del rango registrado para bosques primarios de la Amazonía oriental (este).

El stock de carbono aéreo estimado del BPTa de la CC "Gallocunca", presentó un valor promedio de 165.63 ± 74.59 t C/ha, el cual se encuentra dentro del rango registrado para bosques primarios de la Amazonía oriental (este). La cantidad de carbono equivalente estimada que se evitaría en emitir a la atmósfera, del BPTa de la CC "Gallocunca", presentó un valor promedio de 607.30 ± 273.50 t CO₂-equi/ha, el cual se encuentra fuera del rango registrado para los bosques con paca de la región Madre de Dios.

Los altos valores registrados para el bosque con paca de terrazas altas, en cuanto a la biomasa aérea, stock de carbono aéreo y cantidad de carbono equivalente. Podría deberse a la composición florística y al aporte del componente árboles grandes.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a la financiación de la empresa Inversiones Maldonado S.A.C "TPL" a través del convenio con la UNAMAD, mediante el programa de BECAS TPL. A todas las personas comprometidas con el Albergue "Tambopata EcoLogde. De manera especial al equipo técnico: Luis Alberto Mesa Vega, Giancarlo

Renzo Sicclia Zarate, Hilario Huisa Manol y Robert Farfán Huanca por el apoyo en la fase de campo de esta investigación, sinceramente muchas gracias.

Financiamiento

El presente trabajo fue financiado por la empresa Inversiones Maldonado S.A.C" TPL" a través del convenio con la UNAMAD, mediante el programa de BECAS TPL. A todas las personas comprometidas con el Albergue "Tambopata EcoLogde.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de ninguna índole durante el desarrollo del estudio y su publicación.

Contribución de autores

Mamani-Condori, J. L., García-Roca, M. R., Correa-Núñez, G. H. y Baez-Quispe, S. M.: conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, curación de datos, escritura (preparación del borrador final), redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- AIDER. (2012). *Gestión Forestal Sostenible y Aprovechamiento de los Servicios Ecosistémicos en los Bosques Administrados por la Comunidad Nativa Ese Eja de Infierno, Perú* (p. 49). Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral. [https://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/ESTIMACIÓN DE CARBONO CNI.pdf](https://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/ESTIMACIÓN_DE_CARBONO_CNI.pdf)
- Anderson, L. O. (2012). Biome-Scale Forest Properties in Amazonia Based on Field and Satellite Observations. *Remote Sensing*, 4(5), 1245-1271. <https://doi.org/10.3390/rs4051245>
- Angiosperm Phylogeny Group. (2009). Una actualización de la clasificación del Angiosperm Phylogeny Group para los órdenes y familias de plantas con flores: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105- 121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996>
- Arango Arango, A. M., & Camargo García, J. C. (2010). Bosques de guadua del Eje Cafetero de Colombia: oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el Programa REDD+. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 77-85. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8445>
- Araujo-Murakami, A., Arroyo-Padilla, L., Killeen, T. J., Saldias-Paz, M., Araujo-Murakami, A., Arroyo-Padilla, L., Killeen, T. J., & Saldias-Paz, M. (2006). Forest dynamics, incorporation and storage of carbon and biomass in Noel Kempff Mercado National Park. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 24-45. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v19n2/v19n2a05.pdf>
- Arreaga Gramajo, W. E. (2002). *Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala* [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4600>
- CBD. (2007). *Cambio Climático y Diversidad Biológica* (1.ª ed.). Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Chambi, B. (2009). *Temática Vegetación en; Meso zonificación Ecológica y Económica de los distritos de Huepetuhe, Madre de Dios, Inambari y Laberinto* (p. 157). Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD), Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (GRRNYGMA).
- 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(2), 240-252. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00757.x>
- Clark, D. ., & Clark, D. . (2000). Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 137(1-3), 185-198. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00327-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00327-8)
- COP 12. (2006). Cumbre del Clima de Nairobi. *Ecologistas en Acción*. <https://www.ecologistasenaccion.org/6232/cop-12-cumbre-del-clima-de-nairobi/>
- Cruzado B, L. A., & Flores N, C. F. (2010). *Protocolo para la determinación de carbono en el suelo y en la biomasa vegetal aérea de los bosques de la concesión para conservación Alto Huayabamba* (p. 55). Asociación Amazónicas por la Amazonía (AMPA).
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools

