



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

RESEARCH ARTICLE



Allometric model of biomass of white bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) trees in forest plantations of Ucayali, Peru

Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú

Jorge Manuel Revilla-Chávez^{1*} ; Edinson Eduardo López-Galán² ; Wilson Francisco Guerra-Arévalo³ ; Diego Gonzalo García-Soria³ ; Krystal Clarissa Rojas-Mego³ ; Gilberto Domínguez-Torrejón⁴ ; Carlos Abanto-Rodríguez³ 

¹ Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP), Programa de Investigación en Biodiversidad Amazónica-DBIO, Yarinacocha, Ucayali. Peru.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Especialista en Protección Vegetal, Estación Experimental Agraria Pucallpa. Peru.

³ Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), Dirección de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales-PROBOSQUES, Yarinacocha, Ucayali. Peru.

⁴ Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), Escuela de Posgrado (EPG), La Molina, Lima. Peru.

* Corresponding author: jrevilla@iiap.gob.pe (J. M. Revilla-Chávez).

Received: 21 July 2021. Accepted: 21 November 2021. Published: 15 December 2021.

Abstract

The white ball (*Guazuma crinita* Mart, Meliaceae) as one of the most important species in the Ucayali region due to its rapid growth and increasing market value, makes it a competitive species when choosing species for a program of production of goods and sustainable services, therefore determining the amount of biomass plays a key role for this purpose; In this purpose, the 38 trees of *G. crinita* at 31 months of age, with an average diameter at the height of the base of 13.33 cm, with a maximum and minimum value of 17.4 and 10.2 cm, respectively, with a standard deviation of 1.80 cm and a variability coefficient of 13%, for an average total biomass of 28.76 Kg, with a standard deviation of 10.07 and a variability coefficient of 35%; It was determined that there is a high relationship between the independent variable diameter at the height of the base (dab) and the total aerial biomass of the trees in the Aguaytia river basin according to the biomass model $\sim a*dab^b$, which resulted which is predictable with the following formula $Bma_{dab} = 0.04253*dab^{2.5027}$ with $R^2 = 0.9397$.

Keywords: biomass; white bolaina; plantations; allometric model; Amazon.

Resumen

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart, Meliaceae) es una de las especies más importantes de la región Ucayali por su rápido crecimiento y creciente valor en el mercado, convirtiéndola en una especie competitiva al momento de elegir especies para un programa de producción de bienes y servicios sostenible, por ello la determinación de la cantidad de biomasa cumple un papel clave para este fin; en este contexto, fueron evaluados 38 árboles de *G. crinita* de 31 meses de edad, con diámetro promedio a la altura de la base de 13,33 cm, con un valor máximo y mínimo de 17,4 y 10,2 cm, respectivamente, con desviación estándar de 1,80 cm y un coeficiente de variabilidad de 13%, para una biomasa total promedio de 28,76 Kg, con una desviación estándar de 10,07 y un coeficiente de variabilidad del 35%; se determinó que en la cuenca del río Aguaytia existe una alta relación entre la variable independiente diámetro a la altura de la base (dab) y la biomasa total aérea de los árboles de acuerdo al modelo biomasa $\sim a*dab^b$, lo que resultó que es previsible con la siguiente fórmula $Bma_{dab}=0,04253*dab^{2,5027}$ con $R^2= 0,9397$.

Palabras clave: biomasa; bolaina blanca; plantaciones; modelo alométrico; Amazonía.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.062>

Cite this article:

Revilla-Chávez, J. M., López-Galán, E. E., Guerra-Arevalo, W. F., García-Soria, D. G., Rojas-Mego, K. C., Domínguez-Torrejón, G., & Abanto-Rodríguez, C. (2021). Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 579-587.

1. Introducción

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart, Malvaceae) es una especie forestal maderable de crecimiento rápido que tiene su hábitat en los bosques aluviales de la Amazonía peruana (Tuisima-Coral et al., 2020); su distribución geográfica es desde Centroamérica hasta el sur de Brasil, Bolivia y Perú. En el Perú, tiene mayor presencia en las regiones de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Junín, Amazonas, Huánuco, San Martín y Cerro de Pasco (Reynel et al., 2003), entre los años 2004 y 2017 la producción de madera rolliza se ha incrementado significativamente pasando de 23110 m³ a 56693,15 m³, respectivamente, resultado de la alta demanda en el mercado (SERFOR, 2017). Por el contrario, la bolaina blanca en el año 2018 representó solo el 14% de la demanda total y el 86% por pino (importado) y otras maderas tropicales de menor valor comercial agrupadas bajo el nombre de "roble" (FAO, 2018). A la fecha, existe una demanda insatisfecha de madera de bolaina blanca, lo que genera el temor de sobre explotación de los rodales naturales, que generaría la extracción selectiva, la misma que puede provocar erosión genética y pérdida de la regeneración natural por la eliminación de los árboles padres, generando en el corto y mediano plazo la fragmentación de los rodales naturales y la disminución de los ciclos de aprovechamiento (Casas et al., 2016), por lo tanto valorar y cuantificar los servicios ambientales que brinda la especie resulta de mucha importancia.

Las plantaciones forestales y agroforestales capturan carbono y lo almacenan principalmente en la biomasa dura (madera), hojas, ramas, corteza y raíces (Somarriba et al., 2013), y son importantes como alternativa de mitigación al cambio climático (Yepes et al., 2015), al respecto Martínez et al. (2018) reportó que plantaciones de *E. grandis* en Colombia donde almacenaron más del doble del carbono capturado por el Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía; de este modo, queda demostrado que las plantaciones forestales son proveedoras de bienes y servicios, siendo por tanto imprescindible la estimación de la biomasa en los árboles (Tesyfaye et al., 2015; Meng et al., 2017).

De acuerdo con Somarriba et al. (2013), las plantaciones capturan el carbono en su madera, hojas, ramas, corteza y raíces. No obstante, para su cuantificación es necesario utilizar diferentes métodos, entre ellos los modelos alométricos son una excelente alternativa para el cálculo del carbono acumulado, utilizándolos como herramientas matemáticas para su estimación (Návar, 2010a), que a su vez puede calcular el carbono capturado en los bosques y plantaciones usando funciones de correlación entre variables, como volumen, carbono, carbono equivalente (CO₂e), biomasa verde y CO₂ de biomasa seca de cada componente, con variables de fácil medición como el diámetro y la altura total de los árboles (Solano et al., 2014); además, el uso de los métodos alométricos tienen la ventaja de otorgar mayor precisión, menores costos, rapidez y rigor en las mediciones para estimar la biomasa y el carbono (Revilla-Chávez et al., 2021; Segura & Andrade 2008; Mota & Silva, 2009).

