

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 11, número 2; 2023

*Evaluación de modelos de perfil del fuste de *Brachystegia floribunda* (BENTH)*

*Evaluation of stem profile models of the species *Brachystegia floribunda* (BENTH)*

*Avaliação de modelos de perfil de caule de *Brachystegia floribunda* (BENTH)*

Edilio Aldana Pereira^{1*} , Yordan Lores Pèrez² , Marisela Frías Tamayo¹ 

¹Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca". Pinar del Río, Cuba.

²Universidad de Guantánamo Facultad de Agronomía y Forestal. Guantánamo, Cuba.

*Autor para la correspondencia: aldana@upr.edu.cu

Recibido:30/01/2023.

Aprobado:16/06/2023.

RESUMEN

Brachystegia floribunda (BENTH) tiene un alto valor económico y social para las comunidades campesinas de Angola y varios países africanos. Las funciones de ahusamiento o perfil del fuste permiten estimar el diámetro y/o el volumen a una altura determinada del árbol, siendo, por tanto, una de las características dendrométricas que define la forma del fuste de las especies forestales. De ahí es que el presente trabajo persigue evaluar diferentes modelos matemáticos y determinar el de mejor ajuste para la estimación de diámetros y volumen de esta especie. En total, se derribaron y cubicaron rigurosamente 66 árboles, de los cuales



fueron utilizados 53 para ajustar las ecuaciones de perfil del fuste y 13 se emplearon para la validación de los resultados obtenidos. Fueron evaluados 13 modelos de perfil del fuste y el ajuste se examinó a partir de la comparación del coeficiente de determinación, la raíz del error medio cuadrático y un índice de precisión. El modelo no lineal de Clutter resultó ser el de mejor precisión y, mediante su integración matemática permite obtener una expresión del ahusamiento del fuste compatible con el volumen comercial y total del arbolado en pie. Esta ecuación es recomendada para estimar el diámetro y altura por sección del fuste, así como, el volumen comercial y total de la especie estudiada.

Palabras clave: Ahusamiento del fuste, estimación volumétrica, modelo de Clutter, perfil del fuste, Factor de Forma, Cociente de Forma, *Brachystegia floribunda*.

SUMMARY

Brachystegia floribunda (BENTH) has a high economic and social value for the peasant communities of Angola and several African countries. The stem taper or profile functions make it possible to estimate the diameter and/or volume at a given height of the tree, being, therefore, one of the dendrometric characteristics that defines the shape of the stem of forest species. Hence, the present study seeks to evaluate different mathematical models and determine the one with the best fit for the estimation of diameters and volume of this species. In total, 66 trees were felled and rigorously boxed, of which 53 were used to adjust the stem profile equations and 13 were used to validate the results obtained. Thirteen stem profile models were evaluated and the fit was examined from the comparison of the coefficient of determination, the root mean square error and a precision index. The Clutter non-linear model turned out to be the one with the best precision and, through its mathematical integration, allows obtaining an expression of the taper of the stem compatible with the commercial and total volume of standing trees. This equation is recommended to estimate the diameter and height per section of the stem, as well as the commercial and total volume of the studied species.



Keywords: Stem taper, volumetric estimation, Clutter model, Stem profile, Shape Factor, Shape Quotient, *Brachystegia floribunda*.

RESUMO

A *Brachystegia floribunda* (BENTH) tem um alto valor econômico e social para as comunidades rurais de Angola e de vários países africanos. As funções de taper ou perfil do fuste permitem estimar o diâmetro e/ou o volume a uma determinada altura da árvore, sendo, portanto, uma das características dendrométricas que definem a forma do fuste das espécies florestais. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes modelos matemáticos e determinar o melhor ajuste para a estimativa de diâmetros e volumes dessa espécie. No total, 66 árvores foram abatidas e cubadas rigorosamente, das quais 53 foram utilizadas para ajustar as equações de perfil do fuste e 13 foram utilizadas para validação dos resultados obtidos. Treze modelos de perfil do fuste foram avaliados e o ajuste foi examinado pela comparação do coeficiente de determinação, do erro quadrático médio e de um índice de precisão. O modelo não linear de Clutter foi considerado o mais preciso e, por meio de sua integração matemática, permite obter uma expressão da conicidade do tronco compatível com o volume comercial e o volume total em pé. Essa equação é recomendada para estimar o diâmetro e a altura por seção do caule, bem como o volume comercial e total das espécies estudadas.

