

TABLA DE VOLUMEN COMERCIAL DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) DE LAS PLANTACIONES EXPERIMENTALES DE ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI, PERÚ

Wilson GUERRA¹ Manuel SOUDRE², Marco CHOTA³

- 1 Tesista. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Carretera Federico Basadre Km 6, Pucallpa, Perú. wilson_ga424@hotmail.com
- 2 Investigador en silvicultura. Programa de Ecosistemas Terrestres. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), sede Ucayali. Carretera Federico Basadre Km 12.400, Pucallpa, Perú. msoudre@hotmail.com
- 3 Docente principal en dendrometría. Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Carretera Federico Basadre Km 6, Pucallpa, Perú. mchota@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fue determinar el modelo matemático que permita estimar el volumen comercial del árbol en pie de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) procedente de plantaciones. El estudio se desarrolló en las plantaciones experimentales con diferentes anchos de faja (5 m, 10 m y 30 m) del Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Padre Abad, Ucayali. Se hicieron mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) en cada árbol en pie y en el árbol talado se midió el largo del fuste cada 2 m, grosor de corteza y altura comercial. La intensidad de muestreo fue de 20%, evaluando 180 árboles que evidenciaron una distribución normal, con esta información se probaron los 16 modelos matemáticos más empleados en la volumetría de especies tropicales. El volumen comercial con corteza (VCcc) y sin corteza (VCsc) fueron correlacionados tanto con el DAP, como con la altura comercial (H), mostrando en ambos casos un alto grado de correlación ($P < 0.05$); el incremento volumétrico regresionó significativamente con la categoría diamétrica ($R^2 = 0.99$; $P < 0.05$). El modelo logarítmico de Schumacher fue el que presentó los mejores indicadores ($> R^2$, $< I.F.$, $< C.V\%$), tanto para VCcc $\text{LN}(V) = -0.49 + 1.80 * \text{LN}(\text{DAP}) + 0.839 * \text{LN}(H)$, como para VCsc $\text{LN}(V) = -0.538 + 1.81 * \text{LN}(\text{DAP}) + 0.836 * \text{LN}(H)$. La forma del árbol fue similar en los tres anchos de faja de las plantaciones, por ello se elaboró una sola tabla de volumen comercial. El modelo matemático de variable combinada logarítmica: $\text{LN}(V) = a + b * \text{LN}(\text{DAP}^2 * H)$, también podría ser probada en futuras investigaciones.

PALABRAS CLAVE: Tablas de volumen, ecuación volumétrica, volumen comercial, plantaciones forestales, bolaina blanca, *Guazuma crinita*.

TABLE OF COMMERCIAL VOLUME OF WHITE BOLAINA (*Guazuma crinita* Mart.) EXPERIMENTAL PLANTINGS OF ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI, PERU

ABSTRACT

The objective was to determine the mathematical model to estimate the volume of standing trees of white bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) from plantations. The study was developed in the experimental plantations with different widths of strip (5 m, 10 m and 30 m) located at the Forest Alexander von Humboldt, Padre Abad, Ucayali. Mensurations of the bread height diameter (BHD) were made in each tree in foot and in the tree felling, the long of the shaft was measured each 2 m, bark thickness and commercial height. The sampling intensity was 20%, evaluating 180 trees that evidenced a normal distribution. With this information, the 16 mathematical models to be the more use in the dasometry of tropical species were proved. The commercial volume with bark (VCcc) and without bark (VCsc) were correlated with the BHD and the commercial height, showing a high correlation ($P < 0.05$); the increment volumetric regrestioned significantly with the category diametrical ($R^2 = 0.99$; $P < 0.05$). The logarithmic model of Schumacher showed the best indicators ($> R^2$, $< I.F.$, $< C.V\%$), for VCcc $\text{LN}(V) = -0.490 + 1.80 * \text{LN}(D) + 0.839 * \text{LN}(H)$, and VCsc $\text{LN}(V) = -0.538 + 1.81 * \text{LN}(D) + 0.836 * \text{LN}(H)$. The shape of the tree was similar in the three strip widths of the plantations, for it alone it is necessary a single table of commercial volume. The mathematical model of logarithmic combined variable: $\text{LN}(V) = a + b * \text{LN}(\text{DAP}^2 * H)$, could also be proven in future investigations.

KEYWORDS: Volume tables, equation volumetric, commercial volume, forest plantations, white bolaina, *Guazuma crinita*.

INTRODUCCIÓN

Bolaina blanca (*G. crinita*) es una especie forestal nativa de crecimiento relativamente rápido, que es cosechada desde los ocho años. El uso diversificado de su madera, sumados a los bajos costos de extracción, transporte y procesamiento industrial (comparado con otras especies nativas tradicionales), le ha permitido la gran aceptación en el mercado regional y nacional, originando un incremento hasta de 500% en los últimos cinco años (IIAP, 2006). La demanda de esta madera es cubierta principalmente de la cuenca del río Aguaytía, debido al fácil acceso a la ciudad de Pucallpa lo que facilita el menor costo de operaciones. Adicionalmente la superficie reforestada con ésta especie fue de 2,000 ha en los últimos siete años, en una gran diversidad de sitios de esta cuenca (IIAP, 2007). No obstante todo esto, aún no se conocen las herramientas que permitan cuantificar de manera confiable el volumen maderable de *G. crinita* antes de ser cosechada. Indudablemente, por su importancia actual en el mercado e incremento en la reforestación

se necesita de una herramienta que permita cuantificar en forma rápida, eficiente y confiable el volumen rollizo de los árboles en pie de *G. crinita*, para lo cual se propone la elaboración de una tabla de volumen comercial con corteza y sin corteza de *G. crinita* para plantaciones. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la ecuación volumétrica que permita estimar el volumen del árbol en pie de *G. crinita* procedente de plantaciones.

MATERIAL Y MÉTODO

ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en terrenos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), ubicado en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt, a 86 km al oeste de la ciudad de Pucallpa, distrito de Irazola, provincia Padre Abad, región Ucayali, entre los 8°22'00" a 9°36'30" latitud sur, 74°48'00" a 75°35'00" longitud oeste y altitud comprendida entre 200 a 340 m.s.n.m (Figura 1).

