



Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas: Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador

Structure and estimation of accumulated carbon in the tree stratum of an evergreen lowland forest; case of the parque ecológico recreacional Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador

Manuel Cabrera Quezada^{1*}, Edison Segura Chávez¹, Federico Sinche Chele¹, Leandro Maldonado Ortiz¹,
Jenifer Tierres Mayorga²

¹ Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica. Sucumbíos. Ecuador.

² Programa de Maestría en Silvicultura, Universidad Estatal Amazónica.

*Correspondencia: mcabrera@uea.edu.ec; esegura@uea.edu.ec; fl.sinchech@uea.edu.ec;
lp.maldonado@uea.edu.ec; jc.tierresm@uea.edu.ec

Rec.: 01.05.2019. Acept.: 02.11.2019.

Publicado el 30 de diciembre de 2019

Resumen

El presente estudio se enfocó en determinar la estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque del Parque Ecológico y Recreacional Lago Agrio (PERLA) situado en la Provincia de Sucumbíos Cantón Lago Agrio Parroquia Nueva Loja. Para lo cual se establecieron 10 transectos de 500m² se tomó datos de todos los individuos ≥ 10 cm de $D_{1,30m}$. Se determinó características estructurales del bosque como índice de valor de importancia (IVI), índice de diversidad de alfa, biomasa almacenada mediante modelos alométricos para bosques tropicales. Se registraron un aproximado de 672 individuos ha⁻¹ agrupados en 25 familias, 35 géneros y 42 especies. Las especies con mayor IVI fueron: *Guarea kunthiana*, *Inga* spp, *Nectandra guararipo*, *Pourouma minor*, *Chrysophyllum argenteum*, el estrato superior está representado por *Pourouma minor* *Vochysia ferruginea* y *Dussia lehmannii*. La diversidad florística de estrato arbóreo es de 1392 bits, debido principalmente a la baja uniformidad en la distribución de los individuos en cada especie. La biomasa aérea arbórea se correlacionó fuertemente con el DAP. Se pudo determinar que en la actualidad el bosque acumula 271.5 Mg ha⁻¹ de biomasa y 135.8 Mg ha⁻¹ de carbono, mostrando una relación de dependencia ($p < 0.001 - R^2 \geq 0.92$) entre DAP y biomasa.

Palabras clave: Estructura forestal, carbono almacenado, Amazonía ecuatoriana.

Abstract

The present study focused on determining forest structure and carbon aboveground storage of a forest from the Northern Ecuadorian Amazon. The study site was located at the “Parque Ecologico y Recreacional Lago Agrio (PERLA)” in Lago Agrio, Sucumbíos in Ecuador. We established 10 study transects at 500 m² to measure trees from the site with dbh (mean diameter at breast height) ≥ 10 cm ($D_{1,30m}$). On the trees surveyed, we measured the importance index value (IVI), alpha diversity index, and tree aboveground biomass using allometric models reported for tropical forests. We reported 672 trees ha⁻¹ taxonomically ranked within 25 families, 35 genera and 42 species. The results showed that species with the higher IVI index values included *Guarea kunthiana*, *Inga* spp, *Nectandra guararipo*, *Pourouma minor*, *Chrysophyllum argenteum*; while, for the upper arboreal composition the species included *Pourouma minor* *Vochysia ferruginea* y *Dussia lehmannii*. Furthermore, the alpha diversity index for the arboreal composition was 1392 bits, we thought that this was due to the lack of uniformity in the species distribution within the site. The results also showed a strong correlation between tree biomass and DBH values ($p < 0.001; R^2 \geq 0.92$). Finally, our results showed that the forest at the PERLA site had 271.5 Mg ha⁻¹ aboveground biomass and 135.8 Mg ha⁻¹ carbon storage.

Keywords: Forest structure, carbon stored, Ecuadorian Amazon.

Introducción

Los bosques constituyen ecosistemas únicos debido a su diversidad estructura y atributos ecológicos. Sin embargo, debido a su importancia cuantitativa y cualitativa, cualquier tipo de perturbaciones genera daños ambientales a los componentes relacionados afectando a los ciclos biogeoquímicos entre ellos al de carbono (Wang *et al.*, 2014), el cual se lleva a cabo mediante procesos fotosintéticos de los árboles y la fijación del dióxido de carbono (CO₂) especialmente en su biomasa y luego transferido al mantillo en descomposición y por ende al suelo, lo cual viene a constituir reservorios de carbono. (Vásquez & Arellano, 2012).