A pesar de la importancia actual de cuantificar la biomasa en plantaciones forestales, la precisión de las ecuaciones alométricas para la biomasa de árboles es aún deficiente

(Alexander et al., 2011; Nair, 2011); por lo que en tal sentido, diferentes estudios señalan que, las ecuaciones específicas por especie poseen mejor precisión que las ecuaciones generales, pues toman en cuenta las condiciones ambientales locales que interactúan con las características inherentes a la especie, como la densidad de la madera, la variabilidad genética y el ecosistema donde en donde se desarrollaron los árboles; factores que influyen significativamente en las relaciones alométricas (Skovsgaard & Vanclay, 2013; Lin et al., 2017; Mensah, Veldtman & Seifert, 2017), donde a nivel local o sitio, el uso de ecuaciones resulta la opción más práctica en tiempo y costo para evaluar la cantidad de biomasa aérea a partir de datos de inventario forestal (Riofrío et al., 2015; Daryaei & Sohrabi, 2016).

Es por ello que el objetivo del presente estudio fue, desarrollar un modelo alométrico para calcular la biomasa en los árboles *G. crinita* Mart a los 31 meses de edad en la cuenca del río Aguaytia, Ucayali, Perú, de modo que sirva de herramienta para el cálculo futuro del carbono contenido en una plantación.

2. Materiales y métodos

Este estudio fue realizado en la cuenca del río Aguaytia ubicado en el lado occidental de la selva baja, posee temperatura del aire media anual es de 26 °C, es de paisaje ondulado en la parte más alta y plano en la parte baja, su elevación está entre 300 y 180 m.s.n.m. (Ugarte & Domínguez, 2010).

Las muestras fueron colectadas de los ensayos de progenies de bolaina blanca ubicadas en la cuenca del río Aguaytia, las mismas que fueron instaladas por el Centro Internacional de Investigación agroforestal (ICRAF) en el año 2001. Las parcelas experimentales están distribuidas en suelos de terraza, la primera pertenece a la cuenca baja comprendida entre las localidades de Pucallpa, Campo Verde y Nueva Requena; la segunda está ubicada en la cuenca media que corresponde a Neshuya y Curimaná y la tercera es la cuenca alta que se extiende desde Von Humboldt hasta San Alejandro (Figura 1). Los suelos son predominantemente ácidos y de baja fertilidad natural, del mismo modo las precipitaciones pluviales varían de 1400mm en la parte baja a 2500mm en la parte alta. Las parcelas experimentales, tuvieron una extensión de 0,25 ha cada una, con un total de 400 árboles plantados a un distanciamiento de 2,5 x 2,5 m (Revilla-Chávez et al., 2021).

Para la elaboración de la ecuación alométrica de biomasa, fueron medidos 38 árboles de 31 meses de edad y los cálculos matemáticos fue realizado por medio de la metodología desarrollada por Arevalo et al. (2003), que sugiere tomar al menos 10 árboles por clase diamétrica, de acuerdo con la curva normal (Tabla 1).

Tabla 1

Muestras tomadas por clase diamétrica de la base de árboles de 31 meses de edad

| N° | Clase diamétrica (cm) | Frecuencia | Número de Muestras |
|----|-----------------------|------------|--------------------|
| 1 | 10,0-11,9 | 908 | 11 |
| 2 | 12,0-13,9 | 105 | 14 |
| 3 | 14,0-15,9 | 39 | 10 |
| 4 | 16,0-17,9 | 12 | 3 |
| | Total | 1064 | 38 |

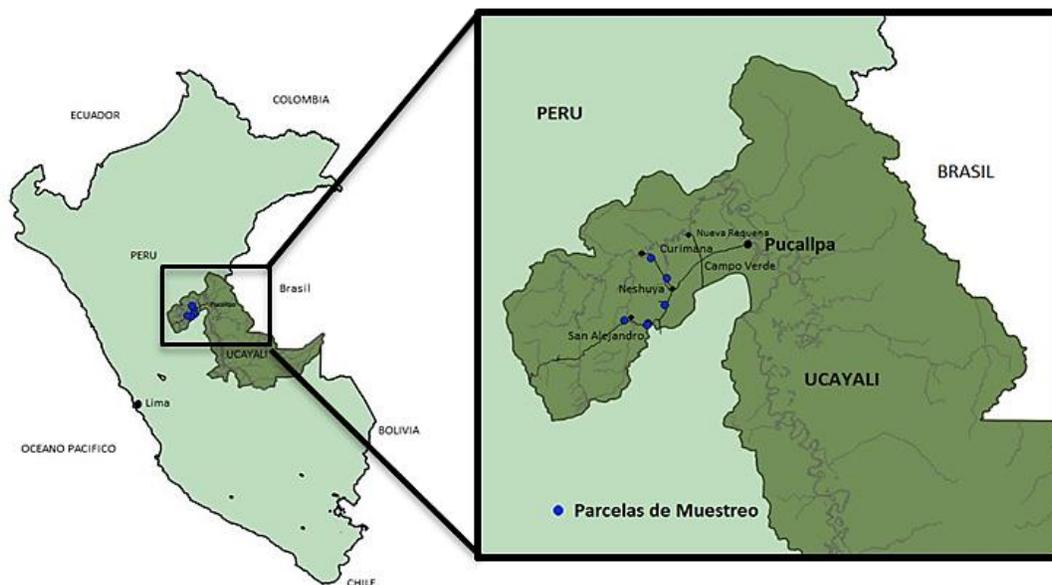


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Para el desarrollo de la ecuación, se tomaron variables de diámetro a la altura de la base (dab); biomasa del fuste (bmf); biomasa de ramas secas (bmr_s); biomasa de ramas verdes (bmr_v); biomasa de hojas (b_{mh}); contenido de humedad (CH%) y densidad de la madera (dm).

Para determinar la biomasa del fuste (Bmf), se aplicó la metodología de **Maddicken (1997)**, que resulta del producto del volumen total del fuste (V_{t_s}) con la densidad de la madera (d_{1ⁿ}).

Para la determinación del volumen, los fustes fueron cortados en secciones (S_n) de 2 m de longitud, con la última sección de longitud variable (**Revilla-Chávez et al., 2021**); el volumen cada sección se obtuvo aplicando la fórmula de Smalian:

$$V_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_i^2 + d_s^2}{2} \right) \times h_s$$

Donde: V_s (muestra)=Volumen de la sección o troza (m³); π/4=Constante 0,7854; d_i²=Diámetro inferior elevado al exponente 2(m); d_s²=Diámetro superior elevado al exponente 2(m); h_s=Largo de la sección o troza (2m), de longitud variable en la última sección.

