

DETERMINACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *Guadua sarcocarpa* Londoño & P. M. Peterson DE LA COMUNIDAD NATIVA BUFEO POZO, UCAYALI, PERU

Diego GARCIA SORIA¹, Carlos ABANTO RODRIGUEZ¹, Dennis DEL CASTILLO¹

1 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP. Programa en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). Estación Experimental Ucayali Dale E Bandy. Carretera Federico Basadre km 12.400, Pucallpa, Perú. E-mail: dgarcia@iiap.org.pe.

RESUMEN

Las ecuaciones alométricas estiman el peso seco de una planta (biomasa) partiendo de características dasométricas fáciles de medir en campo. El objetivo de este estudio fue generar una ecuación alométrica para estimar la biomasa de *Guadua sarcocarpa*, una especie abundante de los bosques de la Comunidad Nativa Bufeo Pozo, en el departamento de Ucayali. Seleccionamos 28 individuos de *Guadua sarcocarpa*, los cuales medimos y cortamos para obtener su peso seco. El diámetro (DC) y el largo (LC) del culmo en sus cinco primeras secciones fueron medidos en campo y utilizados como variables independientes en la predicción de la biomasa. Los resultados muestran que el 68% de la biomasa pertenecía al tallo, el 16.4% a las ramas y 15.6% a las hojas. Para estimar la biomasa se generaron diversas ecuaciones siendo la que mejor se ajusta aquella que utiliza como variable predictora el diámetro del primer culmo (DC₁). La ecuación propuesta es la siguiente: Biomasa (kg) = -3.614311904 + 2.558090732 x DC₁ (r² = 0.89; p < 0.05).

PALABRAS CLAVE: Amazonía peruana, bambú, carbono, paca.

DETERMINATION OF THE ALOMETRIC EQUATION FOR THE ESTIMATION OF BIOMASS OF *Guadua sarcocarpa* Londoño & P. M. Peterson IN THE NATIVE COMMUNITY OF BUFEO POZO, UCAYALI, PERU

ABSTRACT

Allometric equations estimate the dry weight of a plant (biomass) based on dasometric characteristics easy to measure in the field. Our aim was to generate an allometric equation to estimate biomass of *Guadua sarcocarpa*, a key element of the forests of the native community Bufeo Pozo in the department of Ucayali. We selected 28 individuals of *Guadua sarcocarpa*, which were measured and harvested to determine their dry mass. Culm diameter (CD) and culm length (CL) of the first five sections were measured in the field and used as independent variables in the prediction of biomass. Our results showed that the 68% of the biomass was allocated in the stems, 16.4% in branches, and 15.6% in leaves. Different equations were generated to estimate the biomass. It was found that the independent variable that provides the closest fit to estimate biomass is the diameter of the first culm (CD₁). This proposed equation was as followed: Biomass (kg) = -3.614311904 + 2.558090732 x CD₁ (r² = 0.89; p < 0.05).

KEYWORDS: Peruvian Amazon, bamboo, carbon, paca.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana posee una gran diversidad de especies vegetales, por lo que el cálculo preciso de los stocks de carbono depende en gran medida del uso de ecuaciones alométricas ajustadas a las mismas condiciones de sitio, especie y diámetro de cada individuo presente en cada parcela de medición (Rügnitz *et al.*, 2009). Estas condiciones particulares de cada sitio y especie, introducen la necesidad de construir modelos alométricos para los mismos y profundizar aún más en la investigación. El departamento de Ucayali cuenta con 3'209,328.09 millones de hectáreas de bosques mixtos con presencia de *Guadua sarcocarpa*, denominados localmente como “pacales”. Estos representan aproximadamente el 31.34% del área total del departamento, siendo el ecosistema más abundante (GOREU, 2008). La *Guadua sarcocarpa* domina los bosques en una amplia zona del suroeste del Amazonas (Griscom & Ashton, 2006), tiene un ciclo de vida de 28 a 32 años (De Carvalho *et al.*, 2013) y es una especie predominante en la parte sur oriental del departamento de Ucayali. Presenta una abundancia absoluta de 1,660 individuos por hectárea y una abundancia relativa de 77.53%, teniendo un aporte de 66.47 t C ha⁻¹ (García & Del Castillo, 2013).