Los bosques tropicales tienen una alta producción de biomasa y representan una fracción significativa de las existencias totales de carbono y nutrientes (Brown *et al.*, 1995; Phillips *et al.*, 1998; Pan *et al.*, 2011). Paralelo a esto, estimar las reservas de biomasa de los bosques es una herramienta útil para valorar la cantidad de carbono que se almacena en las estructuras vivas en un momento dado, razón contundente para realizar estimaciones de biomasa en bosques tropicales.

En el Ecuador el tema de cambio climático ha sido abordado y concertado con distintos sectores dentro de la política nacional donde la caracterización y evaluación de los ecosistemas boscosos es una prioridad, por lo que la caracterización y valoración de sus servicios ecosistémicos como el carbono almacenado es un tema relevante (MAE, 2013)

Sin embargo, a pesar de que en la actualidad existen muchos inventarios ecológicos cuantitativos la complejidad de la estructura y extensión del territorio de la Amazonía norte del Ecuador amerita mayores estudios como insumo para emprender en actividades de valoración de bienes y servicios, así como evaluar las reservas forestales de carbono y emisiones a la atmósfera por actividades de deforestación, degradación o cambio de uso, así como las

implicaciones que pueda tener. (Malhi & Grace, 2000)

Dada la relevancia de los ecosistemas boscosos como reguladores del cambio climático, además de la importancia para la comunidad local, características particulares del bosque, escasez de estimaciones de biomasa en el área y la función que cumple, se realizó el presente estudio donde se presentan datos descriptivos de la estructura, composición de las especies más importantes ecológicamente, estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo y relaciones de dependencia entre DAP (variable independiente) y biomasa (variable dependiente)

Materiales y métodos

El Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio (PERLA) está situado en la ciudad de Nueva Loja, Cantón Lago Agrio, en la provincia de Sucumbíos, Región Amazónica del Ecuador; tiene un total de 110 hectáreas de las que 90 son de bosque nativo (GADMLA, 2015). Según el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (MAE, 2013), el PERLA está dentro del ecosistema bosque siempreverde de tierras bajas del Aguarico-Putumayo-Caquetá (BsTa01); aquí la temperatura oscila entre 29.4 °C a 28°C, con una precipitación promedio mensual de 435 mm. (INAMHI, 2017). Geográficamente se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas:

Registro de datos

Para determinar las características estructurales de la comunidad arbórea y estimación del carbono acumulado. Se establecieron unidades de muestreo cuantitativo (10) en bosque nativo mediante transectos de (10 m. x 50 m.), acorde a la metodología propuesta Lozano *et al.*, (2013). Cada una de las unidades de muestreo separadas una de otra, en intervalos de 100 m. lineales, dentro cada unidad se estableció inicialmente

Cuadro 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Id	Latitud	Longitud	Altitud
1	12295 N	287465E	290 –m s.n.m.
2	13434 N	288143 E	
3	13553N	284898 E	
4	11724N	285282E	

el eje central y se tomaron cinco metros a cada lado para ubicar y registrar a los individuos con $DAP_{1,3m} \geq 10$ cm., se contabilizó y se identificó las especies en campo con ayuda de botánicos de la zona y especialistas forestales del Ministerio del Ambiente, se colectaron por duplicado ejemplares botánicos que no pudieron ser reconocidas en el sitio, los cuales fueron procesados y herborizados (Lot & Chiang 1986), se identificaron las muestras con el apoyo de literatura especializada, base de datos de páginas web especializadas (Tropico, 2019).