El volumen del fuste (V_{t_s}), se calculó la por sumatoria de los volúmenes de cada sección, utilizando la siguiente fórmula:

$$V_{t_s} = \sum_{i=1}^n V_s$$

Donde: V_{t_s}=Volumen total del árbol (m³); V_s=Volumen de las secciones.

La determinación de la densidad de la madera se realizó, extrayendo 261 rodajas (probetas) de 10 cm longitud del centro longitudinal de cada sección (**Figura 2**); luego de pesada en balanza digital con precisión de ± 1 g y secada en estufa a temperatura ±105 °C hasta peso constante, se determinó su contenido de humedad (CH%) y el peso seco

de la probeta; el volumen de la probeta se obtuvo por el principio de método de desplazamiento de líquidos postulado por Arquímedes (**Melo et al., 2016**) utilizando la siguiente fórmula:

$$Vol_{probeta} = \frac{Peso_2 H_2O - Peso_1 H_2O}{d_{H_2O}}$$

Donde: Vol_{probeta} = Volumen de la probeta (cc); Peso₁H₂O = Masa (g) del agua destilada en matraz sin inmersión de probeta; Peso₂H₂O = Masa (g) del agua destilada en matraz con inmersión de probeta; d_{H₂O} = Densidad del agua destilada: 0,9970 g/cc a 25 °C (Ver **Figura 3**).

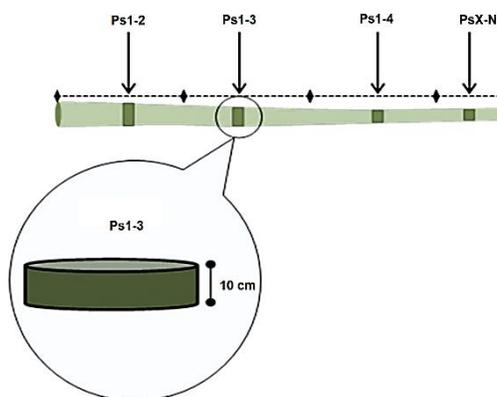


Figura 2. Ubicación y extracción de rodajas para determinación de CH% y densidad de la madera (Donde: Ps1-2=Probeta del árbol 1 y sección 2).

Las variables de peso seco y volumen de la probeta se utilizaron para determinar la densidad anhidra de la madera (d_{1ⁿ} = Bm_{ss}/Vol_{probeta}) donde: d_{1ⁿ} = Densidad de la madera en la sección; Bm_{ss} = Biomasa seca de la probeta (g). Con el volumen de las secciones del fuste (V_{t_s}) y la densidad anhidra (d_{s₁}) de cada sección se calculó la biomasa por sección (kg): Bm_{ss} = V_{t_s} x d_{s₁}ⁿ.

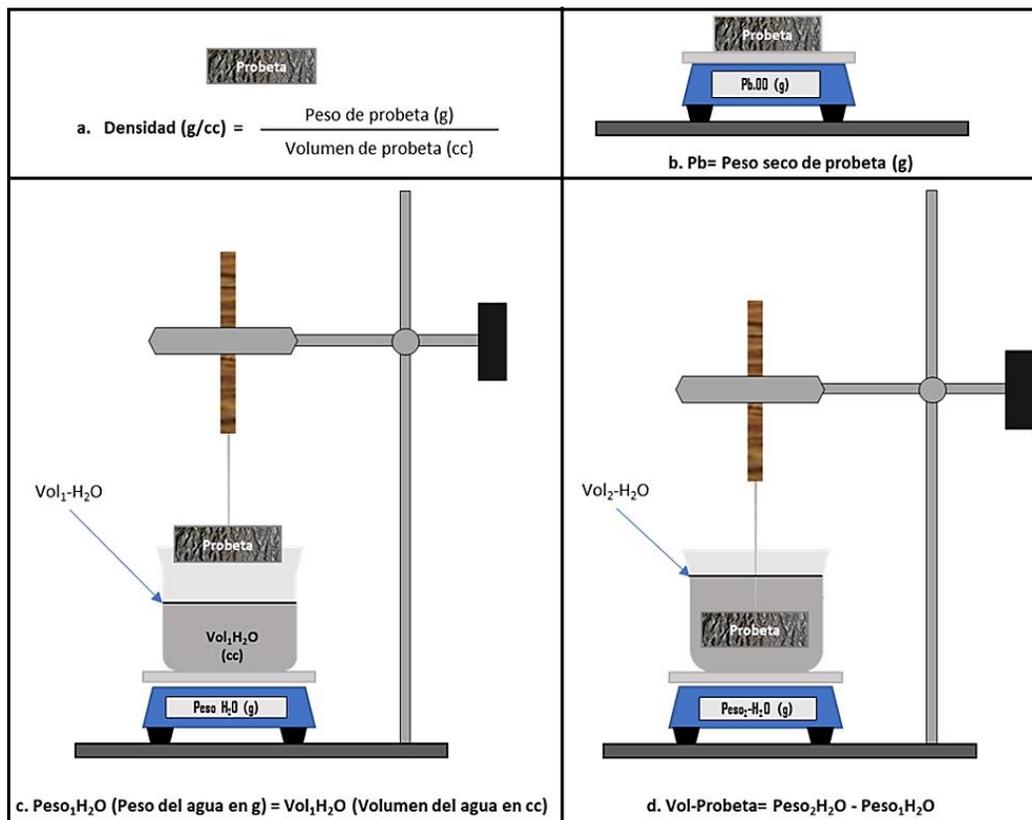


Figura 3. Determinación del volumen y densidad de la madera de las probetas; a. relación de densidad de la probeta; b. pesada de probeta seca; c. pesada agua destilada; d. volumen de la probeta.

La biomasa total del fuste, Bmf (kg) se obtuvo, por medio de la sumatoria de los pesos secos de cada una de las secciones del fuste (Bms):

$$Bmf = \sum_{1}^n Bms$$

Para la determinación de Biomasa de ramas verdes ($Bmrv$), Biomasa de ramas secas ($Bmrs$), y Biomasa de hojas (Bmh), se tomaron muestras en bolsas de papel y secada a la estufa a temperatura ± 105 °C hasta peso constante.

La biomasa del árbol se determinó mediante la sumatoria de todos sus componentes secos (kg): $Bma = Bmf + Bmrs + Bmrv + Bmh$ (Donde: Bma = Biomasa del árbol; Bmf = Biomasa del fuste; $Bmrv$ = Biomasa de ramas verdes; Bmh = Biomasa de hojas).