Palavras-chave: Conicidade do fuste, estimativa de volume, modelo de Clutter, perfil do fuste, fator de forma, quociente de forma, *Brachystegia floribunda*.

INTRODUCCIÓN

Según Sanfilippo (2014) *Brachystégia floribunda* (BENTH) es una especie arbórea común y exclusiva de la formación de bosque “Miombo” del Plan alto Central angolano. Aparece como una especie arbórea de tronco, generalmente, recto y cilíndrico, de 6 -19 cm de diámetro normal a 1,3 m del suelo, con corteza rugosa e irregular. Según las informaciones obtenidas, se trata de una especie poco exigente en cuanto a calidad de suelo que,



generalmente, se encuentra como población homogénea en suelos pobres en materia orgánica, ferralíticos que es característico de la región, bien arenosos y drenados. Produce madera rolliza para construcciones rústicas y leña para carbón de buena calidad. En el aspecto forestal, hay que referir que la masa forestal natural de Miombo en la aldea de Calombo, donde fue realizada la presente investigación, ocupaba toda su extensión territorial, pero cedió lugar en, gran parte, a comunidades vegetales de sabanas por ocupación humana.

La masa forestal en el área de estudio se caracteriza por estar constituida, en su totalidad, por árboles naturales, formando manchas forestales donde predominan los tres géneros mencionados anteriormente, siendo *B. floribunda* una de las especies más representativa. En la formación de Miombo del Planalto angolano y en el área objeto del presente trabajo, se han realizado y publicado trabajos recientes por Frías Tamayo M. *et al.* (2021), Aldana y Lores (2021), Salvador J.A N. *et al.* (2017).

La estimación directa del volumen de árboles individuales es crucial en inventarios forestales; por esto, es necesario contar con expresiones matemáticas que permitan modelar el ahusamiento y estimar los volúmenes total o parcial del fuste, mediante variables de fácil medición.

Según Pellico (2017) existe una amplia información basada en la metodología matemática empleada para el perfeccionamiento de la volumetría de árboles, siempre fundamentada en el volumen de sólidos regulares.

El perfil del fuste o ahusamiento de un árbol se define como el coeficiente de estrechamiento del diámetro con el incremento en altura; por tanto, las funciones de ahusamiento o perfil describen los diámetros esperados, con o sin corteza, a distintas alturas en el fuste (Ramírez-Martínez A. *et al.*, 2018).

La variación del ahusamiento en el fuste del árbol es causada por las condiciones naturales de crecimiento, y por la respuesta del bosque a los tratamientos silvícolas aplicados (Hernández-Pérez *et al.*, 2013 y Uranga-Valencia *et al.*, 2015). El ahusamiento puede ser descrito mediante una función matemática que permita predecir los diámetros a diferentes alturas del fuste; predecir la altura para un determinado diámetro fustal y predecir el volumen total del fuste o entre distintas alturas fustales mediante la integración del modelo



(López *et al.*, 2016). Los modelos de ahusamiento constituyen una herramienta importante para determinar existencias maderables (al integrar la ecuación de ahusamiento entre dos alturas) y realizar la clasificación de productos de árboles en pie (Ramírez-Martínez A. *et al.*, 2018).

Según Burkhart y Tomé (2012) existen varios modelos que han sido utilizados para describir el perfil fustal, y se han clasificado de acuerdo con la complejidad de las expresiones matemáticas, el número de variables y los coeficientes del modelo; la clasificación general se basa en: modelos generales para árbol individual, modelos segmentados y modelos de exponente variable.