Análisis de la información – estructura

Con objeto de describir la estructura vertical del bosque se elaboraron histogramas de frecuencia por categoría de altura. La información del DAP de los individuos censados se organizó por categoría diamétrica de 10 cm de amplitud. Se calculó el volumen de la masa forestal de todos los individuos censados, usando la fórmula planteada por (Aguirre, 2004)

$$V = G * H * f$$

Dónde: $V =$ volumen (m^3);
 $G =$ área basal (m^2);
 $H =$ altura total (m) y
 $f =$ factor de forma (0.7)

El área basal (AB) de los árboles se obtuvo con la fórmula siguiente

$$AB = \frac{\pi}{4} DAP^2$$

La estructura fue descrita mediante el índice de valor de importancia (IVI) desarrollado principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie. El valor de este índice se lo obtuvo mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad relativa y la dominancia relativa. Cottam & Curtis (1956) En base a las siguientes fórmulas:

Con el propósito de conocer que tan homogéneo o heterogéneo es el bosque, se calculó la diversidad alfa del bosque mediante el Índice de Shannon-Wiener que expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra (Magurran, 1988; Krebs, 1999). Se lo calculó de acuerdo a la siguiente fórmula

$$\text{Densidad (D)} = \frac{\text{Número de Individuos por especie}}{\text{Total del área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa (DOR) \%} = \frac{\text{Área basal de la especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia Relativa (Fr)\%} = \frac{\text{Frecuencia absoluta de la especie}}{\text{Sumatoria total de las frecuencias absolutas}} \times 100$$

$$\text{Índice de Valor de Importancia (IVI)} = \frac{(DR + 2FR + Fr)}{3} \times 100$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Donde:

S = Número de especies (riqueza de especies)

Pi = Proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie $i = ni/N$)

ni = Número de individuos de la especie

N = número de todos los individuos de todas las especies

Carbono almacenado en la biomasa de arborea

La estimación de la biomasa del estrato arbóreo se basó en métodos no destructivos. Se utilizó la fórmula alométrica propuesta por (Chave *et al.*, 2005) para la estimación de la biomasa aérea en árboles evaluados. La fórmula aplicada fue:

$$Y = \rho \times \exp[1.499 + 2.148 \ln(D_{1,3m}) + 0.207 (\ln(D_{1,3m}))^2 - 0.0281(D_{1,3m})^3]$$

Donde:

Y= Biomasa de carbono

$\rho =$ Gravedad específica de madera de la especie en g/cm^3

$D_{1,3m} =$ Diámetro a la altura del pecho ≥ 10 cm

La gravedad específica de la madera fue obtenida de la lista de densidades de maderas de la FAO (Zanne *et al.*, 2009). Para convertir los datos de la biomasa a carbono se multiplicó por el factor de conversión 0,5 propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Penman, 2003). Se determinó y representó gráficamente la especie botánica que almacenan la mayor cantidad de biomasa en el bosque, Con esta información se generaron modelos alométricos con base a las relaciones entre DAP (variable independiente) y biomasa (variable dependiente) para establecer relaciones de dependencia.

Resultados y discusión

Estructura del bosque

Se contabilizaron 672 individuos/ha, que totalizan un área basal de 39.38 m^2/ha y un volumen de 255.3 $m^3 ha^{-1}$ Los árboles se agruparon en 11 clases diamétricas, las tres primeras que van desde (≥ 10 cm – 35.3 cm) son más abundantes (84.5 %). La curva de tendencia de la distribución diamétrica es en “J” invertida (Figura 1) es decir está formada por individuos jóvenes y delgados, existen escasos individuos con diámetros > 60 cm que

se encuentran dispersos, evidenciando que la comunidad arbórea estudiada es auto regenerativa y en proceso de desarrollo con tendencia al crecimiento y productividad de biomasa confirmando la abundancia de latizales bajos (tallos leñosos < 10 cm DAP_{1,30m}) lo cual implica actualmente un alto número de individuos con diámetros pequeños que van paulatinamente reclutándose en las clases diamétricas mayores y que garantizan el futuro del bosque y en consecuencia la captura de carbono (Arruda *et al.*, 2011; Hernández-Stefanoni, *et al.*, 2011).

De las especies que conforman la vegetación, las más abundantes están representadas por *Guarea kunthiana*, *Nectandra guararipo*, *Inga* spp., *Miconia* sp., *Chrysophyllum argenteum* que representan el 46,4 % del número total de individuos. *Licania glauca*, *Caryodendron orinocensis*, *Chrysophyllum argenteum* son las especies menos abundantes cada una con poco más del 0.3% del total de individuos.