Actualmente no hay disponibilidad de estudios para el cálculo preciso de la biomasa de la *Guadua*

sarcocarpa en la Amazonia peruana, así como una ecuación alométrica que ayude a determinar la biomasa ajustada a las condiciones propias de esta zona. Poder disponer de estas herramientas contribuiría al cálculo más preciso de los stocks de carbono en los ecosistemas amazónicos de guaduales, lo que coadyuvaría a la implementación de proyectos de reducción de emisiones y captura de carbono.

El presente estudio tuvo como objetivo generar una ecuación alométrica para estimar la biomasa aérea total a partir de variables independientes de fácil medición, tal como el diámetro y longitud de los cinco primeros culmos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La selección de individuos y colecta de muestras se realizó en los pacales de la Comunidad Nativa Bufeo Pozo, durante los meses de octubre y noviembre del 2013. La comunidad está ubicada en la parte sur del departamento de Ucayali (Figura 1), en las coordenadas 10°54'05" sur y 73°05'36" oeste, con altitudes de 280 a 298 m.s.n.m. La temperatura media anual es de 26.0 °C. Las precipitaciones rondan los 1,739 mm, mostrando una topografía de colinas bajas.

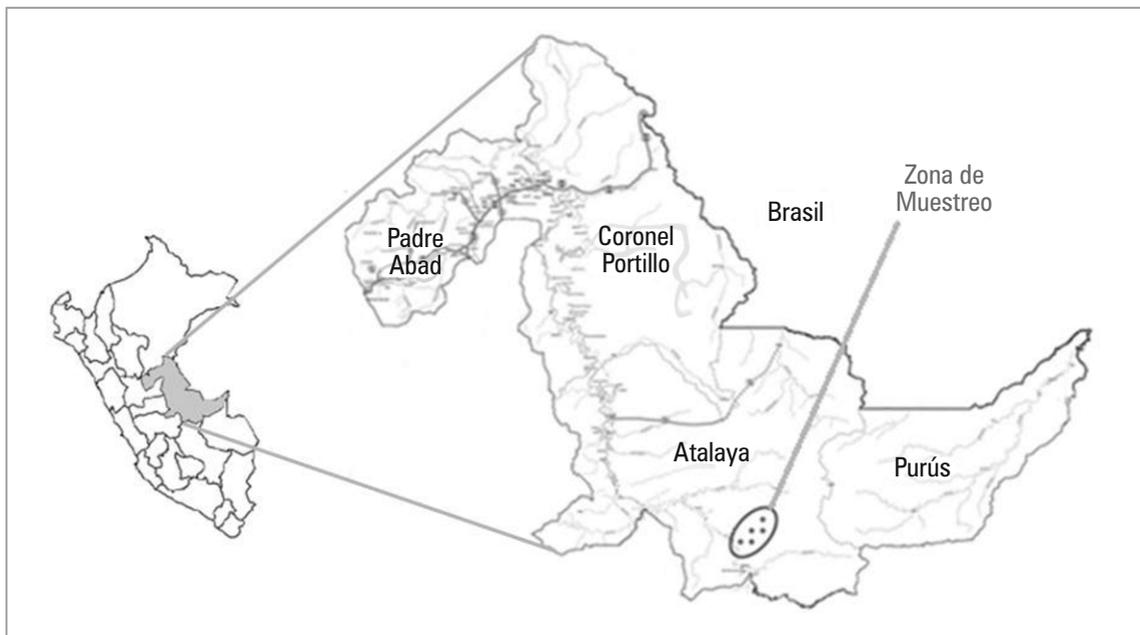


Figura 1. Ubicación de los puntos de colecta de individuos en la CC. NN. Bufeo Pozo.

Muestreo y selección de individuos

Para la selección de los individuos se siguieron los siguientes pasos: 1) Instalación de 20 parcelas de 250 m² agrupadas en 4 grupos, con una separación de 500 m entre cada uno; 2) Medición y codificación de todos los individuos dentro de cada parcela; 3) Estratificación de todos los individuos por clases diamétricas: 0 a 1.9 cm, 2 a 3.9 cm, 4 a 5.9 y ≥ 6 cm; 4) Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la metodología de Picard *et al.* (2012), la cual se basa en la varianza de los caracteres morfológicos de la especie, es decir, cuanto menos variable sea el material, la muestra estará compuesta de menos individuos. Después de los cálculos realizados se determinó que el tamaño de muestra es de 28 individuos, los cuales se seleccionaron de modo aleatorio, siete individuos por cada clase diamétrica. Las guaduas seleccionadas no presentaban deformidades o enfermedades. Así mismo, fueron seleccionados los individuos que presentaban culmos o tallos, ramas y hojas.