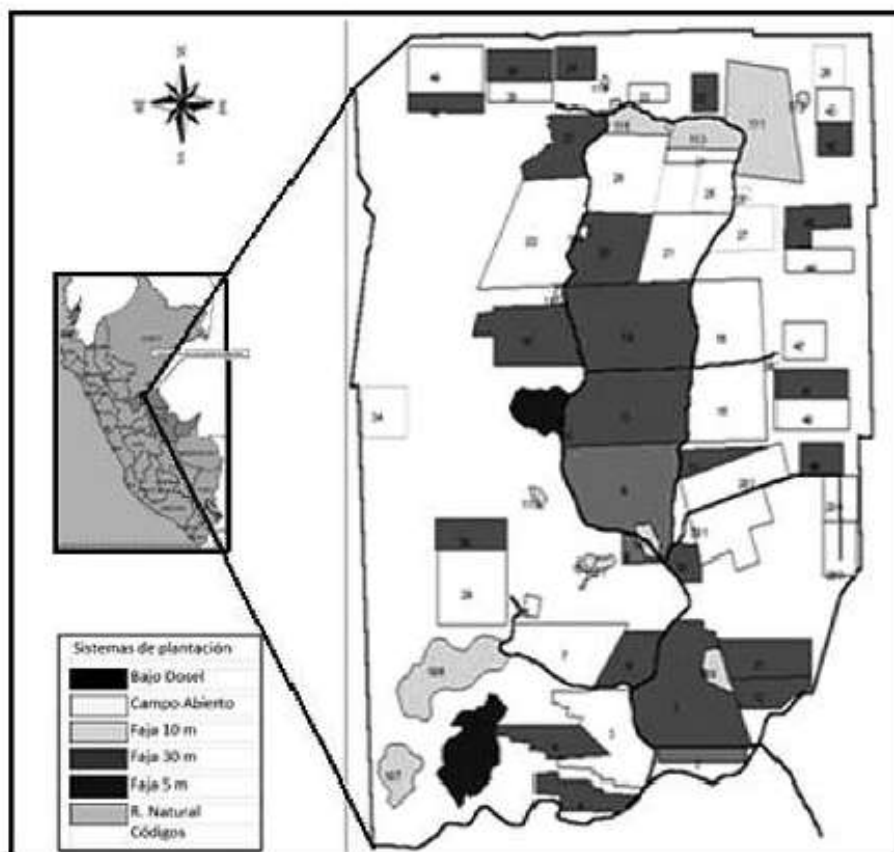


Figura 1. Localización de los sistemas de plantación de *Guazuma crinita* evaluados en la estación experimental A. Von Humboldt, Ucayali.

POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

A partir de una población total de 933 árboles de *G. crinita* establecidos en plantaciones de tres anchos de faja (5 m, 10 m y 30 m) de 18 años de edad, se seleccionó aleatoriamente una muestra de 180 árboles, con la siguiente distribución: 60 árboles de fajas de 5 m, 90 árboles de fajas de 10 m y 30 árboles de fajas de 30 m. El tamaño de la muestra se determinó con la siguiente fórmula: $n = (t^2 CV^2) / E^2$, considerando que el valor de "t" fue hallado según tabla T, al $P=0.05$ y con grados de libertad = n; el coeficiente de variación (C.V %) y error estándar en porcentaje (E %).

MEDICIÓN Y REGISTRO DE DATOS

En cada árbol se realizaron mediciones directas del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial (H); así como mediciones de los diámetros y espesores de cortezas en secciones de cada 2 m a lo largo de todo el fuste. Las mediciones diamétricas del fuste fueron previas al tumbado de los árboles, con cinta métrica a intervalos constantes de 2 m. En cada sector correspondiente a la medida de los diámetros, fueron liberadas porciones de corteza 1 cm² para facilitar la medición del diámetro sin corteza con un calibrador tipo "Vernier". La altura comercial del árbol caído fue medida hasta el punto base de la copa, incluso, la última sección podía ser menor a 2 m. El volumen sin corteza fue estimado de la diferencia entre los diámetros con y sin corteza.

El formato empleado siguió los parámetros descritos en el formulario del software MIRASILV (diseñado para ejecutar y manejar información sobre recursos arbóreos en producción y silvicultura). Los instrumentos de medición empleados fueron: formularios, cintas métricas (3 m y 30 m), Vernier, motosierra, machetes y equipo portapapeles.

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información fue procesada determinando las siguientes variables:

- Volumen comercial hasta el punto base de copa.
- Volumen de corteza en porcentaje.
- Factor de forma.
- Volumen real, con: $VRT = VRs1 + VRs2 + VRs3 + \dots + VRs13$;

Donde:

$$VRs1 = \frac{\pi}{4} (D\bar{D})^2 \times 2 \text{ m (Smalian)} \rightarrow \begin{matrix} \text{A partir de 30 cm} \\ \text{(altura del tocón)} \end{matrix}$$

VRs1 = Volumen rollizo de cada sección de 2 m.

D \bar{D} = Diámetro promedio

Las regresiones lineales se realizaron con el software del programa estadístico MINITAB (software diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas).

Los modelos probados se muestran en la Tabla 1. Para la selección del mejor modelo debió cumplirse con las siguientes condiciones: a) el más alto coeficiente de determinación (R²-Ajust.); b) el más alto valor de F (prueba de Fisher); c) el valor más bajo de coeficientes de variabilidad (C.V %); y d) el valor más bajo de Índice de Fumival (I.F). Posteriormente, se probó la existencia de diferencias significativas entre anchos de faja (5 m, 10 m y 30 m), a fin de determinar si es posible realizar una sola tabla para los tres anchos de faja de árboles procedentes de plantaciones, para ello se realizó el análisis univariado (ANVA) probando la siguiente hipótesis: $S^2_1 = S^2_2 = S^2_3$; donde: H. Observado = S^2_{Max} / S^2_{Min} ; de acuerdo a la condición: 1) $H_{obs} < H_{1-\alpha}$ A Ho, y 2) $H_{obs} > H_{1-\alpha}$ A Ho.

Adicionalmente, se realizó la prueba de bondad de ajuste, al presentarse el caso de igualdad estadística entre dos modelos matemáticos (Schumacher y variable combinada logarítmica), bajo esta condición, se considero como el modelo más representativo aquel que tuvo el menor valor en la suma de residuales al cuadrado (SRC); y también el que tuvo el valor de Durbin Watson (D) más cercano a 2.

Finalmente, la validación de los modelos se realizó para el caso de la existencia de dos o más modelos con buen y similar estadígrafo: a) Prueba de sesgo (desviación agregada): no debe exceder el 1%; b) Error o desviación estándar de la estimación: menor desviación de los volúmenes estimados de los reales, es decir el dato menor; y c) Desviación media (DM %): indicaría la variabilidad esperada en los datos utilizados, en ocasiones puede alcanzar el 10%.

Tabla 1. Modelos estadísticos probados para tabla de volumen de *Guazuma crinita* de plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

NÚMERO	ECUACIÓN DE LOS MODELOS	MODELOS (NOMBRE)
1	$V = a + b(D)$	Berkhout
2	$V = a + b(D) + c(D^2)$	HoenaId-Kronn
3	$V = a + b(D^2)$	Kopecky-Gehrhardt
4	$V = a + b(D^2 \cdot H)$	Variable combinada
5	$V = a + b(D^2) + c(H) + d(D^2 \cdot H)$	Stoate
6	$V = a + b(D^2) + c(D \cdot H) + d(D^2 \cdot H)$	Meyer
7	$LN(V) = a + b LN(D)$	Husch
8	$LN(V) = a + b LN(D) + c LN(H)$	Schumacher-Hall
9	$V/D^2 = a + b(1/D^2) + c(1/D)$	Otárola, 2002
10	$V/D^2 = a + b(1/D^2)$	Otárola, 2002
11	$V/D^2 \cdot H = a + b(1/D^2 \cdot H)$	Otárola, 2002
12	$V/D^2 = a + b(1/D^2) + c(H/D^2) + d(H)$	Otárola, 2002
13	$V/D^2 \cdot H = a + b(1/D^2 \cdot H) + c(1/H) + d(1/D^2)$	Otárola, 2002
14	$V/D^2 = a + b(1/D^2) + c(H/D) + d(H)$	Otárola, 2002
15	$V/D^2 \cdot H = a + b(1/D^2 \cdot H) + c(1/H) + d(1/D)$	Otárola, 2002
16	$LN(V) = a + b LN(D^2 \cdot H)$	Variable Combinada Log.