Curva analítica del perfil del fuste

Las curvas de perfil del fuste son funciones matemáticas que permiten representar el perfil medio de los árboles. La distribución del diámetro a lo largo de su eje se conoce como perfil del tronco o fuste y como curva de ahusamiento del fuste es la curva con la cual se pretende representarlo; por su parte, la curva directriz es la curva generada por un modelo.

Las funciones para describir el perfil del fuste de los árboles fue un tema de gran interés para los forestales (Bi, 2000; Fang *et al.*, 2000; Kozak, 2004). La construcción de una ecuación de volumen para clasificación de diferentes productos a partir de una función del perfil del fuste se apoya en la capacidad de esta función para describir el diámetro a distintas alturas. Teniendo en cuenta la aplicación de la integral definida para calcular el volumen de un sólido de rotación, es posible determinar el volumen de madera entre dos alturas cualquiera. Una vez que se especifica el diámetro límite hasta el que se quiere conocer el volumen, su correspondiente altura se determina invirtiendo analíticamente la función o por medio de algún procedimiento iterativo (Diéguez-Aranda *et al.*, 2003 y 2006).

El procedimiento de mayor uso en la estimación de volumen individual es el empleo de ecuaciones en las que el volumen es la variable dependiente, asociada a las variables independientes de fácil medición en el bosque, como diámetro normal a 1,3 m del suelo y altura (Machado, 2002).

El enfoque más común en el desarrollo de sistemas compatibles de volumen fue desarrollado para expresar el coeficiente β de la ecuación de la variable combinada de Spurr, sin el término independiente ($V = \beta d^2 h$), donde V es el volumen total del árbol, d es el



diámetro normal, y h es la altura total del árbol) en forma de ecuación de perfil, o viceversa, utilizando una relación de compatibilidad. Esto asegura que la función de volumen y la función de perfil son analíticamente consistentes (Sharma y Oderwald, 2011).

Se debe contar siempre con una función que represente la sección del fuste a diferentes alturas. Una vez definida esta función, se puede calcular el volumen total de la pieza o de una parte de ella entre dos alturas h_1 y h_2 . Por ejemplo, Kozak (2004) utilizó para ciertas coníferas el modelo (Ecuación 1).

$$\frac{d_h^2}{DAP^2} = b_0 + b_1 \left(\frac{h}{H}\right) + b_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 \quad (1)$$

Dónde: d_h = diámetro a la altura h ;

DAP = diámetro a la altura del pecho;

h = altura a la que se mide el diámetro de una sección;

y H = altura total.

Pompas *et al.* (2009) probaron seis modelos de ahusamiento citados en la literatura compatible para *Pinus arizonica* engelm, cuyas expresiones corresponden a ecuaciones lineales y no lineales.

Aunque es abundante la información sobre ahusamiento del perfil del fuste de los árboles, existe poca información sobre ecuaciones que describan el perfil del fuste para especies latifoliadas, sean naturales o plantadas, pues la mayoría de los modelos de perfil del fuste han sido probados en especies del género *Pinus*.

A pesar de la eficiencia de algunas ecuaciones, estas no siempre se ajustan a todas las especies forestales y condiciones de las poblaciones forestales, siendo recomendable probarlas, por medio de test estadísticos, y elegirse el modelo de mejor resultado (Thomas, 2010).

La mayoría de las metodologías desarrolladas para estimación de volumen de árboles, consideran que si el volumen de un árbol es determinado correctamente, el valor encontrado es válido para otro árbol de igual diámetro, altura y forma (Thiersch *et al.* 2006). Las ecuaciones de ahusamiento de los árboles con la altura para plantaciones forestales son importantes para determinar los productos a extraer de los raleos u otras intervenciones



silvícolas. Productos forestales de diferentes tipos pueden ser determinados objetivamente con estas tecnologías matemáticas. Actualmente, las funciones de ahusamiento del diámetro con la altura son populares y eficientes para representar el perfil del fuste de los árboles y para estimar, por integración, volúmenes comerciales y totales (Clutter *et al.*, 1983 y Nívar, 2013).