Selección de variables a medir

Luego de haber seleccionado los 28 individuos, antes de derribarlos, se midieron las siguientes variables independientes: diámetro de los primeros cinco culmos (DC₁, DC₂, DC₃, DC₄ y DC₅) y longitud de los primeros cinco culmos (LC₁, LC₂, LC₃, LC₄ y LC₅), partiendo desde el suelo hacia el ápice. (Figura 2).

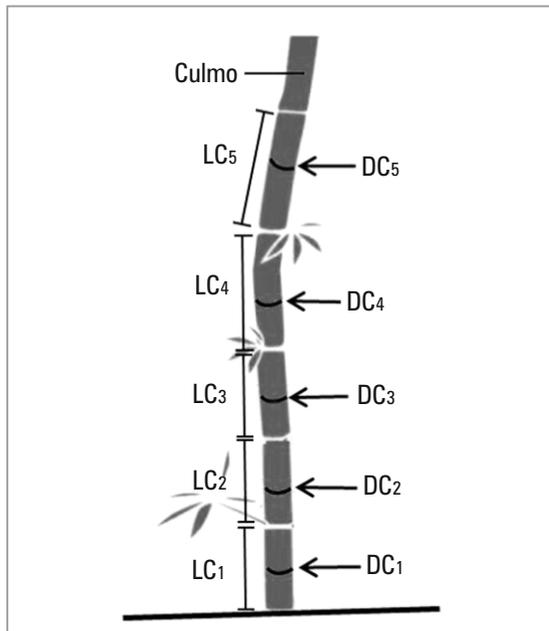


Figura 2. Diseño de toma de variables independientes o predictivas en la *Guadua sarcocarpa*, DC = Diámetro de Culmo y LC = Largo de Culmo.

Corte de los individuos y extracción de muestras

El corte de los 28 individuos se realizó desde la base de la Guadua, es decir, al nivel del suelo y, posteriormente, se dividió cada individuo en culmos (tallo), ramas y hojas. Los tallos fueron seccionados en partes de 1.5 m de largo para facilitar su pesado en fresco. Las ramas y hojas se colectaron en su totalidad, pesándolas en fresco por separado. El pesado se realizó usando un trípode fabricado en campo y una balanza colgante electrónica con una precisión de +/- 5 g. Para la obtención de la materia seca se procedió a homogenizar el material procedente de los culmos (tallo), ramas y hojas, colectando aproximadamente 1 kg de cada parte. Posteriormente las muestras fueron codificadas y colectadas en bolsas herméticas para su traslado al laboratorio.

Procesamiento de muestras en el laboratorio

El pesado y secado de las muestras se realizó en el Bioterio de la Estación Experimental Dale E. Bandy del IIAP Ucayali. Se procedió al pesado en fresco y al secado de las muestras a una temperatura de 65 °C, hasta obtener un peso constante, para lo que se utilizó un horno eléctrico a convección forzada. Una vez obtenidos los pesos secos de cada componente (culmos (tallo), ramas y hojas) se determinó la biomasa total de cada individuo, multiplicando el peso fresco por el porcentaje de materia seca. La suma de la biomasa total de los culmos (tallo), ramas y hojas, fue la biomasa aérea total de cada individuo (Acosta *et al.*, 2002).