La ecuación alométrica específica se determinó mediante la relación biomasa aérea por árbol (Bma_{dab}) con el diámetro a la altura de la base (dab) aplicando un modelo matemático no lineal en soporte informático de análisis estadístico R: $Bma_{dab} = a \cdot dab^b$ (Donde: Bma_{dab} = Variable dependiente (kg); a y b = Constantes de expansión; dab = Diámetro a la altura de la base (cm)).

Para la determinar la correlación entre las variables de sección del fuste, volumen, densidad y contenido de humedad volumen de la madera, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson en el programa estadístico R y el paquete Rcmdr.

3. Resultados y discusión

Los árboles de *G. crinita* a los 31 meses de edad, con diámetro promedio a la altura de la base de 13,33 cm, con valor máximo y mínimo de 17,4 y 10,2 cm respectivamente, con desviación estándar de 1,80 cm, un coeficiente de variabilidad de 13%, con un volumen total promedio de 0,0687 m³/árbol, desviación estándar de 0,0242 y un coeficiente de variabilidad de 35% (Tabla 2), resultaron con una biomasa total promedio de 28,76 kg, con una desviación estándar de 10,07 y un coeficiente de variabilidad del 35% (Tabla 3).

Las variables utilizadas para el desarrollo de la ecuación de biomasa en orden de importancia fueron el volumen, la densidad y el contenido de humedad de la madera, por lo mismo las dos últimas tuvieron un comportamiento variable a lo largo de fuste; donde la densidad de la madera tuvo una media de 0,39302 g/cm³ en la sección 1 del árbol con una ds de 25,98 y cv del 7% y de 0,31243 g/cm³ en la sección 8 (antes de la copa) con una ds 52,76 y un cv de 16% (Figura 5); del mismo modo el contenido de humedad fue de 53,80% en la sección 1 con ds de 3,45 y cv 6% y de 35,49% en la sección 8 (antes de la copa) con ds 9,26 y cv 26% (Figura 4).

Cabe mencionar, que existió fuerte correlación entre las variables a un nivel de confianza de $p < 0,01$ mediante el análisis de correlación de Pearson (Tabla 4); donde el volumen de la madera ($cor = 0,9991645$) y la densidad ($cor = 0,9661421$) tuvieron una mayor correlación con la

biomasa (p-value < 0,0001); mientras que la posición de la sección del árbol tuvo una fuerte correlación negativa sobre las variables densidad (cor = -0,9883302), volumen (cor = -0,9586691), biomasa (cor = -0,9502538) y el contenido de humedad (cor = -0,9157795) (Figura 4), este resultado guarda relación con el patrón encontrado por Rivera (2014), donde observó un mayor contenido de humedad promedio de *G. crinita* Mart. en la base del fuste, disminuyendo hacia el ápice; similar al comportamiento encontrado por Omonte et al. (2019) en el género *Eucaliptus*, quien observó variación en el contenido de humedad en diferentes posiciones del fuste del árbol, lo que tuvo influencia en el comportamiento de la densidad a lo largo del mismo; patrón similar se observó en la variación de la densidad de la madera de *G. crinita* (Figura 5); concordante a lo referido por Omonte et al. (2019) cuando afirma a partir de resultados de los análisis de varianza, indicaron que la altura en el fuste, resultó una fuente significativa de variación a una nivel de confianza p < 0,01; del mismo modo Arango (2001) concluye que la densidad decrece desde la base del árbol hacia el nivel del DAP.

Las pruebas estadísticas demostraron que la curva con mejor ajuste para determinar la biomasa total seca en función al *dab* fue del tipo potencial, resultado la siguiente: $Bma_{dab}=0,04253*dab^{2,5027}$; ($R^2 = 0,9397$; p < 0,05).

Donde: Bma_{dab} = Biomasa aérea del árbol en función a *dab*; 0,04253: Constante a; *dab*: Diámetro a la altura de la base del árbol (2,5027 = Constante b).

Este resultado es similar al encontrado por Lino (2010), que desarrolló un modelo de tipo potencial en función al *dap* ($R^2 = 0,9908$; p < 0,05) en bosques de *G. crinita* de 3 a 7 años de edad; esto es similar a los encontrado por Wang et al. (1999) y congruente a lo referido por Wang et al. (2018), quien refiere que para estimar la biomasa, regularmente se establecen modelos lineales o no lineales de tipo potencial, usando el D o D²H como variable independiente (Návar, 2009, Wang et al., 2018); por lo general incluyen el diámetro normal (D) del árbol como única variable (Aguirre-Calderón & Jiménez-Pérez, 2011; Baishya, 2011); más al agregar al modelo la densidad de la madera, la inclusión de la altura total del árbol (H) o su factor de forma, mejora su capacidad predictiva (Návar, 2010; Solano et al., 2014; Chave et al., 2015; Soriano-Luna, Ángeles-Pérez, Martínez-Trinidad, Plascencia-Escalante & Razo-Zárate, 2015; Wang, Zhang & Feng, 2018).

Wang (1999) también refiere que las ecuaciones predictivas de la biomasa a partir del diámetro, provee un buen balance de precisión en la predicción y se requieren pocos datos al utilizar el DAP, siendo un método más preciso al estimar la biomasa total del rodal y otorga mayor facilidad en la utilización de las regresiones y en el análisis de los resultados (Applegate et al., 1988).