Existen escasas investigaciones sobre esta temática en las especies forestales de la formación forestal de Miombo en los países africanos donde existe. Por tanto, el problema científico a resolver en esta investigación está relacionado con la ausencia casi total de perfil del fuste para las principales especies forestales de Miombo. De ahí la necesidad de investigar en esta línea, con vista a encontrar modelos y ecuaciones de perfil del fuste que permitan la estimación precisa de la existencia maderable como apoyo al manejo sustentable de los bosques de Miombo. De ahí que el objeto de estudio son los modelos de perfil del fuste aplicados a la especie *B. floribunda* (Benth) en un área forestal específica de la formación de Miombo.

El objetivo es evaluar diferentes modelos matemáticos y determinar el de mejor ajuste para la estimación de diámetros y volumen de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la aldea de Calombo en la Comuna de Cuima, municipio Caála, provincia Huambo en Angola, localizada aproximadamente a 25 Km de Cuima entre las coordenadas geográficas 13° 30' 12" de latitud Sur y los 15° 41' 24" de longitud Este.

Para evaluar las características dendrométricas y dasométricas, así como el grado de ocupación y productividad de la especie *B. floribunda*, se levantaron 32 parcelas circulares de 500 m² (0,05 hectárea) con radio de 12,62 m. Se realizó la corrección del radio de la parcela para que su medida se ajustara a un terreno plano. Para esto fue realizada la corrección mediante la fórmula $R_i = R_h \cos \alpha$, donde: R_i = Radio en la línea horizontal; R_h = Radio en la línea en declive; α = Valor de la pendiente medida en grado (Figura 1).



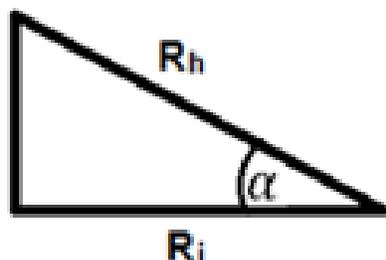


Figura 1. - Corrección del radio de la parcela de muestreo

Para el análisis se utilizó una muestra de 53 árboles para el ajuste de diferentes modelos de perfil del fuste, y 13 árboles se utilizaron para la validación del modelo de mejor ajuste.

Cada árbol fue derribado y seccionado, efectuándose mediciones del diámetro normal ($d_{1,3}$), diámetro en la base (db), diámetro del tocón a 0,3 m del suelo ($d_{0,3}$), diámetros con corteza a distintas alturas “ahusamiento” (d_{icc}), altura (h_i) a distintos diámetros (m) y altura total (H) en m. Todos los diámetros se midieron en cm.

En este estudio, se utilizaron 1107 pares de datos de diámetro con corteza y altura, los cuales se obtuvieron de 53 árboles de *B. floribunda* distribuidos en un intervalo de categorías de diámetro y altura (Tabla 1).

En la Tabla 1, se presenta el resumen de las estadísticas descriptivas de los análisis troncales.

Tabla 1. - Valores estadísticos descriptivos de los árboles estudiados

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
d_b	53	12,7	20,545	5	31,9
$d_{0,3}$	53	11,9	21,176	4,5	30,9
$d_{1,3}$	53	9,9	14,923	4	18,6
H	53	8,3	2,969	5	13,3
d_{icc}	1107	8,8	19,766	0	23
h_i	1107	3,2	5,451	0	1,0

La dispersión de las alturas (hm/H) y diámetros (dm/D) en términos relativos se ilustra en la Figura 2.