Exploración gráfica y análisis de los datos

Para la exploración gráfica de los datos se procedió, en primer lugar, a generar una hoja de Excel en donde se ordenaron los datos. Se preparó una matriz con las siguientes variables independientes: Diámetro (cm) de Culmo (DC) y Longitud (cm) de Culmo (LC), así como su biomasa (kg) húmeda (BH) por componentes y biomasa (kg) húmeda total (BHT). Del mismo modo se consideró la biomasa (kg) seca (BS) por componente y la biomasa (kg) seca total (BST). Una vez ordenados los datos se procedió a generar gráficas considerando en el eje X el DC de los 5 primeros culmos y en el eje Y la BST de cada individuo. Para obtener las ecuaciones alométricas se realizaron análisis de regresión lineal simple, utilizando el software Infostat versión 2015.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetros y pesos secos totales por componentes

De los 28 individuos evaluados se obtuvo un DC desde 0.70 a 7.83 cm, considerando el diámetro del primer culmo, el más cercano al suelo. Así mismo, el LC osciló desde 4.40 a 49.90 cm (Figura 2). La BHT obtenida fue de 0.150 a 41.264 kg y la BST osciló entre 0.103 a 20.240 kg. El componente que más aporta en la BST son los culmos (tallo), con un total de 121.67 kg, seguido de la ramas con 29.31 kg y de las hojas con 27.92 kg.

Determinación de la ecuación

Matemáticamente se asume que existe relación lineal en los 28 individuos analizados, dado que la estructura de los culmos del tallo de la *Guadua sarcocarpa* corresponde a más de dos tercios de la biomasa total, semejándose a un tubo. Cada culmo no es un disco sólido, sino una capsula con espacios vacíos, con los nodos entre culmos no muy grandes y las paredes no muy gruesas, descartando la posibilidad que la *Guadua sarcocarpa* sea similar a un árbol, en donde el fuste es considerado un cilindro perfecto, creciendo el volumen y la biomasa con el cuadrado del diámetro (Van Den Beldt, 1982, citado por El-Juhany & Aref, 2001). Se infiere, por tanto, que una función lineal será la que mejor representa la relación que describe su biomasa.

Según el análisis de regresión lineal, se determinó que la mejor variable predictora es el DC, ya que existe un alto grado de correlación entre todos los DC con respecto a la BST. En ese sentido, el modelo que usa el DC₁ (ecuación 1), es el mejor modelo ($r^2 = 0.89$, $r^2_{aj} = 0.89$, $p < 0.05$, $N = 28$) (Figuras 3). Así mismo, se encontró que el LC no manifiesta ninguna correlación con la BST en ninguna de sus cinco mediciones, dado que el índice de correlación fue cercano a cero ($r^2 = 0.13$, $r^2_{aj} = 0.02$, $p > 0.05$, $N = 28$) (Figuras 4). Sin embargo, la combinación de ambas variables muestra mejor comportamiento en la regresión lineal, siendo el mejor modelo el que usa la LC₁ + DC₁ (ecuación 2) ($r^2 = 0.89$, $r^2_{aj} = 0.88$, $p < 0.05$, $N = 28$) (Tabla 1).

Del análisis antes descrito se generaron las siguientes ecuaciones:

$$BST (kg) = -3.614311904 + 2.558090732DC_1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$BST (kg) = -3.204068847 + -0.03907892LC_1 + 2.558112622DC_1 \quad (\text{Ecuación 2})$$

De igual manera, se recomienda usar el modelo que usa solo el DC₁, dado que no existe diferencia significativa entre el modelo que usa el LC₁ + DC₁. Hay que señalar, además, que medir estas dos variables en campo implica un mayor tiempo y costo.

Tabla 1. Resumen de regresiones calculadas para *Guadua Sarcocarpa* los pacales de la CC. NN. Bufeo Pozo. ($p < 0.05$)

Variables Predictora	N	Coefficiente de correlación múltiple	r ²	r ² aj	Error típico
DC ₁	28	0.94	0.89	0.89	1.81
DC ₂	28	0.94	0.88	0.88	1.91
DC ₃	28	0.94	0.88	0.88	1.87
DC ₄	28	0.93	0.87	0.87	1.98
DC ₅	28	0.93	0.87	0.86	2.02
LC ₁	28	0.03	0.00	-0.04	5.52
LC ₂	28	0.04	0.00	-0.04	5.51
LC ₃	28	0.13	0.02	-0.02	5.48
LC ₄	28	0.05	0.00	-0.04	5.51
LC ₅	28	0.03	0.00	-0.04	5.52
DC ₁ + LC ₁	28	0.95	0.89	0.88	1.84
DC ₂ + LC ₂	28	0.94	0.89	0.88	1.91
DC ₃ + LC ₃	28	0.94	0.89	0.88	1.87
DC ₄ + LC ₄	28	0.94	0.88	0.87	1.99
DC ₅ + LC ₅	28	0.93	0.87	0.86	2.05