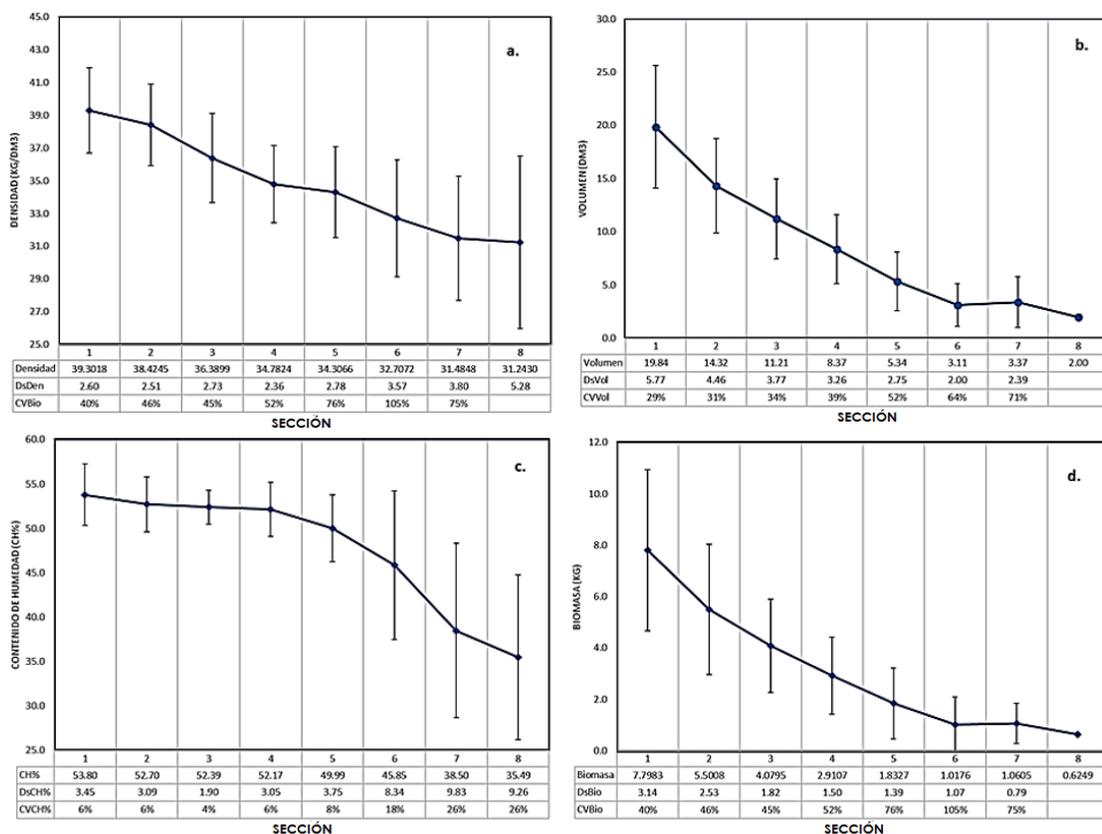


Figura 4. Variación de las variables en relación con la sección del fuste: a. con su densidad; b. con su volumen; c. con el contenido de humedad; d. con la biomasa.

Tabla 2

Volúmenes de las secciones del fuste de los árboles mediante la fórmula de Smalian (m³)

| Árbol | dab (cm) | Volúmenes de Secciones del fuste (m ³) | | | | | | | | | | Volumen total |
|----------|----------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| | | Vol B | Vol 1 | Vol 2 | Vol 3 | Vol 4 | Vol 5 | Vol 6 | Vol 7 | Vol 8 | Vol 9 | |
| 1 | 11,4 | 0,003 | 0,015 | 0,011 | 0,009 | 0,006 | 0,004 | 0,002 | | | 0,001 | 0,051 |
| 2 | 15,5 | 0,005 | 0,027 | 0,02 | 0,016 | 0,012 | 0,008 | 0,004 | | | 0,001 | 0,094 |
| 3 | 13,7 | 0,004 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,01 | 0,006 | 0,002 | | | 0,001 | 0,072 |
| 4 | 13,3 | 0,004 | 0,022 | 0,015 | 0,011 | 0,008 | 0,005 | 0,001 | | | 0,001 | 0,067 |
| 5 | 10,2 | 0,002 | 0,011 | 0,008 | 0,006 | 0,004 | 0,001 | | | | 0,001 | 0,034 |
| 6 | 15,2 | 0,005 | 0,025 | 0,018 | 0,014 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,003 | | 0,001 | 0,088 |
| 7 | 11,1 | 0,003 | 0,014 | 0,01 | 0,008 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | | | 0,001 | 0,045 |
| 8 | 12,5 | 0,003 | 0,017 | 0,012 | 0,009 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,004 | | 0,001 | 0,06 |
| 9 | 14,3 | 0,004 | 0,021 | 0,015 | 0,011 | 0,008 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | | 0,001 | 0,07 |
| 10 | 14,1 | 0,004 | 0,021 | 0,015 | 0,011 | 0,008 | 0,005 | 0,002 | | | 0,001 | 0,067 |
| 11 | 12,9 | 0,004 | 0,017 | 0,012 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | | | 0,001 | 0,058 |
| 12 | 16,1 | 0,006 | 0,029 | 0,022 | 0,017 | 0,013 | 0,009 | 0,006 | 0,002 | | 0 | 0,104 |
| 13 | 14 | 0,004 | 0,021 | 0,015 | 0,012 | 0,009 | 0,006 | 0,003 | 0,002 | | 0,001 | 0,074 |
| 14 | 15,2 | 0,005 | 0,025 | 0,018 | 0,014 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | | 0,001 | 0,088 |
| 15 | 14,7 | 0,005 | 0,022 | 0,016 | 0,012 | 0,009 | 0,006 | 0,002 | | | 0,001 | 0,072 |
| 16 | 11,6 | 0,003 | 0,015 | 0,011 | 0,008 | 0,006 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | | 0,001 | 0,057 |
| 17 | 13,5 | 0,004 | 0,016 | 0,014 | 0,011 | 0,008 | 0,006 | 0,002 | 0,005 | | 0,002 | 0,069 |
| 18 | 11,8 | 0,003 | 0,015 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | | | 0,001 | 0,044 |
| 19 | 15,3 | 0,005 | 0,026 | 0,019 | 0,015 | 0,011 | 0,007 | 0,005 | 0,001 | | 0 | 0,089 |
| 20 | 12,9 | 0,004 | 0,017 | 0,012 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | | | 0,001 | 0,058 |
| 21 | 11,2 | 0,003 | 0,014 | 0,009 | 0,007 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | | | 0 | 0,042 |
| 22 | 13,1 | 0,004 | 0,019 | 0,013 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,002 | | 0,001 | 0,065 |
| 23 | 11,8 | 0,003 | 0,015 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | | | 0 | 0,044 |
| 24 | 13,7 | 0,004 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,01 | 0,006 | 0,002 | | | 0,001 | 0,072 |
| 25 | 15,3 | 0,005 | 0,027 | 0,019 | 0,015 | 0,012 | 0,008 | 0,004 | | | 0 | 0,089 |
| 26 | 11,8 | 0,003 | 0,015 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | | | 0 | 0,044 |
| 27 | 11,2 | 0,003 | 0,013 | 0,009 | 0,007 | 0,004 | 0 | | | | 0,001 | 0,037 |
| 28 | 12,5 | 0,003 | 0,017 | 0,012 | 0,009 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | | 0,001 | 0,063 |
| 29 | 13,9 | 0,004 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,01 | 0,007 | 0,004 | 0,003 | | 0,001 | 0,08 |
| 30 | 17,3 | 0,007 | 0,036 | 0,027 | 0,022 | 0,018 | 0,013 | 0,009 | 0,010 | 0,004 | 0 | 0,146 |
| 31 | 17,4 | 0,007 | 0,034 | 0,025 | 0,021 | 0,017 | 0,013 | 0,009 | 0,007 | | 0 | 0,133 |
| 32 | 13,2 | 0,004 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | | 0,001 | 0,079 |
| 33 | 13,1 | 0,004 | 0,019 | 0,013 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | | 0,001 | 0,064 |
| 34 | 12,5 | 0,003 | 0,017 | 0,012 | 0,009 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | | 0,001 | 0,059 |
| 35 | 14,8 | 0,005 | 0,024 | 0,017 | 0,014 | 0,011 | 0,008 | 0,004 | 0,001 | | 0 | 0,085 |
| 36 | 10,5 | 0,002 | 0,013 | 0,01 | 0,008 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | | | 0,001 | 0,046 |
| 37 | 11,2 | 0,003 | 0,014 | 0,009 | 0,007 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | | | 0 | 0,043 |
| 38 | 12,6 | 0,003 | 0,017 | 0,012 | 0,01 | 0,007 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | | 0,001 | 0,058 |
| Promedio | 13,33 | 0,0039 | 0,0198 | 0,0143 | 0,0112 | 0,0084 | 0,0053 | 0,0031 | 0,0034 | 0,0020 | 0,0008 | 0,0687 |
| Ds | 1,80 | 0,0012 | 0,0058 | 0,0045 | 0,0038 | 0,0033 | 0,0028 | 0,0020 | 0,0024 | 0,0028 | 0,0005 | 0,0242 |
| CV | 13% | 29% | 29% | 31% | 34% | 39% | 52% | 64% | 71% | 141% | 64% | 35% |