V = volumen (m³); D = diámetro normal a 1.30 metros (m); H = altura comercial (m); a, b, c, = coeficientes de correlación, LN(V) = logaritmo natural del volumen.

RESULTADOS

La curva describe un comportamiento regular ó distribución normal, donde el mayor número de árboles (n = 33) están presentes en la clase diamétrica de entre 22.3 y 26.6 cm; por tanto, la muestra de árboles de *G. crinita* seleccionados representaría apropiadamente la distribución natural de la población (Figura 2).

En la Tabla 2, se observa la conformación del tamaño de la muestra, así como los promedios del DAP, altura comercial, volumen comercial con y sin corteza, los valores del factor de forma y el porcentaje de corteza distribuidos por cada ancho de faja. Al comparar el porcentaje de corteza con la altura comercial ($Y = -0.0014x^2 - 0.0321x + 6.5042$) y también con el DAP ($Y = 0.0016x^2 - 0.1074x + 8.1791$), se evidencia relación no significativa ($R^2 = 0.0028\%$ y $R^2 = 0.0317\%$; $P > 0.05$). Prodán *et al.* (1997), aseguran que el espesor de corteza varía notablemente entre especies y muestra una relación cambiante con la altura del fuste, además mencionan que la medición de la corteza en árboles y secciones es larga y difícil (en algunas especies es casi imposible) recomendando

que es preferible la estimación directa para determinar el diámetro sin corteza.

La Figura 3 muestra la relación altamente significativa ($R^2 = 0.99$; $P < 0.05$) entre el volumen comercial con corteza (VCcc) y el intervalo diamétrico (I.D), mostrando una tendencia polinómica, expresado por la función: $VCcc = 0.008(D^2) + 0.124(D) - 0.059$, la cual demuestra que el volumen comercial con corteza para *G. crinita* depende en 99% del diámetro y el 1%, se debe a otros factores.

La Figura 4 muestra la relación altamente significativa ($R^2 = 0.99$; $P < 0.05$) entre el volumen de corteza (Vc) y el intervalo diamétrico (I.D), mostrando una tendencia polinómica, expresada por la función: $Vc = 0.0004(D^2) + 0.009(D) - 0.0047$, la cual demuestra, al igual que el caso anterior, que el volumen de corteza para *G. crinita* también depende en 99% del diámetro y el 1%, se debe a otros factores.

Por tanto, se demuestra que independientemente tanto el volumen comercial y la corteza están relacionados de forma significativa con el diámetro ($P < 0.05$).

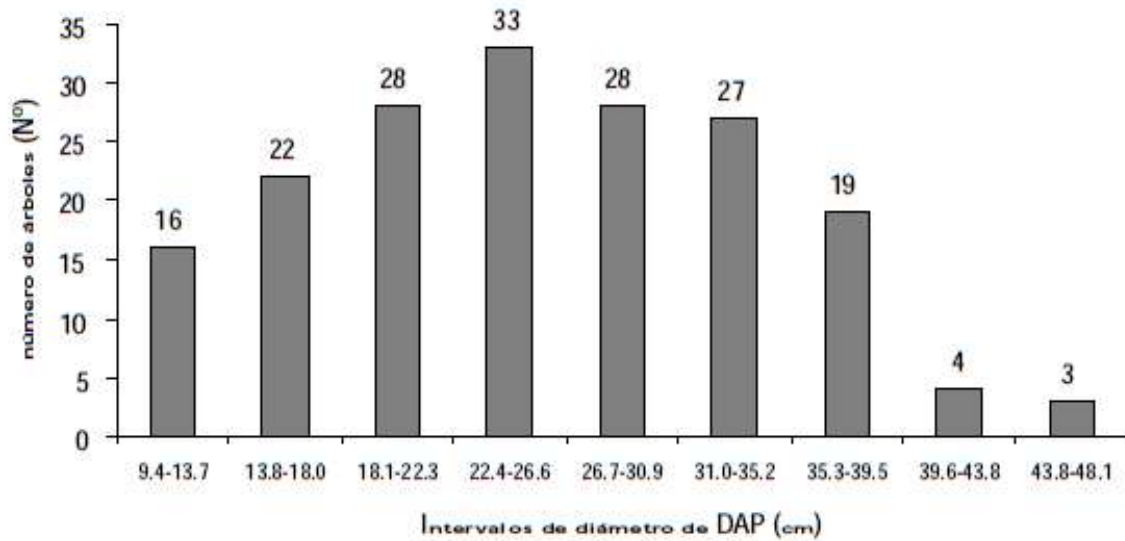


Figura 2. Distribución del número de árboles por clases diamétrica (DAP) *Guazuma crinita* de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali

Tabla 2. Valores dasométricos promedio de árboles de *Guazuma crinita* procedentes de plantaciones (n= 180) de tres anchos de faja de A. von Humboldt, Ucayali.

Ancho faja (m)	Tamaño muestra (Nº)	DAP (cm)	H (m)	V _{ccc} (m ³)	V _{esc} (m ³)	Factor forma (r.f)	Porcent. corteza (%)
5 m	60	28.26	16.57	0.7817	0.7338	0.6687	6.31
10 m	90	22.38	16.05	0.5115	0.4814	0.7388	6.32
30 m	30	31.26	18.03	0.8565	0.7895	0.6127	7.97
Promedio	180	27.30	16.88	0.6590	0.6168	0.6944	6.59

DAP = Diámetro a la altura del pecho; H = Altura comercial; V_{ccc} = Volumen comercial con corteza;
V_{esc} = Volumen comercial sin corteza; n = tamaño de la muestra.