- and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Encarnacion, F., Zarate, R., & Ahuite, M. (2008). *Propuesta de zonificación ecológica y económica del departamento de Madre de Dios* (p. 74). Convenio entre el Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD), Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/propuesta-zonificacion-ecologica-economica-departamento-madre-dios>
- Freitas Alvarado, L., Otárola Acevedo, E., Del Castillo Torres, D., Linares Bensimón, C., & Martínez Dávila, Percy Malca Salas, G. A. (2006). *Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto - Perú* (1.ª ed.). Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Herrera Arango, M. A. (2022). *Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en el área de influencia de la central hidroeléctrica Porce II* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2975>
- Honorio Coronado, E., & Baker, T. R. (2010). *Manual para el Monitoreo del Ciclo del Carbono en Bosques Amazónicos* (1.ª ed.). Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana.
- IPCC. (2007). *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden, & C. Hanson (eds.); 1.ª ed.). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1,2), 36-44. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162004000100006&script=sci_abstract
- Lujan Cárdenas, W., & Chavez Arcos, Y. (2006). *Capacidad de captura de carbono en un ecosistema de bosque húmedo tropical Pampa Hermosa, Huasahuasi, Tarma, Junín, Perú* (p. 8).
- Maderacre, Greenox, & Maderyja. (2009). *Madre de Dios Amazon REDD Project* (p. 341).
- Malhi, Y., Wood, D., Baker, T. R., Wright, J., Phillips, O. L., Cochrane, T., Meir, P., Chave, J., Almeida, S., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T. J., Laurance, S. G., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Monteagudo, A., Neill, D. A., Vargas, P. N., Pitman, N. C. A., ... Vinceti, B. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12(7), 1107-1138. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01120.x>
- Nascimento, H. E. M., & Laurance, W. F. (2002). Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3), 311-321. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00749-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00749-6)
- Orrego S. Del Valle, J. (2001). *Eficiencia de la cobertura vegetal en la asimilación de CO₂*. (p. 156). Universidad Nacional de Colombia.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., & IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, & F. Wagner (eds.); 1.ª ed.). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Ponce R, E. F. (2009). *Inventario forestal y de materia orgánica como línea base para la estimación de la cantidad de carbono fijado en la Cordillera del Cóndor* (p. 61). Fundación Natura.
- Ríos Trigoso, J. (1982). *Prácticas de dendrología tropical*. Universidad Nacional Agraria La Molina Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA.
- Rügnitz Tito, M., Chacón León, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (11.ª ed.). Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9899-9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- Sarmiento, G., Pinillos, M., & Garay, I. (2005). Biomass variability in tropical american lowland rainforests. *Ecotropicos*, 18(1), 1-20.
- Sierra, C. A., del Valle, J. I., Orrego, S. A., Moreno, F. H., Harmon, M. E., Zapata, M., Colorado, G. J., Herrera, M. A., Lara, W., Restrepo, D. E., Berrouet, L. M., Loaiza, L. M., & Benjumea, J. F. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3), 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.026>

- Winrock. (2006). *Carbon Storage in the Los Amigos Conservation Concession, Madre de Dios, Perú*. Winrock International.
- Woods Hole Research Center. (2012). Carbon storage in tropical vegetation: New map to help developing nations track deforestation, report on emissions. *Journal PHYSorg*. <http://www.physorg.com/news/2012-01-carbon-storage-tropical-vegetation-nations.html>
- Zanne, A., Lopez, G., Coomes, D., ILIC, J., Jansen, S., LEWIS, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M., & Chave, J. (2009). Global Wood Density Database. *Zenodo*, 1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13322440>