Donde: *Árbol* = Nro. de árbol muestreado; *dab* = Diámetro a la altura de la base; *Vol B* = Volumen de madera por sección del fuste (Vol 1, Vol 2, Vol 3, Vol 4, Vol 5, Vol 6, Vol 7, Vol 8, Vol 9); *Vt* = Volumen total resultado de la suma de todas las secciones del fuste.

Tabla 3

Biomasa por componentes de 38 árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de 31 meses de edad para desarrollo de modelo alométrico de biomasa (kg)

| Árbol | dab (cm) | bmf (kg) | bhrs (kg) | bmrn (kg) | Psh (kg) | Biomasa aérea (kg) | | | | | |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------------|----|------|----|-------|------|
| 1 | 11,40 | 17,57 | 81% | 2,37 | 11% | 1,01 | 5% | 0,69 | 3% | 21,64 | 100% |
| 2 | 15,50 | 31,68 | 82% | 3,52 | 9% | 2,22 | 6% | 1,05 | 3% | 38,47 | 100% |
| 3 | 13,70 | 23,77 | 80% | 2,79 | 9% | 1,81 | 6% | 1,17 | 4% | 29,53 | 100% |
| 4 | 13,30 | 23,28 | 79% | 3,15 | 11% | 1,72 | 6% | 1,17 | 4% | 29,32 | 100% |
| 5 | 10,20 | 12,41 | 82% | 1,59 | 11% | 0,62 | 4% | 0,43 | 3% | 15,05 | 100% |
| 6 | 15,20 | 33,31 | 89% | 1,82 | 5% | 1,23 | 3% | 1,03 | 3% | 37,40 | 100% |
| 7 | 11,10 | 16,89 | 80% | 2,20 | 10% | 1,28 | 6% | 0,76 | 4% | 21,13 | 100% |
| 8 | 12,50 | 20,42 | 88% | 1,87 | 8% | 0,59 | 3% | 0,39 | 2% | 23,26 | 100% |
| 9 | 14,30 | 24,49 | 84% | 2,80 | 10% | 1,04 | 4% | 0,77 | 3% | 29,10 | 100% |
| 10 | 14,10 | 22,63 | 84% | 2,57 | 10% | 1,07 | 4% | 0,67 | 2% | 26,93 | 100% |
| 11 | 12,90 | 22,42 | 83% | 2,00 | 7% | 1,43 | 5% | 1,08 | 4% | 26,92 | 100% |
| 12 | 16,10 | 39,86 | 90% | 2,80 | 6% | 0,25 | 1% | 1,58 | 4% | 44,48 | 100% |
| 13 | 14,00 | 28,05 | 84% | 2,30 | 7% | 1,98 | 6% | 1,08 | 3% | 33,42 | 100% |
| 14 | 15,20 | 31,61 | 88% | 1,50 | 4% | 2,11 | 6% | 0,77 | 2% | 36,00 | 100% |
| 15 | 14,70 | 26,41 | 83% | 2,46 | 8% | 2,24 | 7% | 0,69 | 2% | 31,81 | 100% |
| 16 | 11,60 | 19,46 | 87% | 1,63 | 7% | 0,81 | 4% | 0,45 | 2% | 22,35 | 100% |
| 17 | 13,50 | 20,42 | 80% | 3,18 | 12% | 1,06 | 4% | 0,88 | 3% | 25,54 | 100% |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|------|
| 18 | 11,80 | 16,58 | 83% | 2,02 | 10% | 0,77 | 4% | 0,58 | 3% | 19,95 | 100% |
| 19 | 15,30 | 32,47 | 88% | 1,82 | 5% | 1,50 | 4% | 0,92 | 3% | 36,71 | 100% |
| 20 | 12,90 | 22,53 | 80% | 3,19 | 11% | 1,27 | 5% | 1,07 | 4% | 28,06 | 100% |
| 21 | 11,20 | 15,45 | 80% | 2,22 | 11% | 1,11 | 6% | 0,64 | 3% | 19,42 | 100% |
| 22 | 13,10 | 22,85 | 83% | 2,31 | 8% | 1,38 | 5% | 1,10 | 4% | 27,64 | 100% |
| 23 | 11,80 | 16,44 | 78% | 2,71 | 13% | 1,24 | 6% | 0,69 | 3% | 21,08 | 100% |
| 24 | 13,70 | 24,5 | 84% | 1,24 | 4% | 2,00 | 7% | 1,36 | 5% | 29,10 | 100% |
| 25 | 15,30 | 31,15 | 85% | 1,70 | 5% | 2,69 | 7% | 1,09 | 3% | 36,63 | 100% |
| 26 | 11,80 | 13,50 | 88% | 1,03 | 7% | 0,41 | 3% | 0,39 | 3% | 15,32 | 100% |
| 27 | 11,20 | 12,33 | 89% | 0,65 | 5% | 0,49 | 4% | 0,30 | 2% | 13,78 | 100% |
| 28 | 12,50 | 15,47 | 83% | 1,45 | 8% | 0,97 | 5% | 0,69 | 4% | 18,58 | 100% |
| 29 | 13,90 | 29,75 | 86% | 3,04 | 9% | 1,01 | 3% | 0,65 | 2% | 34,45 | 100% |
| 30 | 17,30 | 52,46 | 89% | 3,33 | 6% | 1,96 | 3% | 0,97 | 2% | 58,72 | 100% |
| 31 | 17,40 | 49,03 | 87% | 3,13 | 6% | 3,87 | 7% | 0,20 | 0% | 56,23 | 100% |
| 32 | 13,20 | 28,38 | 88% | 1,82 | 6% | 1,39 | 4% | 0,50 | 2% | 32,09 | 100% |
| 33 | 13,10 | 23,82 | 91% | 1,40 | 5% | 0,59 | 2% | 0,49 | 2% | 26,30 | 100% |
| 34 | 12,50 | 22,12 | 83% | 1,91 | 7% | 1,70 | 6% | 1,02 | 4% | 26,74 | 100% |
| 35 | 14,80 | 31,13 | 82% | 2,60 | 7% | 2,78 | 7% | 1,45 | 4% | 37,96 | 100% |
| 36 | 10,50 | 17,07 | 86% | 1,33 | 7% | 0,92 | 5% | 0,57 | 3% | 19,89 | 100% |
| 37 | 11,20 | 15,73 | 88% | 1,36 | 8% | 0,53 | 3% | 0,33 | 2% | 17,94 | 100% |
| 38 | 12,60 | 20,22 | 85% | 1,79 | 7% | 1,07 | 4% | 0,84 | 4% | 23,91 | 100% |
| Promedio | 13,33 | 24,41 | 85% | 2,17 | 8% | 1,37 | 5% | 0,80 | 3% | 28,76 | 100% |
| Ds | 1,77 | 9,01 | 3% | 0,71 | 2% | 0,75 | 2% | 0,33 | 1% | 10,07 | |
| CV | 0,13 | 37% | 4% | 0,33 | 30% | 54% | 34% | 41% | 32% | 35% | |