Las especies ecológicamente más importantes (IVI) (Cuadro 2), son: *Guarea kunthiana* (12.02%), *Inga* sp. (8.48%), *Nectandra guararipo* (8.07%) debido al número de individuos presentes en el bosque, a su patrón de distribución espacial y área ocupada. Las especies ecológicamente menos importantes están representadas por *Cabralea canjerana* (0.38%), *Caryodendron orinocensis* (0.47%), *Licania glauca* (0.48%), y *Croton lechleri* (0.51%) que presentan una tendencia notable de baja abundancia dominancia y frecuencias relativas.

En el Cuadro 2 se presenta los resultados de los parámetros ecológicos e índice de valor importancia (IVI) de las 10 especies más importantes del área de estudio.

Diversidad alfa del bosque

La Cuadro 3 indica los datos de riqueza y abundancia en el ecosistema evaluado. El Índice de Diversidad de Shannon-Wiener se observa que la diversidad florística es de 1392 bits que significa una diversidad baja según Valle, (2001). Debido principalmente a la baja uniformidad en la distribución de los individuos en cada especie.

Biomasa y carbono acumulado en el estrato arbóreo

De acuerdo a los datos analizados en el estrato arbóreo del PERLA con D_{1,30m} ≥ 10cm, existen almacenados 271.5 Mg ha⁻¹ de biomasa. Estos valores son comunes para Bosques amazónicos (Baker *et al.*, 2004; Unger, Homeier, & Leuschner, 2012) De acuerdo al análisis de (Keeling & Phillips, 2007) en ecosistemas boscosos estos valores no suelen ser mayores a 350 Mg ha⁻¹. Sin embargo, estos datos obtenidos en el presente estudio son conservadores pues se analizó la capacidad de

almacenamiento del estrato arbóreo con D_{1,30m} ≥ 10cm., estimando un potencial superior de almacenamiento de biomasa fijada de en las raíces, necromasa y suelo.

Otros estudios en contextos tropicales en el noroccidente del Ecuador López *et al.*, (2002) reporta un valor de 223 Mg ha⁻¹. En estudios realizados en Costa Rica los valores máximos son de 207 Mg ha⁻¹ (Jadan *et al.*, 2014), la variación en los resultados se debe posiblemente a los diferentes métodos de evaluación que se aplican para levantar la información y a las características biofísicas intrínsecas en las áreas de estudio, que son determinantes en las existencias de biomasa aérea y de C almacenado.

Biomasa por especie

Las especies *Guarea kunthiana*, *Inga* sp., *Pourouma minor*, *Nectandra guararipo*, son las que contienen mayores cantidades de biomasa, debido a su dominancia, y la abundancia en el ecosistema. Sin embargo, la abundancia por sí solo puede no ser suficiente para predecir la contribución a la biomasa forestal. Especies menos abundantes pueden contribuir con mayores cantidades de biomasa a través del área basal y densidad (Torres *et al.*, 2019). Adicional a esto, la densidad de la especie (kg/m³) es un rasgo funcional que determina el mayor o menor contenido de carbono Casanoves *et al.*, (2011). La Figura 2 representa la biomasa fijada en Mg ha⁻¹ por especie en el PERLA.

Relación Diámetro-Biomasa

En la Figura 3. Se presenta la relación de dependencia entre DAP y biomasa. Se puede evidenciar la relación de dependencia ($p < 0.001 - R^2 \geq 0.92$) entre DAP y biomasa, mostrado a través de regresiones lineales polinómica.

Conclusiones

En el estrato arbóreo del ecosistema del PERLA las especies ecológicamente más importantes están representadas por *Guarea kunthiana*, *Inga* sp., *Nectandra guararipo*. La estructura vertical presenta variación, con individuos que alcanzan alturas de 10 a 30 m; diferenciando tres estratos, las especies *Nectandra guararipo*, *Pourouma minor*, *Croton lechleri*, dominan el dosel superior. En el estrato co-dominado y suprimido sobresalen. *Sloania grandiflora*, *Guarea kunthiana*. Los árboles se agruparon en 11 clases diamétricas, las tres primeras que van desde (≥10cm – 35.3 cm) D_{1,30m}. Son más abundantes (84.5 %) mostrando un alto número de individuos con diámetros pequeños que van paulatinamente reclutándose en las clases diamétricas mayores y que garantizan el futuro del bosque y por ende la cantidad de biomasa. Actualmente el bosque acumula 271.5 Mg ha⁻¹ de biomasa y 135,8 Mg ha⁻¹ de

carbono fijado, en 672 individuos ha⁻¹ de 42 especies incluidas en 35 géneros y 25 familias, mostrando una relación de dependencia ($p < 0.001 - R^2 \geq 0.92$) entre DAP y biomasa.