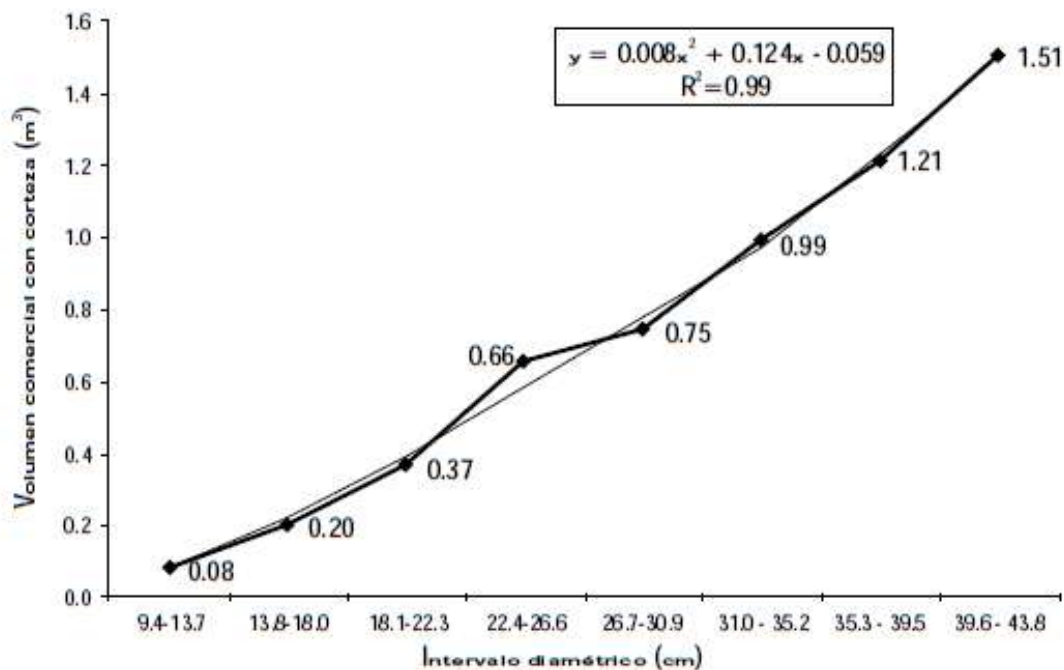


Figura 3. Relación entre el volumen comercial con corteza (VCc) y el intervalo diamétrico (I.D) en arboles de *Guazuma crinita* de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

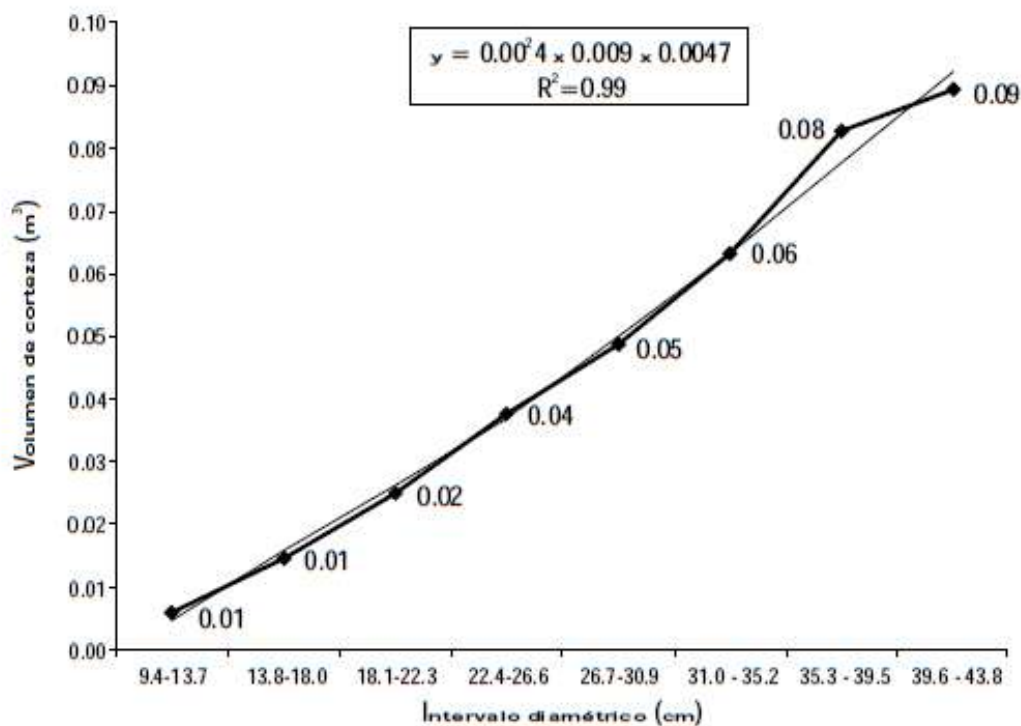


Figura 4. Relación entre el volumen de corteza (Vc) y el intervalo diamétrico (I.D) en arboles de *Guazuma crinita* de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

En la Tabla 3, se observa los resultados del análisis de igualdad de varias variancias de las variables dasométricas por ancho de faja; procediendo a la aplicación de la prueba de Bartlet con X^2 obs, para la variable de DAP y volumen comercial.

1. Para el DAP: X^2 obs < X^2 1- α AHo. Se probó la existencia de igualdad de variancias entre los DAPs de los anchos de faja 5 m, 10 m y 30 m.
2. Para volumen comercial con corteza (VCcc): X^2 obs < X^2 1- α AHo. También se probó la existencia de igualdad de variancias entre los volúmenes comerciales de los anchos de faja 5 m, 10 m y 30 m.
3. Para la altura comercial (H) y factor de forma (f.f): No fue necesario el uso de la prueba de Bartlet, debido a que se rechaza la hipótesis (RHo), por lo tanto, no existe igualdad variancias entre las alturas comerciales, ni factores de forma de los árboles de *G. crinita* de los tres sistemas de plantación (fajas). Por tanto, existe igualdad de variancias para las variables DAP y VCcc entre las muestras de plantaciones con anchos de faja de 5 m, 10 m y 30 m y en consecuencia, es posible usar los valores dasométricos de ésta especie para generar una función general de volumen para los mismos tres anchos de faja.

El ahusamiento del diámetro en función a la altura del fuste presenta, en los tres anchos de faja, tendencias polinomiales y muestra elevados coeficientes de determinación ($R^2 = 91.0, 91.7, 92.3$ y 94.3), lo que indica que la forma del fuste se mantiene en los tres anchos de faja (Tabla 4).

Los comparativos de los volúmenes comerciales con y sin corteza con el DAP y altura comercial, muestran relaciones altamente significativas ($P < 0.05$), excepto en el comparativo de altura comercial versus DAP (Tabla 5).

El Factor de Forma (f.f) muestra la reducción volumétrica ó conicidad de la forma del fuste (Prodán *et al*, 1997). Este factor también muestra que la forma del fuste de esta especie se mantiene entre los anchos de faja, este hecho se ve corroborado en el análisis de variancia de las variables estudiadas (Tabla 3); así como en el análisis del Coeficiente de Forma (C.F) (Tabla 4). El incremento volumétrico es el mismo entre los anchos de faja, por ello se usó una misma función de estimación volumétrica comercial con corteza (Anexo 1) y sin corteza (Anexo 2) para cualesquiera de los tres sistemas de plantación (5, 10 y 30m).

El modelo de Schumacher fue la ecuación que mostró los mejores resultados a las pruebas, según los criterios conjuntos de selección (estadígrafos de selección, prueba de bondad de ajuste y validación de modelos), como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 3. Resultados de la prueba de igualdad de variancias encontrados *Guazuma crinita* para cuatro variables entre anchos de faja 5 m, 10 m y 30 m de las plantaciones de A. Von Humboldt, Ucayali.