Donde: Árbol = árbol muestra; *dap* (cm) = Diámetro a la altura del pecho; *bmf* (kg) = Biomasa del fuste; *bmsr* (kg) = Biomasa de ramas secas; *bmrV* (kg) = Biomasa de ramas verdes; *Psh* (kg) = Peso seco hojas; Biomasa aérea (kg); Promedio = Promedio de variables; Ds = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 4

Análisis de correlación de variables por el método de Pearson de 38 árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de 31 meses de edad para desarrollo de modelo alométrico de biomasa (kg)

| Variables | Biomasa | CH. | Densidad | Sección | Volumen |
|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Biomasa | 1 | 0,7549 | 0,9661 | -0,9503 | 0,9992 |
| CH. | 0,7549 | 1 | 0,8693 | -0,9158 | 0,7729 |
| Densidad | 0,9661 | 0,8693 | 1 | -0,9883 | 0,97 |
| Sección | -0,9503 | -0,9158 | -0,9883 | 1 | -0,9587 |
| Volumen | 0,9992 | 0,7729 | 0,97 | -0,9587 | 1 |

Numero de observaciones: 8.

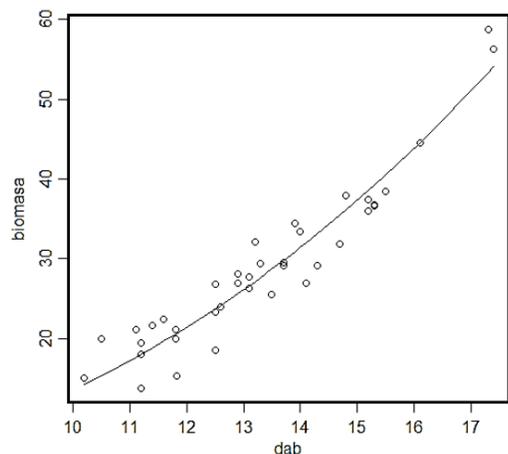


Figura 5. Modelo de predicción de la biomasa en función al diámetro a la altura de la base (*dab*) $Bma_{dab}=0,04253*dab^{2,5027}$, de 38 árboles de bolaina blanca de 31 meses de edad; $r^2 = 0,9397905$.

4. Conclusiones

La biomasa aérea de árboles de bolaina blanca *Guazuma crinita* Mart. de 31 meses en plantaciones de la cuenca del río Aguaytia, Ucayali, Perú, fue en promedio de 28,76 kg por árbol con desviación estándar de 10,07 y un coeficiente de variabilidad del 35%.

El volumen y la densidad de la madera tienen mayor influencia sobre la biomasa del árbol.

Existe una correlación inversa entre las variables densidad, volumen, biomasa y el contenido de humedad de la madera en función a la ubicación de las secciones del fuste.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP y al Centro Mundial para la Agroforestería-ICRAF, por la logística y apoyo financiero; Así mismo un agradecimiento especial a los Drs. Jonathan Cornelius, Miguel Pinedo y Víctor Gutiérrez, por sus valiosas contribuciones y asesoramiento durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

ORCID

- J. M. Revilla-Chávez [ID](https://orcid.org/0000-0001-5978-5146) <https://orcid.org/0000-0001-5978-5146>
- E. E. López-Galán [ID](https://orcid.org/0000-0002-3593-874X) <https://orcid.org/0000-0002-3593-874X>
- W. F. Guerra-Arevalo [ID](https://orcid.org/0000-0002-2887-1436) <https://orcid.org/0000-0002-2887-1436>
- D. G. García-Soria [ID](https://orcid.org/0000-0003-4912-9406) <https://orcid.org/0000-0003-4912-9406>
- K. C. Rojas-Mego [ID](https://orcid.org/0000-0001-7173-3023) <https://orcid.org/0000-0001-7173-3023>
- G. Domínguez-Torrejón [ID](https://orcid.org/0000-0002-7651-5284) <https://orcid.org/0000-0002-7651-5284>
- C. Abanto-Rodríguez [ID](https://orcid.org/0000-0001-7956-5482) <https://orcid.org/0000-0001-7956-5482>

Referencias bibliográficas

Aguirre-Calderón, O. A., & Jiménez-Pérez, J. (2011). Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 73–84.

Alexander, S., C. R. Nelson, J. Aronson, D. Lamb, A. Cliquet, K. L. et al. (2011). Opportunities and challenges for ecological restoration within REDD. *Restor. Ecol.*, 19, 683–689.

Applegate, G., Gilmour, D., & Mohns, B. (1988). The use of biomass estimations in the management of forests for fuelwood and fodder production. *Commonwealth Forestry Association*, 67(2), 141–148.