Ecuador. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/263684944_Guia_para_monitorear_la_Biomasa_y_dinamica_de_carbono_en_ecosistemas_forestales_en_el_Ecuador

Bibliografía

Aguirre, N. (2004). *Guía para monitorear la Biomasa y dinámica de carbono en ecosistemas forestales en el*

Arruda, D. M., Brandão, D. O., Costa, F. V., Tolentino, G. S., Brasil, R. D., D'Ângelo Neto, S., & Nunes, Y. R. F. (2011). Structural aspects and floristic similarity among tropical dry forest fragments with different management

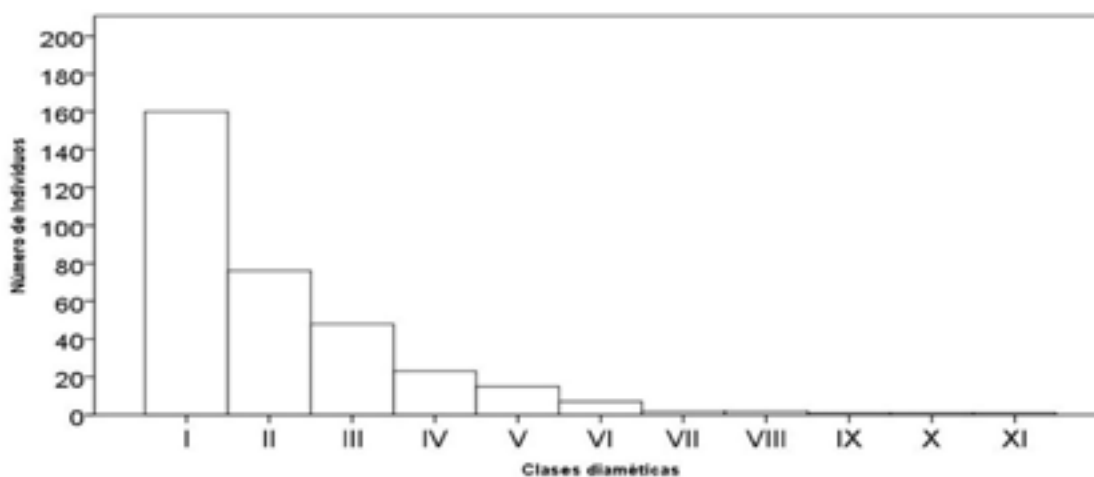


Figura 1. Distribución diamétrica del área de estudio. PERLA, Lago Agrio, 2019

Cuadro 2. Parámetros ecológicos de las 10 especies más importantes de estrato arbóreo

Especie	AbR (%)	DmR (%)	Fr %	IVI %
<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	15.17	14.33	6.54	12.02
<i>Inga</i> sp.	11.01	8.53	5.88	8.48
<i>Nectandra guararipo</i> Rohwer	11.60	6.71	5.88	8.07
<i>Pourouma minor</i> Benoist	3.2	7.03	3.92	4.74
<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.	4.17	2.68	4.58	3.81
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	3.27	3.52	3.92	3.57
<i>Virola duckei</i> A.C. Sm	3.27	4.51	2.61	3.47
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	2.98	3.32	3.27	3.19
<i>Miconia</i> sp.	4.46	2.18	2.61	3.08
<i>Bactris</i> spp.	2.68	1.68	4.58	2.98

AbR = Abundancia relativa; DmR = Dominancia Relativa; Fr= Frecuencia Relativa; IVI= Índice de Valor de Importancia