VARIABLES	ANCHO FAJA	ANÁLISIS VARIANCIAS	HIPÓTESIS	H.OBS	CONDICIÓN
DAP	5m	$S^2_1 = 92.82$	$S^2_1 = S^2_2 = S^2_3$	$H.Obs = \frac{92.82}{43.02}$	2.1575 < 2.40 => Aho. 2.1575 > 1.02 => RHo. AHo (conclusión)
	10m	$S^2_2 = 43.02$			
	30m	$S^2_3 = 46.99$			
Altura comercial	5m	$S^2_1 = 29.42$	$S^2_1 = S^2_2 = S^2_3$	$H.Obs = \frac{29.42}{8.28}$	3.549 > 2.40 => Rho. 3.549 > 1.02 => RHo. RHo (conclusión)
	10m	$S^2_2 = 21.92$			
	30m	$S^2_3 = 8.28$			
Volumen comercial	5m	$S^2_1 = 0.236$	$S^2_1 = S^2_2 = S^2_3$	$H.Obs = \frac{0.236}{0.120}$	1.962 < 2.40 => AHo. 1.962 > 1.02 => RHo. AHo (conclusión)
	10m	$S^2_2 = 0.151$			
	30m	$S^2_3 = 0.120$			
Factor de forma	5m	$S^2_1 = 0.012$	$S^2_1 = S^2_2 = S^2_3$	$H.Obs = \frac{0.135}{0.011}$	11.51 > 2.40 => RHo. 11.51 > 1.02 => RHo. RHo (conclusión)
	10m	$S^2_2 = 0.135$			
	30m	$S^2_3 = 0.011$			

Comparación de varias variancias con ($n \neq$ diferentes). AHo: se acepta la igualdad de variancias; Rho: se rechaza igualdad de variancia.

Tabla 4. Resultados del Coeficiente de Forma (CF) de *Guazuma crinita* calculado a través de una serie de ahusamiento, según los tres anchos de faja de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

LONGITUD ARBOL (m)	SERIE AHUSAMIENTO DEL DIÁMETRO POR ANCHO DE FAJA			
	5 m	10 m	30 m	GENERAL
0.3	1.800	2.017	2.944	1.889
1.3	1.761	1.345	2.022	1.596
2.3	1.184	1.052	1.840	1.227
4.3	0.968	0.843	1.410	0.979
6.3	0.943	0.771	1.193	0.899
8.3	0.947	0.698	0.979	0.828
10.3	0.998	0.700	1.132	0.872
12.3	0.872	0.647	1.001	0.781
14.3	0.716	0.543	0.911	0.662
16.3	0.568	0.431	0.789	0.537
18.3	0.520	0.295	0.498	0.404
20.3	0.141	0.161	0.178	0.157
22.3	0.034	0.040	0.000	0.031
24.3	-0.003	0.011	0.000	0.005
Ecuación Matemática	$Y = 0.001(x^2) - 0.1416(x) + 1.8075$	$Y = 0.0074(x^2) - 0.2304(x) + 1.876$	$Y = 0.0085(x^2) - 0.3131(x) + 2.7935$	$Y = 0.0036(x^2) - 0.1803(x) + 1.8707$
Coefficiente R ²	R ² = 91.69	R ² = 91.04	R ² = 92.28	R ² = 94.38

(0.3, 1.3, 2.3,....., n^m longitud del árbol en metros).

Tabla 5. Prueba de correlación de las variables dasométricas (P<0.05) para *Guazuma crinita* de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

VARIABLES EN CORRELACIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	R ²	R	R.TAB.	SIGNIF.
H - dap	$H = 37.643 \times dap^{0.6193}$	39.28	0.626	0.1476	
VCC - dap	$VCC = 12.85 \times dap^{2.3105}$	91.18	0.954	0.1476	***
VCC - H	$VCC = 0.0021 \times H^{1.98}$	64.92	0.805	0.1476	**
VSC - dap	$VSC = 12.102 \times dap^{2.3246}$	91.20	0.954	0.1476	***
VSC - H	$VSC = 0.0019 \times H^{1.9819}$	64.71	0.804	0.1476	**

H: altura comercial (m); DAP: diámetro altura del pecho (m); VCC: volumen comercial con corteza (m³); VSC: volumen comercial sin corteza (m³); R²: Coeficiente de determinación; R: coeficiente de correlación.

Tabla 6. Criterios de selección para determinar el mejor modelo para la tabla de volumen comercial con y sin corteza de *Guazuma crinita* de las plantaciones de A. von Humboldt, Ucayali.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	PARÁMETROS	VCC		VSC	
		Schumacher	Var. Comb. Log	Schumacher	Var. Comb. Log
Estadísticos de selección	R ²	98.3	98.2	98.2	98.1
	IF	0.00648	0.00653	0.00634	0.00640
	CV %	17.87	17.92	19.57	19.65
Prueba bondad y ajuste	SCR	2.360	2.390	2.474	2.511
	D	1.855	1.851	1.842	1.844
Validación de modelos	EMS	0.082	0.080	0.088	0.087
	Desv. agr %	0.288	0.248	6.370	6.340
	Desv. me %	51.74	44.52	1224	1218

Los valores sombreados fueron los mejores, de acuerdo a cada parámetro del volumen comercial con y sin corteza.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los volúmenes comerciales de árboles de *G. crinita* con corteza (VCC) procedentes de plantaciones, pueden ser estimados de forma confiable ($P < 0.05$) con el modelo logarítmico de Schumacher: $LN(V) = -0.490 + 1.80 * LN(D) + 0.839 * LN(H)$, ($R^2 = 98.3\%$, $IF = 0.006485$). Del mismo modo, los volúmenes comerciales de árboles de bolaina blanca sin corteza (VSC) procedentes de plantaciones, pueden ser estimados ($P < 0.05$) con el modelo logarítmico de Schumacher: $LN(V) = -0.538 + 1.81 * LN(D) + 0.836 * LN(H)$, ($R^2 = 98.2\%$, $IF = 0.006348$). Al respecto, un estudio realizado en árboles de *G. crinita* regenerados naturalmente en los bosques secundarios en San Alejandro, Ucayali, también concluyó que la ecuación de mejor ajuste fue la de Schumacher (Estrada, 1996). Estudios realizados en otras especies demostraron que la forma de los árboles tiene mayormente tendencia logarítmica, tanto en bosque natural y en plantaciones, siendo la ecuación de mayor ajuste la de Schumacher (Ugalde, 1981; Ugalde & Otárola, 1981; Sánchez, 1985; Vásquez & Ugalde, 1995; Otárola & Linares 2002).

La forma del fuste de los árboles de *G. crinita* de los tres sistemas de plantación (5, 10 y 30 m) son similares estadísticamente ($P < 0.05$); por tanto, es confiable usar la misma función volumétrica para los árboles en pie de *G. crinita* en cualquiera de los tres sistemas. Este hallazgo fue ratificado por (Lojan, 1966; citado por Pinedo, 2004), en consecuencia, una misma tabla de volumen podría aplicarse a sectores donde las variables dasométricas tengan igual relación de forma.