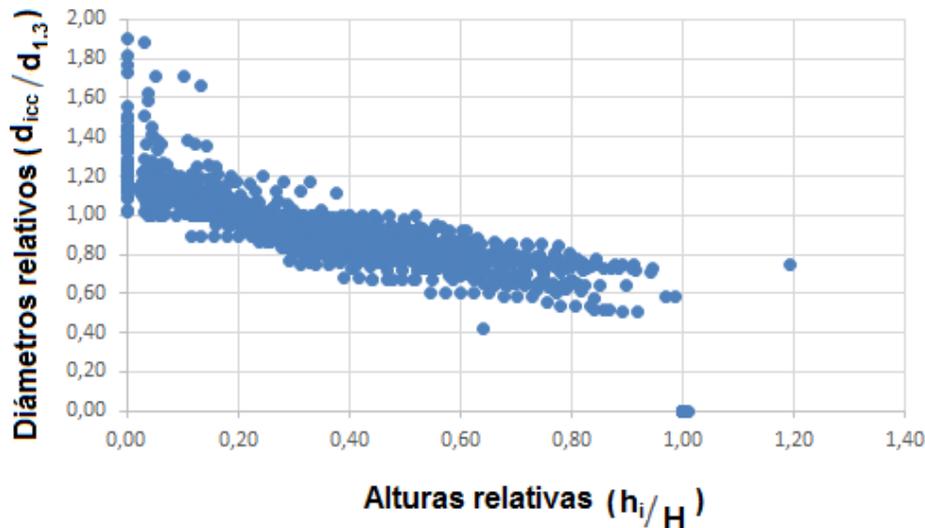


Figura 2. - Dispersión del diámetro relativo y la altura relativa

Modelos de perfil del fuste probados

Un modelo de perfil del fuste es una expresión matemática que permite predecir el diámetro de una sección transversal a cualquier altura del fuste y determinar el volumen de madera de cualquier segmento del mismo. Para el ajuste de la ecuación de perfil del fuste se evaluaron 13 modelos matemáticos, de los cuales cinco son cuadráticos, cinco cúbicos y tres no lineales. Ocho de los modelos probados tienen como variable dependiente $\frac{d_{cc}}{d_{1,3}}$,

tienen $\frac{dh^2}{DAP^2}$ como variable dependiente y en tres la variable dependiente es d_{cc} (Tabla 2, apéndice 2).

Estas funciones representan la sección del tronco a diferentes alturas y una vez definidas permiten calcular el volumen total del fuste o parte de este entre dos alturas h_i y h_{i+1} (Ecuación 2).

Donde, en los modelos, d_{cc} = diámetro del fuste con corteza a la altura relativa h (m);

$$h = \text{altura relativa del fuste sobre el tocón (m)}; X = \frac{(H-h)}{(H-1.30 \text{ m})}; Xk = \frac{(1-Z^{-1/2})}{(1-P^{-1/2})}; \quad (2)$$

$$Z = \frac{h}{H}; H_a = H - 1,30 \text{ m } \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \text{ son parámetros estadísticos.}$$



Para el ajuste de las funciones de perfil del fuste se utilizaron 1107 datos de diámetro y altura correspondientes a 53 árboles. Para las ecuaciones que necesitaron transformaciones, los parámetros estadísticos se calcularon con las transformaciones necesarias.

Un análisis de correlación para el perfil del fuste, permitió determinar las variables dependientes e independientes más correlacionadas en el modelo de perfil del fuste.

Para determinar los estadísticos de validación se utilizó principalmente el coeficiente de determinación (R^2), el error estándar de la estimación (EEE) y el sesgo medio, los cuales se calcularon como sigue Ecuación 3):

$$\text{Sesgo medio} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)}{n}; R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2}; EEE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{n-p} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Donde:

Y_i = valor observado o la variable dependiente;

\bar{Y}_i = valor medio de los datos observados;