Cuadro 3. Índice de diversidad de Shannon-Weaver. PERLA, Lago Agrio, 2019

Especie	Ind/sp.	pi	log pi	pi*logpi
<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	51	0.15	-0.82	-0.124
<i>Inga</i> spp.	37	0.11	-0.96	-0.106
<i>Nectandra guararipo</i> Rohwer	39	0.12	-0.94	-0.109
<i>Pourouma minor</i> Benoist	11	0.03	-1.48	-0.049
<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.	14	0.04	-1.38	-0.058
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	11	0.03	-1.48	-0.049
<i>Virola duckei</i> A.C. Sm	11	0.03	-1.48	-0.049
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	10	0.03	-1.53	-0.045
<i>Miconia</i> sp.	15	0.04	-1.35	-0.060
<i>Bactris</i> spp	9	0.03	-1.57	-0.042
<i>Sloania grandiflora</i> J.E. Smith	11	0.03	-1.48	-0.049
<i>Castilla tunu</i> Hemsl.	7	0.02	-1.68	-0.035
<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A. DC.	7	0.02	-1.68	-0.035
<i>Ocotea</i> spp.	9	0.03	-1.57	-0.042
<i>Castilla elástica</i> Sessé ex Cerv.	9	0.03	-1.57	-0.042
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce	5	0.01	-1.83	-0.027
<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	5	0.01	-1.83	-0.027
<i>Acacia glomerosa</i> Benth.	6	0.02	-1.75	-0.031
<i>Osteophloeum platyspermum</i> Warb.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Nectandra membranacea</i> Griseb.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Pouteria multiflora</i> Pierre	6	0.02	-1.75	-0.031
<i>Erythrina poeppigiana</i> O.F. Cook	5	0.01	-1.83	-0.027
<i>Dussia lehmannii</i> Harms	4	0.01	-1.92	-0.023
<i>Grias</i> sp.	6	0.02	-1.75	-0.031
<i>Spondias mombin</i> L.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Ficus</i> spp.	1	0.00	-2.53	-0.008
<i>Iriarteia deltoidea</i> Ruiz & Pav.	4	0.01	-1.92	-0.023
<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	4	0.01	-1.92	-0.023
<i>Calyptanthes</i> sp.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Grias peruviana</i> Miers	4	0.01	-1.92	-0.023
<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	3	0.01	-2.05	-0.018
<i>Brosimum utile</i> Kunth	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Simira cordifolia</i> Hook. F.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Brosimum</i> sp.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Faramea</i> spp.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Otoba</i> spp.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Croton lechleri</i> Müll.	2	0.01	-2.23	-0.013
<i>Licania glauca</i> Cuatrec.	1	0.00	-2.53	-0.008
<i>Caryodendron orinocense</i> H. Karst.	1	0.00	-2.53	-0.008
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	1	0.00	-2.53	-0.008
TOTAL		D= -∑ Pi lnPi=		1.392