El factor de forma promedio para los árboles de *G. crinita* de 18 años, establecidos en tres sistemas de plantación fue de 0.69. No obstante, este valor ocuparía una posición intermedia frente a otros dos casos extremos de factor de forma, obtenidos para la misma especie y en zonas cercanas del ámbito de estudio; por un lado, el valor más bajo fue de 0.59 y se calculó a partir de 122 árboles de *G. crinita* procedentes de cuatro bosques secundarios de San Alejandro (Estrada 1996); de otro lado, el factor forma más alto fue de 0.78 y se obtuvo evaluando 30 árboles de *G. crinita* de plantación de 8 años, a distanciamiento de 5 x 5 m (Samaniego, 2009). Es probable que la alta densidad de regeneración natural y la menor edad de desarrollo (Los agricultores cosechan árboles de edad cada vez menor a 8 años, debido a la presión del mercado) hayan mermado sobre el factor de forma obtenido en bosque secundario (0.59), en consecuencia los máximos valores alcanzados habrían sido promovidos por una mejor condición de manejo (mayor distanciamiento y edad) de las plantaciones.

La variable combinada logarítmica: $LN(V) = a + b * LN(D^2 * H)$ fue la ecuación que obtuvo una segunda posición con los mejores resultados a las pruebas, después del modelo de Schumacher; por tanto, se recomienda considerarla en el desarrollo de futuras investigaciones sobre tablas de volumen de comercial de árboles en pie procedente de plantaciones para otras especies nativas que incrementen en el futuro su stock de reforestación en la Amazonía peruana.

La representatividad del tamaño de la muestra evaluada ($n=180$), es fiable considerando que fue calculada matemáticamente en función de los rasgos de variabilidad de la población de los árboles de *G. crinita*. Considerando el punto de vista económico, para la evaluación de otras especies forestales, los tamaños de muestras fueron muy similares (Estrada, 1996; Prodán *et al.*, 1997). En el caso de rodales coetáneos y homogéneos se usaron muestras de 50 a 100 árboles (Cailleux, 1980, citado por Segura & Venegas, 1999). En un estudio sobre el desarrollo y uso de tablas de volumen para muchas especies, encontraron que la mayor parte del tamaño de las muestras estaba realizadas con valores entre los 20 y 314 árboles muestra, aunque no se observó la aplicación de métodos para determinar, a-priori, el tamaño de la muestra a seleccionarse (Fucaraccio & Staffieri, 1999). Esto fue corroborado, incluso, por los 151 árboles muestreados para la determinación de la fórmula de estimación de volúmenes en un bosque tropical húmedo en San Isidro de Peñas blancas, Alajuela, Costa Rica (Loján, 1966, citado por Segura & Venegas, 1999).

La longitud de 2 m por sección es confiable para *G. crinita*, solo cuando el árbol no presenta ningún defecto de forma en el fuste. Lo propio fue realizado con la especie denominada tomillo (*Cedrelinga cateniformis*) (Otárola & Linares, 2002). La realización de mediciones de diámetro a secciones homogéneas de 2 m viene siendo una práctica usual en el trópico (Segura & Venegas, 1999; Ugalde & Otárola, 1981). Aunque en el pasado, se consideró mediciones de diámetro a cada 2.5 m, equivalente a los "tucos" comerciales de *G. crinita* (Estrada, 1996). No obstante, enfatizaron que es necesario cubicar con secciones de 1 a 2 m cuando se trata de fines científicos (Prodán *et al.*, 1997).

AGRADECIMIENTOS

De forma muy especial a Santiago Ushiñahua, Tulio Amasifuén, Ángel Salazar e Ymber Flores, del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), por las facilidades logísticas en la fase de campo del presente estudio; a Julio Ugarte, del Centro Agroforestal Mundial (ICRAF), por sus valiosas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Estrada, R. 1996. Estudio comparativo de dos modelos estadísticos para tablas de volumen comercial de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart) en la zona de San Alejandro. Tesis de Ing. Forestal Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú. 107pp.

- Fucaraccio, F.; Staffieri, G. 1999. Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la república Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata. 27pp.
- IIAP. 2006. Informe anual. Sub-Proyecto Transferencias tecnológicas de plantaciones y manejo de bosques aluviales en Ucayali. Programa de Ecosistemas Terrestres. IIAP, Ucayali. 70pp.
- IIAP. 2007. Informe anual. Sub-Proyecto Silvicultura de bolaina en Plantaciones y Sucesiones Secundarias en Ucayali. Programa de Ecosistemas Terrestres. IIAP, Ucayali. 76pp.
- Otárola, E.; Linares, Carlos. 2002. Tablas de volumen total y comercial de *Cedrelinga cateniformis* Ducke tomillo para plantaciones en Loreto Perú. Folia Amazónica, 13(1-2): 151-174pp.
- Prodán, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 586pp.
- Pinedo, A. 2004. Estimación de volumen total de Capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) en plantaciones al tercer año de establecimiento en la cuenca del Río Aguaytía. Tesis de Ing. Forestal Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú. 72pp.
- Samaniego, D. 2009. *Estimación de la cantidad de carbono capturado por Guazuma crinita en una plantación de ocho años en Ucayali*. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 95pp.
- Sanchez, C. 1985. Elaboración de una tabla de volumen standard para Caoba (*Swietenia macrophylla* G. King) en Saposoa, San Martín. Tesis Ing. Forestal Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos. 107pp.
- Segura, M.; Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para Encino, Roble y otras especies del Bosque Pluvial Montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Turrialba. 46pp.
- Ugalde, L. 1981. Tablas de volumen para Pino (*Pinus Caribaea* Var. Hondurensis) en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Programa de Recursos Naturales Renovables. Turrialba, Costa Rica. 7pp.

Anexo 1. Tabla de volumen comercial con corteza (m³) para botaina blanca (*Guzuma crinita* Mart.): $Ln(V) = -0.49 + 1.80 * Ln(DAP) + 0.839 * Ln(H)$