Arango, A., B., Hoyos G., J. F., & Vásquez C., A. M. (2001). Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 54(1 y 2), 1275–1284.

- Arevalo, L.; Alegre, J., & Palm, C. (2003). Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. ICRAF. 24p.
- Baishya, S. B. (2011). Estimation of tree biomass, carbon pool and net primary production of an old-growth *Pinus kesiya* Royle ex. Gordon Forest in north-eastern India. *Annals of Forest Science*, 68(4), 727–736.
- Casas, A., Torres-Guevara, J., & Parra, F. (2016). Domesticación en el continente americano, Universidad Nacional Autónoma de México, primera edición, 95 p. Recuperado de: <http://www.librosoa.unam.mx/xmlui/handle/123456789/1229>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., & Vieilledent, G. (2015). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190.
- Daryaei, A., & Sohrabi, H. (2016). Additive biomass equations for small diameter trees of temperate mixed deciduous forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(4), 394–398.
- Lino, K., Soudre, M., & Baldoceca, R. (2010). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. *Revista Forestal de Ucayali*, 6(1), 89–104.
- Lin, K., Lyu, M., Jiang, M., Chen, Y., Li, Y., et al. (2017). Improved allometric equations for estimating biomass of the three *Castanopsis carlesii* H. Forest types in subtropical China. *New Forest*, 48(1), 115–135.
- Maccracken, K. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington, VA. 260pp.
- Martínez, L.A., Cuéllar, Y., Páez, N. J., & Pedraza, J.I. (2018). Huella de Carbono del Ciclo de Vida de Plantaciones Forestales Comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*) y Forestal Protectora (*Guadua angustifolia kunth*) en Colombia". *Advances in Cleaner Production, Proceedings of the 7th International Workshop: 21 a 22 de junio. Barranquilla. s.n.*, pp. 88–89.
- Melo, L. V., Sánchez, Ramiro, F., & Martínez, G. (2016). Dificultades del Aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la Flotación. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(4), e4401.
- Meng, S., Liu Q., Zhou, G., Jia, Q., Zhuang, H., & Zhou, H. (2017). Aboveground tree additive biomass equations for two dominant deciduous tree species in Daxing'anling, northernmost China. *Journal of Forest Research*, 22(4), 233–240.
- Mensah, S., Veldtman, R., & Seifert, T. (2017). Allometric models for height and aboveground biomass of dominant tree species in South African Mistbelt forests. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 79(1), 19–30.
- Mota, C. G., & Silva, J. N. M. (2009). Determinação da equação de volume para árvores e para toras na área de Manejo Florestal da fazenda Santa Catarina, rio Anapú, município de Portel, Pará. In: Livro de resumos da 59 reunião da sociedade brasileira para o progresso da ciência (SBPC), SBPC. Belém, Pará.
- Nair, P. K. R. (2011). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agrofor. Syst.* 86, 243–253.
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern México. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434.
- Návar, J. (2010a). Alometría para biomasa en especies arbóreas del noroeste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 507–519.
- Návar, J. (2010). Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead. En Momba, M. & Bux, F. (Eds.). *Biomass* (pp. 27–64). Rijeka, Croatia: Sciyo.
- Omonte M., Sáez-Carrillo, K., Ananías R., & Valenzuela-Hurtado, L. (2019). Variación del contenido de humedad verde y de la densidad básica de la madera en árboles de *Eucalyptus nitens* con dimensiones aserrables. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 27(3), 413–424.
- FAO. (2018). La industria de la madera en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 178 p. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I8335ES/I8335es.pdf>
- Revilla-Chávez, J. M., Abanto-Rodríguez, C., Guerra, W., García, D., Guerra, H., Domínguez, G., & Carmo, I.L.G. (2021). Modelos alométricos para estimar el volumen de madera de *Guazuma crinita* en plantaciones forestales. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 25–31.
- Reynel, C., Pennington, R. T., Pennington, T. D., Flores, C., & Daza, A. (2003). Árboles útiles de la Amazonía Peruana y sus usos: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Lima: Tarea Gráfica Educativa. 509 p. Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/101579362>
- Riofrio, J., Herrero, C., Grijalva, J., & Bravo, F. (2015). Aboveground tree additive biomass models in Ecuadorian highland agroforestry systems. *Biomass and Bioenergy*, 80, 252–259.
- Rivera, J., (2014), variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes alturas de fuste de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) En la zona Tingo María, Tesis para optar el Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Huánuco, Perú, 94p.
- Segura, M., & Andrade, H. (2008). Como construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Agroforestería en las Américas*, 46, 89–96.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre -SERFOR. (2017). Anuario Forestal y de Fauna Silvestre, 2017. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú. 124 p. Recuperado de: <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/Anuario-FFS-2017.pdf>
- Skovsgaard, J. P., & Vanclay, J. K. (2013). Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry*, 86(3), 305–315.
- Solano, D., Vega C., V. H. Eras, & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *CEDAMAZ*, 4, 32–44.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Davila, H., et al. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46–57.
- Soriano-Luna, M. A., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F., & Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423–438
- Tesfaye, M. A., Bravo-Oviedo, A., Bravo, F., & Ruiz-Peinado, R. (2015). Aboveground biomass equations for sustainable production of fuelwood in a native dry tropical afro-montane forest of Ethiopia. *Annals of Forest Science*, 73(2), 411–423.
- Tuisima-Coral, L. L., Hlásná C. P., Weber, C. J., Bohdan, L. (2020). Preliminary Evidence for Domestication Effects on the Genetic Diversity of *Guazuma crinita* in the Peruvian Amazon. *Forests*, 11(795), 1–12.
- Ugarte, L.; Domínguez G. (2010). Índice de sitio (is) de *Calycophyllum spruceanum* Benth. en relación con la altura dominante del rodal en ensayos de plantación en la cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú. *Ecología Aplicada*, 9(2), 101–111.
- Wang, J., Zhang, L., & Feng, Z. (2018). Allometric equations for the aboveground biomass of five tree species in China using the generalized method of moments. *The Forestry Chronicle*, 94(3), 214–220.
- Wang, J., Dai, H., Yousaf, N., Moussaif, M., Deng, Y., Boufellinga, A., Swamy, O., Leone, M., & Riedel, H. (1999). Above and below -ground biomass and nutrient distribution of a paper birch and subalpine fir mixed species stand in the SubBoreal

Spruce zone of British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 130, 17-26.

Yepes, A., Herrera J., Phillips J., Cabrera E., Galindo G., Granados E., Duque Á., Barbosa A., Olarte C., & Cardona M. (2015).

Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia. *Revista de Biología Tropical [en línea]*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 63(1), 69-82.