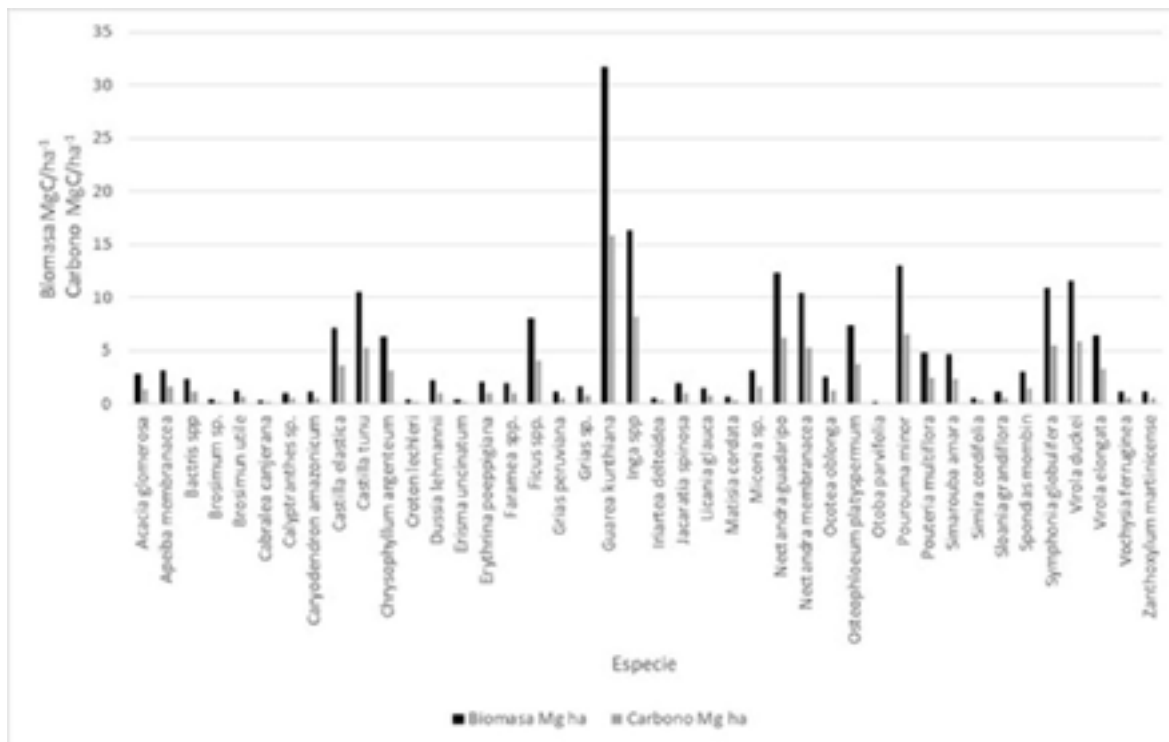


Figura 2. Valores de biomasa Mg C ha⁻¹ por especies del estrato arbóreo

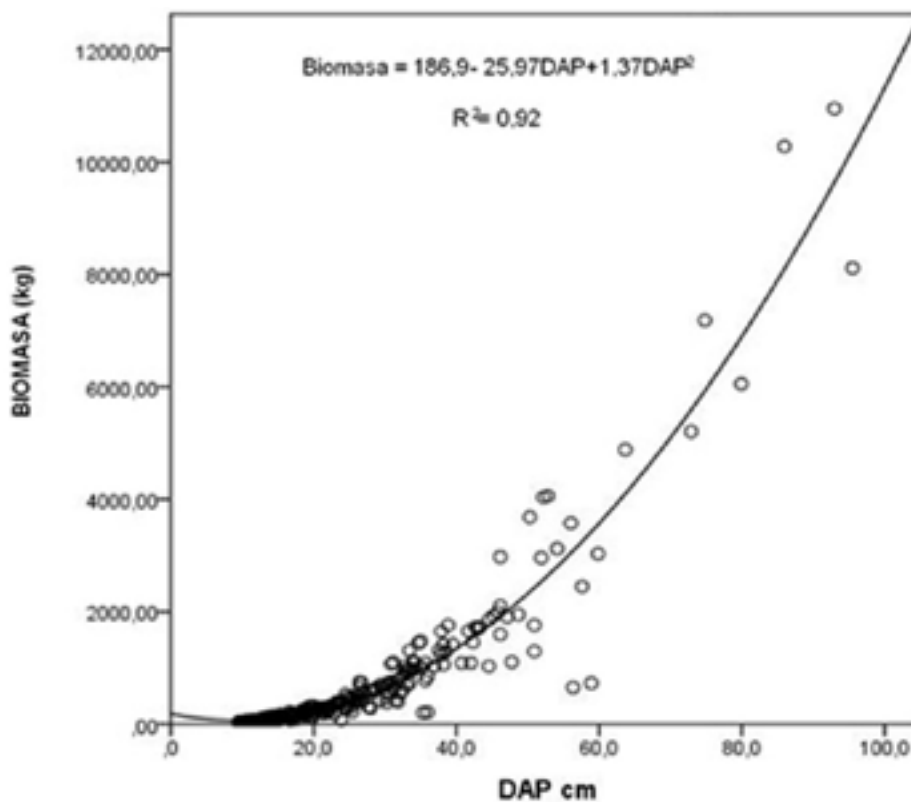


Figura 3. Modelo alométrico para determinar la cantidad de biomasa PERLA, Lago Agrio, 2019