σ_{exp} (m)	ALTURA COMERCIAL (m)																							
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0.14	0.045	0.057	0.069	0.080	0.091	0.102	0.112	0.123	0.133	0.143	0.153	0.163	0.173	0.182	0.192	0.201	0.210	0.220	0.229	0.238	0.247	0.256	0.265	
0.15	0.051	0.064	0.078	0.091	0.103	0.115	0.127	0.139	0.151	0.162	0.173	0.184	0.195	0.206	0.217	0.228	0.238	0.249	0.259	0.269	0.280	0.290	0.300	
0.16	0.057	0.072	0.087	0.102	0.116	0.130	0.143	0.156	0.169	0.182	0.195	0.207	0.219	0.232	0.244	0.256	0.268	0.279	0.291	0.303	0.314	0.326	0.337	
0.17	0.063	0.081	0.097	0.113	0.129	0.144	0.159	0.174	0.189	0.203	0.217	0.231	0.245	0.258	0.272	0.285	0.298	0.312	0.325	0.338	0.350	0.363	0.376	
0.18	0.070	0.089	0.108	0.126	0.143	0.160	0.177	0.193	0.209	0.225	0.241	0.256	0.271	0.286	0.301	0.316	0.331	0.345	0.360	0.374	0.388	0.402	0.416	
0.19	0.077	0.099	0.119	0.139	0.158	0.176	0.195	0.213	0.231	0.248	0.265	0.282	0.299	0.316	0.332	0.348	0.365	0.381	0.397	0.412	0.428	0.444	0.459	
0.20	0.085	0.108	0.130	0.152	0.173	0.194	0.214	0.233	0.253	0.272	0.291	0.309	0.328	0.346	0.364	0.382	0.400	0.417	0.435	0.452	0.469	0.486	0.503	
0.21	0.093	0.118	0.142	0.166	0.189	0.211	0.233	0.255	0.276	0.297	0.318	0.338	0.358	0.378	0.398	0.417	0.437	0.456	0.475	0.494	0.512	0.531	0.550	
0.22	0.101	0.128	0.155	0.180	0.205	0.230	0.254	0.277	0.300	0.323	0.345	0.367	0.389	0.411	0.432	0.454	0.475	0.496	0.516	0.537	0.557	0.578	0.598	
0.23	0.109	0.139	0.168	0.196	0.223	0.249	0.275	0.300	0.325	0.350	0.374	0.398	0.422	0.445	0.468	0.491	0.514	0.537	0.559	0.582	0.604	0.626	0.647	
0.24	0.118	0.150	0.181	0.211	0.240	0.269	0.297	0.324	0.351	0.378	0.404	0.430	0.455	0.481	0.506	0.531	0.555	0.580	0.604	0.628	0.652	0.675	0.699	
0.25	0.127	0.162	0.195	0.227	0.259	0.289	0.319	0.349	0.378	0.406	0.435	0.462	0.490	0.517	0.544	0.571	0.598	0.624	0.650	0.676	0.701	0.727	0.752	
0.26	0.136	0.173	0.209	0.244	0.277	0.310	0.343	0.374	0.405	0.436	0.466	0.496	0.526	0.555	0.584	0.613	0.641	0.669	0.697	0.725	0.753	0.780	0.807	
0.27	0.146	0.186	0.224	0.261	0.297	0.332	0.367	0.401	0.434	0.467	0.499	0.531	0.563	0.594	0.625	0.656	0.686	0.716	0.746	0.776	0.806	0.835	0.864	
0.28	0.156	0.198	0.239	0.279	0.317	0.355	0.391	0.428	0.463	0.498	0.533	0.567	0.601	0.634	0.667	0.700	0.733	0.765	0.797	0.829	0.860	0.891	0.922	
0.29	0.166	0.211	0.255	0.297	0.338	0.378	0.417	0.456	0.493	0.531	0.568	0.604	0.640	0.676	0.711	0.746	0.781	0.815	0.849	0.883	0.916	0.950	0.983	
0.30	0.176	0.224	0.271	0.315	0.359	0.402	0.443	0.484	0.524	0.564	0.603	0.642	0.680	0.718	0.756	0.793	0.830	0.866	0.902	0.938	0.974	1.009	1.044	
0.31	0.187	0.238	0.287	0.335	0.381	0.426	0.470	0.514	0.556	0.599	0.640	0.681	0.722	0.762	0.802	0.841	0.880	0.919	0.957	0.995	1.033	1.071	1.108	
0.32	0.198	0.252	0.304	0.354	0.403	0.451	0.498	0.544	0.589	0.634	0.678	0.721	0.764	0.807	0.849	0.891	0.932	0.973	1.013	1.054	1.094	1.134	1.173	
0.33	0.209	0.266	0.321	0.374	0.426	0.477	0.526	0.575	0.623	0.670	0.716	0.762	0.808	0.853	0.897	0.941	0.985	1.028	1.071	1.114	1.156	1.198	1.240	
0.34	0.221	0.281	0.339	0.395	0.450	0.503	0.555	0.607	0.657	0.707	0.756	0.804	0.852	0.900	0.947	0.993	1.039	1.085	1.130	1.175	1.220	1.264	1.308	
0.35	0.233	0.296	0.357	0.416	0.474	0.530	0.585	0.639	0.692	0.745	0.796	0.847	0.898	0.948	0.997	1.046	1.095	1.143	1.191	1.238	1.285	1.332	1.378	
0.36	0.245	0.312	0.376	0.438	0.498	0.557	0.615	0.672	0.728	0.783	0.838	0.892	0.945	0.997	1.049	1.101	1.152	1.203	1.253	1.303	1.352	1.401	1.450	
0.37	0.257	0.327	0.395	0.460	0.524	0.586	0.646	0.706	0.765	0.823	0.880	0.937	0.992	1.048	1.102	1.156	1.210	1.263	1.316	1.369	1.421	1.472	1.523	
0.38	0.270	0.344	0.414	0.483	0.549	0.614	0.678	0.741	0.803	0.863	0.923	0.983	1.041	1.099	1.157	1.213	1.270	1.325	1.381	1.436	1.490	1.545	1.598	
0.39	0.283	0.360	0.434	0.506	0.576	0.644	0.711	0.776	0.841	0.905	0.968	1.030	1.091	1.152	1.212	1.271	1.330	1.389	1.447	1.505	1.562	1.618	1.675	
0.40	0.296	0.377	0.454	0.529	0.602	0.674	0.744	0.813	0.880	0.947	1.013	1.078	1.142	1.205	1.268	1.331	1.392	1.454	1.514	1.575	1.635	1.694	1.753	
0.41	0.309	0.394	0.475	0.553	0.630	0.705	0.778	0.850	0.920	0.990	1.059	1.127	1.194	1.260	1.326	1.391	1.456	1.520	1.583	1.646	1.709	1.771	1.833	
0.42	0.323	0.411	0.496	0.578	0.658	0.736	0.812	0.887	0.961	1.034	1.106	1.177	1.247	1.316	1.385	1.453	1.520	1.587	1.653	1.719	1.785	1.849	1.914	
0.43	0.337	0.429	0.517	0.603	0.686	0.768	0.847	0.926	1.003	1.079	1.154	1.228	1.301	1.373	1.445	1.516	1.586	1.656	1.725	1.794	1.862	1.929	1.997	
0.44	0.351	0.447	0.539	0.628	0.715	0.800	0.883	0.965	1.045	1.124	1.202	1.279	1.356	1.431	1.506	1.580	1.653	1.726	1.798	1.869	1.940	2.011	2.081	