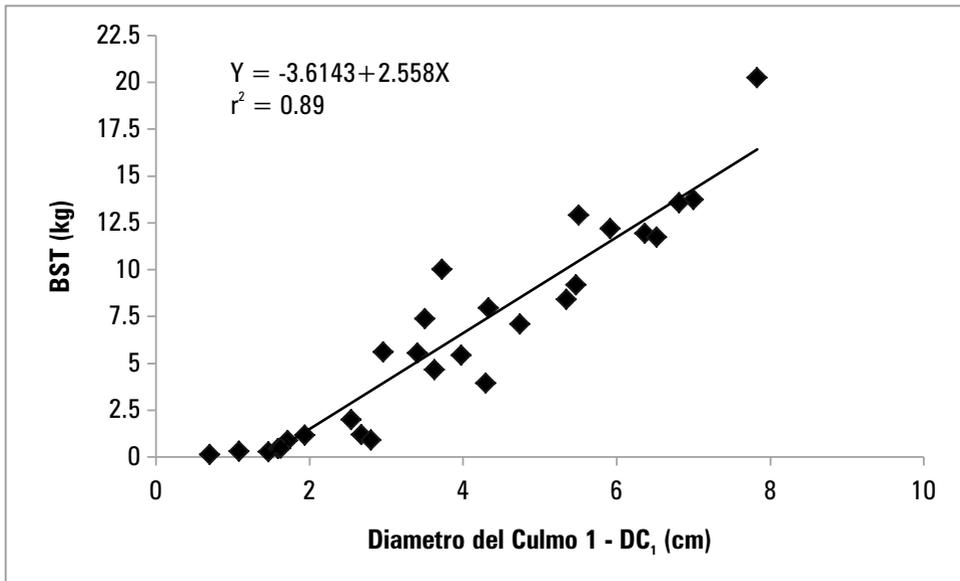


Figura 3. Dispersión de los valores observados de *Guadua sarcocarpa* y la línea de regresión lineal generada con los datos de PST con el DC₁.

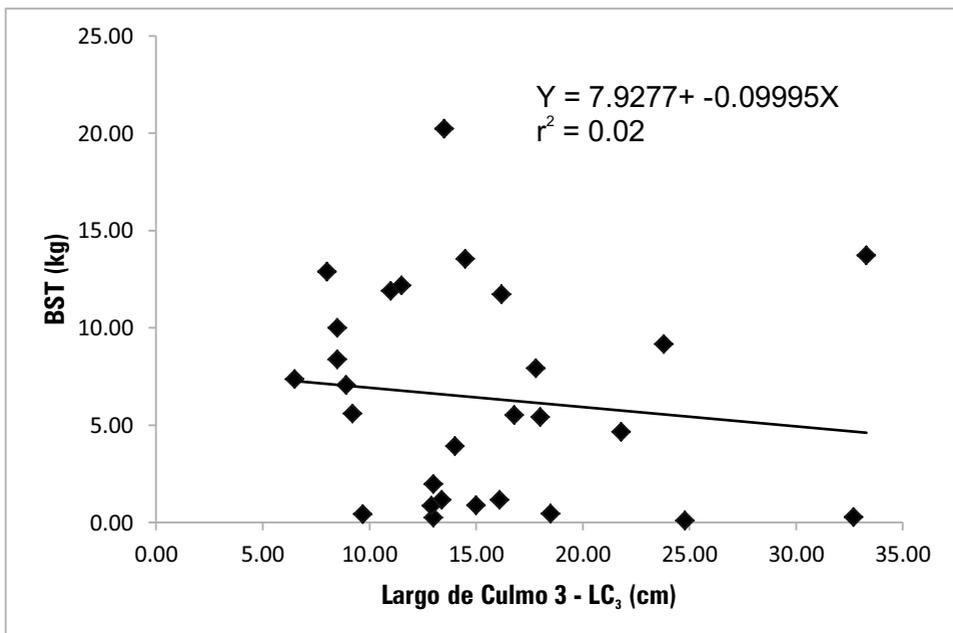


Figura 4. Dispersión de los valores observados de *Guadua sarcocarpa* y la línea de regresión lineal generada con los datos de PST con el LC₃.