- histories in northern Minas Gerais, Brazil. *Revista Árvore*, 35(1), 131-142. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100016>
- Baker, T. R., Phillips, O. L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., ... Vásquez Martínez, R. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10(5), 545-562. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00751.x>
- Brown IF, Martinelli LA, Thomas WW, Moreira MZ, Cid Ferreira CA, Victoria RA. (1995). Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75(1-3), 175-189. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03512-U](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03512-U)
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaornton.catie.ac.cr:80/handle/11554/8190>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Cottam, G., & Curtis, J. T. (1956). The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 37(3), 451-460. <https://doi.org/10.2307/1930167>
- GADMLA. (2015). Parque Perla. Recuperado 30 de septiembre de 2019, de <http://www.turismo.lagoagrio.gob.ec/turismo-lago-agrio/parques/97-parque-perla>
- Hernández-Stefanoni, J. L., Dupuy, J. M., Tun-Dzul, F., & May-Pat, F. (2011). *Influence of landscape structure and stand age on species density and biomass of a tropical dry forest across spatial scales*. Recuperado de <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/2314911>
- INAMHI. (2017). Biblioteca – Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología. Recuperado 30 de septiembre de 2019, de Datos históricos, anuarios meteorológicos. website: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- Jadan, O., Loaiza Cartuche, C. A., & Cuenca Alvarado, M. E. (2014). *Método de intervención de baja intensidad para la generación de modelos alométricos a nivel de grupos de especies y tipo de bosque para el estrato bosque siempre verde de tierras bajas de la amazonía*. Recuperado de <http://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/12119>
- Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). The global relationship between forest productivity and biomass. Recuperado 29 de septiembre de 2019, de [/paper/The-global-relationship-between-forest-productivity-Keeling-Phillips/9bdddaf51c7e81f5f9448237bf61477b8526ced](http://paper/The-global-relationship-between-forest-productivity-Keeling-Phillips/9bdddaf51c7e81f5f9448237bf61477b8526ced)
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. Benjamin/Cummings.
- López, M., de Konning, F., Paredes, E., & Benítez, P. (2002). *Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente de Ecuador: investigación de bosques tropicales*. GTZ. Lot, A., & Chiang-Cabrera, F. (1986). *Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. Consejo Nacional de la Flora de México.
- Lozano, P., Torres, B. & Rodríguez, X. (2013). *Investigación de ecología vegetal en Ecuador: Muestreo y herramientas geográficas*. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador. 158 pp.
- MAE. (2013). Sistema de clasificación de ecosistemas de Ecuador continental.pdf | Ecosistema | Biodiversidad. Recuperado 30 de septiembre de 2019, de <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Croom Helm.
- Malhi, Y., & Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(8), 332-337. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)01906-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01906-6)
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333(6045), 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Penman, J. (Ed.). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry /The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Jim Penman. Hayama, Kanagawa.
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Núñez, P. V., Vásquez, R. M., ... Grace, J. (1998). Changes in the Carbon Balance of Tropical Forests: Evidence from Long-Term Plots. *Science*, 282(5388), 439-442. <https://doi.org/10.1126/science.282.5388.439>
- Torres, B., Vasseur, L., López, R., Lozano, P., García, Y., Arteaga, Y., García, A. (2019). Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>
- Tropico. (2019). Tropicos - Inicio. Recuperado 29 de septiembre de 2019, de <https://www.tropicos.org/>
- Unger, M., Homeier, J., & Leuschner, C. (2012). Effects of soil chemistry on tropical forest biomass and productivity at different elevations in the equatorial Andes. *Oecologia*, 170(1), 263-274. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2295-y>
- Valle, C. (2001). *Técnicas de investigación en ecología. Material de enseñanza*. Quito: Colegio de Ciencias Ambientales. Universidad San Francisco de Quito.
- Vásquez, A., & Arellano, H. (2012). Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y

- Noroccidente de Córdoba. *arXiv.org*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1208.0248v1>
- Wang, X., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Myneni, R. B., Cox, P., Chen, A. (2014). A two-fold increase of carbon cycle sensitivity to tropical temperature variations. *Nature*, 506, 212.
- Zanne, A. E, Lopez G, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, J. Chave. (2009). Global Wood Density Database (dryad).xls - [XLS Document]. Recuperado 30 de septiembre de 2019, de [fdocuments.us website: https://fdocuments.us/document/global-wood-density-database-dryadxls.html](https://fdocuments.us/document/global-wood-density-database-dryadxls.html)