Anexo 2. Tabla de volumen comercial sin corteza (VSC) para bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.): $\ln(V) = -0.538 + 1.81 * \ln(d_{ap}) + 0.83 * \ln(H)$

d_{ap} (m)	ALTURA COMERCIAL (m)																							
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0.14	0.042	0.053	0.064	0.074	0.085	0.095	0.104	0.114	0.123	0.133	0.142	0.151	0.160	0.169	0.178	0.186	0.195	0.203	0.212	0.220	0.229	0.237	0.245	
0.15	0.047	0.060	0.072	0.084	0.096	0.107	0.118	0.129	0.140	0.150	0.161	0.171	0.181	0.191	0.201	0.211	0.221	0.231	0.240	0.250	0.259	0.268	0.278	
0.16	0.053	0.067	0.081	0.095	0.108	0.120	0.133	0.145	0.157	0.169	0.181	0.192	0.204	0.215	0.226	0.237	0.248	0.259	0.270	0.281	0.291	0.302	0.312	
0.17	0.059	0.075	0.091	0.106	0.120	0.134	0.148	0.162	0.175	0.189	0.202	0.215	0.227	0.240	0.252	0.265	0.277	0.289	0.301	0.313	0.325	0.337	0.348	
0.18	0.066	0.084	0.101	0.117	0.133	0.149	0.164	0.180	0.195	0.209	0.224	0.238	0.252	0.266	0.280	0.294	0.307	0.321	0.334	0.347	0.360	0.373	0.386	
0.19	0.072	0.092	0.111	0.129	0.147	0.164	0.181	0.198	0.215	0.231	0.247	0.262	0.278	0.293	0.309	0.324	0.339	0.354	0.368	0.383	0.397	0.412	0.426	
0.20	0.079	0.101	0.122	0.142	0.161	0.180	0.199	0.217	0.235	0.253	0.271	0.288	0.305	0.322	0.339	0.355	0.372	0.388	0.404	0.420	0.436	0.452	0.468	
0.21	0.087	0.110	0.133	0.155	0.176	0.197	0.217	0.237	0.257	0.277	0.296	0.315	0.333	0.352	0.370	0.388	0.406	0.424	0.442	0.459	0.476	0.494	0.511	
0.22	0.094	0.120	0.145	0.169	0.192	0.214	0.237	0.258	0.280	0.301	0.322	0.342	0.363	0.383	0.403	0.422	0.442	0.461	0.480	0.499	0.518	0.537	0.556	
0.23	0.102	0.130	0.157	0.183	0.208	0.232	0.256	0.280	0.303	0.326	0.349	0.371	0.393	0.415	0.436	0.458	0.479	0.500	0.521	0.541	0.562	0.582	0.602	
0.24	0.111	0.141	0.169	0.197	0.224	0.251	0.277	0.302	0.327	0.352	0.377	0.401	0.424	0.448	0.471	0.494	0.517	0.540	0.562	0.585	0.607	0.629	0.650	
0.25	0.119	0.151	0.182	0.212	0.242	0.270	0.298	0.326	0.353	0.379	0.405	0.431	0.457	0.482	0.507	0.532	0.557	0.581	0.605	0.629	0.653	0.677	0.700	
0.26	0.128	0.162	0.196	0.228	0.259	0.290	0.320	0.350	0.378	0.407	0.435	0.463	0.491	0.518	0.545	0.571	0.598	0.624	0.650	0.676	0.701	0.727	0.752	
0.27	0.137	0.174	0.210	0.244	0.278	0.311	0.343	0.374	0.405	0.436	0.466	0.496	0.525	0.554	0.583	0.612	0.640	0.668	0.696	0.723	0.751	0.778	0.805	
0.28	0.146	0.186	0.224	0.261	0.297	0.332	0.366	0.400	0.433	0.465	0.498	0.530	0.561	0.592	0.623	0.653	0.684	0.713	0.743	0.773	0.802	0.831	0.860	
0.29	0.156	0.198	0.239	0.278	0.316	0.353	0.390	0.426	0.461	0.496	0.530	0.564	0.598	0.631	0.664	0.696	0.728	0.760	0.792	0.823	0.854	0.885	0.916	
0.30	0.166	0.211	0.254	0.295	0.336	0.376	0.415	0.453	0.490	0.527	0.564	0.600	0.636	0.671	0.706	0.740	0.774	0.808	0.842	0.875	0.909	0.941	0.974	
0.31	0.176	0.223	0.269	0.314	0.357	0.399	0.440	0.481	0.520	0.560	0.598	0.637	0.674	0.712	0.749	0.785	0.822	0.858	0.893	0.929	0.964	0.999	1.034	
0.32	0.186	0.237	0.285	0.332	0.378	0.422	0.466	0.509	0.551	0.593	0.634	0.674	0.714	0.754	0.793	0.832	0.870	0.909	0.946	0.984	1.021	1.058	1.095	
0.33	0.197	0.250	0.301	0.351	0.399	0.447	0.493	0.538	0.583	0.627	0.670	0.713	0.755	0.797	0.839	0.880	0.920	0.961	1.001	1.040	1.080	1.119	1.158	
0.34	0.208	0.264	0.318	0.371	0.422	0.471	0.520	0.568	0.615	0.661	0.707	0.752	0.797	0.841	0.885	0.928	0.971	1.014	1.056	1.098	1.140	1.181	1.222	
0.35	0.219	0.278	0.335	0.391	0.444	0.497	0.548	0.599	0.648	0.697	0.745	0.793	0.840	0.887	0.933	0.978	1.024	1.068	1.113	1.157	1.201	1.244	1.288	
0.36	0.230	0.293	0.353	0.411	0.467	0.523	0.577	0.630	0.682	0.734	0.784	0.834	0.884	0.933	0.982	1.030	1.077	1.124	1.171	1.218	1.264	1.310	1.355	
0.37	0.242	0.308	0.371	0.432	0.491	0.549	0.606	0.662	0.717	0.771	0.824	0.877	0.929	0.980	1.031	1.082	1.132	1.182	1.231	1.280	1.328	1.376	1.424	
0.38	0.254	0.323	0.389	0.453	0.516	0.576	0.636	0.695	0.752	0.809	0.865	0.920	0.975	1.029	1.082	1.135	1.188	1.240	1.292	1.343	1.394	1.444	1.494	
0.39	0.266	0.338	0.408	0.475	0.540	0.604	0.667	0.728	0.788	0.848	0.907	0.965	1.022	1.079	1.135	1.190	1.245	1.300	1.354	1.407	1.461	1.514	1.566	
0.40	0.279	0.354	0.427	0.497	0.566	0.633	0.698	0.762	0.825	0.888	0.949	1.010	1.070	1.129	1.188	1.246	1.304	1.361	1.417	1.473	1.529	1.585	1.640	
0.41	0.291	0.371	0.447	0.520	0.592	0.661	0.730	0.797	0.863	0.928	0.993	1.056	1.119	1.181	1.242	1.303	1.363	1.423	1.482	1.541	1.599	1.657	1.715	
0.42	0.304	0.387	0.466	0.543	0.618	0.691	0.762	0.833	0.902	0.970	1.037	1.103	1.169	1.233	1.297	1.361	1.424	1.486	1.548	1.610	1.670	1.731	1.791	
0.43	0.318	0.404	0.487	0.567	0.645	0.721	0.796	0.869	0.941	1.012	1.082	1.151	1.219	1.287	1.354	1.420	1.486	1.551	1.615	1.680	1.743	1.806	1.869	
0.44	0.331	0.421	0.507	0.591	0.672	0.752	0.829	0.906	0.981	1.055	1.128	1.200	1.271	1.342	1.411	1.480	1.549	1.617	1.684	1.751	1.817	1.883	1.948	