Al respecto, Torezan & Silveira (2000), en trabajos similares con *Guadua weberbaueri* en el sur este del estado de Acre en Brasil, determinaron que existe una relación entre la biomasa de *Guadua weberbaueri* en estado maduro con el diámetro, la altura y la combinación de ambas. Cuando se compara el uso de la ecuación C propuesta por Torezan & Silveira (2000), donde solo usa el DBH (diámetro at breast height) diámetro a la altura del pecho, se puede analizar que existe un incremento no significativo de la BST, esto probablemente ocurra porque no son la misma especie de *Guadua*, o en todo caso la variable predictor del presente estudio es el DC₁, en cambio, los autores usan el diámetro a la altura del pecho a 1.30 m del suelo, así mismo, otro factor que respalda a la variable predictor DC₁ es que en este estudio se usó un mayor rango de diámetro de culmos de 0.7 a 6.8 cm, el cual es mayor al de Torezan & Silveira (2000), los cuales usaron un rango de 3.5 cm a 5.5 cm.

Recavarren *et al.* (2011), manifiesta que *Guadua sp.* no supera los 7 cm de diámetro de culmo, lo cual coincide con lo reportado en este estudio. Los mismos autores proponen una ecuación que utiliza el diámetro del cuello o primer culmo como variable predictor, con un N = 30, $r^2 = 0.8962$. Sin embargo, al momento de utilizar la ecuación propuesta, los valores de BST se sobreestiman, lo que no ocurre con el presente estudio y lo reportado por Torezan & Silveira (2000). Esto podría deberse a lo descrito anteriormente, es decir, que tal vez las especies no sean las mismas, dado que Recavarren *et al.* (2011) solo ha identificado el género.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a las autoridades y pobladores de la Comunidad Nativa Bufo Pozo, a los técnicos y asistentes del IAP Ucayali: Mak Cesar Barbaran y Rony Ríos, por el apoyo constante durante el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Acosta-Mireles, M.; Vargas-Hernández, J.; Velásquez-Martínez, A.; Etchevers-Barra, J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6):725-736 p.
- De Carvalho, A.L.; Nelson, B.W.; Bianchini, M.C.; Plagnol, D.; Kuplich, T. M.; & Daly, D.C. 2013. Bamboo-Dominated Forests of the Southwest Amazon: Detection, Spatial Extent, Life Cycle Length and Flowering Waves. *PLoS ONE*, 8(1), e54852. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0054852>
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, Y.C. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- El-Juhany, L.I.; Aref, I.M. 2001. Spacing effects on relative growth rates of diameter, height and biomass production in *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit before and after pruning. *Journal of King Abdulaziz University, Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture Sciences*, 12, 77-87.
- Griscom B. W., Ashton P. M. S. 2006. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. *Journal of Tropical Ecology* 22: 587-597 p.
- García, D.; Del Castillo, D. 2013. Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa Bufo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, Vols. 22 (1-2): 105-113 p.
- GOREU. 2008. Plan vial departamental participativo de Ucayali 2009 – 2018, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Pucallpa. 137 p.
- Griscom, B.W.; Ashton, P.M. S. 2006. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. *Journal of Tropical Ecology* 22: 587-597 p.
- Picard, N.; Saint-André, L.; Henry, M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 223 p.
- Torezan, J.M.D.; Silveira, M. 2000. Biomass of *Guadua weberbaueri* Pilger (Poaceae: Bambusoideae) in bamboo-forest, southwestern of Amazon. *Ecotropica* 6, 71-76 p.
- Recavarren, P.; Delgado M.; Angulo, M.; León, A.; Castro, A. 2011. Proyecto REDD en Áreas Naturales Protegidas de Madre de Dios. Insumos para la elaboración de la línea base de carbono. Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral – AIDER. Lima, Perú. 201 p.
- Rügnitz, M.T.; Chacón, M.L.; Porro, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales - 1. ed. - Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.

Recibido: 19 de agosto del 2015

Aceptado para publicación: 30 de octubre del 2015