\tilde{Y}_i = valor predictivo; y

p = número de parámetros del modelo incluyendo la intercepción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el programa Microsoft Excel 2010 se calculó las principales variables dendrométricas y dasométricas de la especie *B. floribunda*, entre estas variables están: número de árboles por hectárea (Nha^{-1}); diámetro medio a 1,3 m del suelo ($\bar{d}_{1.3}$); diámetro a 0,3 m del suelo ($\bar{d}_{0.3}$); altura media total (\bar{h}_t); altura media comercial (\bar{h}_c); área basal media en m^2 por hectárea a 1,3 m del suelo ($\bar{G}_{1.3}ha^{-1}$); área basal media en m^2 por hectárea a 0,3 m del suelo ($\bar{G}_{0.3}ha^{-1}$); el volumen medio en m^3 por hectárea con el área basal a 1,3 m del suelo ($\bar{V}_{1.3}ha^{-1}$) y el volumen medio en m^3 por hectárea con el área basal a 0,3 m del suelo ($\bar{V}_{0.3}ha^{-1}$). Estos resultados se obtuvieron de las 32 parcelas levantadas con el objetivo de caracterizar la masa forestal donde se realizó la investigación y están sintetizados en la Tabla 2, tanto para el



total por hectárea para la masa forestal como para las respectivas clases de diámetro (Tabla 2).

Tabla 2. - Principales índices dasométricos de la especie *B. Floribunda*

Cd	Nha ⁻¹	$\bar{d}_{1.3}$ (cm)	$\bar{d}_{0.3}$ (cm)	\bar{h}_t (m)	$\bar{G}_{1.3}$ (m ² ha ⁻¹)	$\bar{G}_{0.3}$ (m ² ha ⁻¹)	$\bar{V}_{1.3}$ (m ³ ha ⁻¹)	$\bar{V}_{0.3}$ (m ³ ha ⁻¹)
2	83	2,3	3,4	2,4	0,001	0,003	0,0029	0,006
4	168	3,9	5,1	3,5	0,021	0,017	0,056	0,042
6	182	5,7	7,9	5,1	0,027	0,045	0,086	0,133
8	201	7,7	9,6	6,0	0,046	0,070	0,163	0,229
10	133	9,8	12,1	6,7	0,049	0,078	0,195	0,290
12	82	11,7	13,5	7,5	0,043	0,056	0,176	0,207
14	55	13,5	15,9	8,1	0,039	0,053	0,167	0,190
16	33	15,1	18,0	9,0	0,029	0,043	0,130	0,149
18	42	17,5	18,8	9,9	0,048	0,059	0,242	0,269
20	20	19,0	19,5	8,0	0,028	0,030	0,240	0,244
22	20	21,0	22,0	10,0	0,035	0,038	0,176	0,089
24	20	24,2	22,0	9,0	0,046	0,038	0,215	0,178
30	20	29,6	30,9	12,8	0,069	0,075	0,405	0,441
Total/ hectárea	1060	13,9	15,3	7,5	9,655	12,112	45,065	49,333

En general, en el área objeto de estudio el número de árboles por hectárea de las clases diamétricas mayores de 15 cm es muy bajo.

Grado de ocupación por clases diamétricas

En la Tabla 3, se puede observar que el grado de ocupación de *B. floribunda* (Benth) es alto, pues ocupa el 42,9% del número total de árboles por hectárea de la masa forestal, y además los valores medios de $\bar{d}_{1.3}$, $\bar{d}_{0.3}$, y \bar{h}_t son respectivamente 1,6; 1,5 y 1,4 veces superiores a los valores medios de todas las especies inventariadas en el área. El 61,5 % y 52,2 % del área basal media por hectárea respectivamente a 1,3 m y 0,3 m del suelo, así como el 67 % y 49,5



% del volumen medio por hectárea también a 1,3 m y 0,3 m del suelo respectivamente corresponde a *B. floribunda* (Tabla 3).

Tabla 3. - Grado de ocupación de *B. floribunda* en el área forestal objeto de estudio

Parcela	N ha ⁻¹	$\bar{d}_{1,3}$ (cm)	$\bar{d}_{0,3}$ (cm)	\bar{h}_t (m)	$\bar{G}_{1,3}$ (m ² ha ⁻¹)	$\bar{G}_{0,3}$ (m ² ha ⁻¹)	$\bar{V}_{1,3}$ (m ³ ha ⁻¹)	$\bar{V}_{0,3}$ (m ³ ha ⁻¹)
Valores medios por hectárea de todas las especies.	2470	8,8	10,4	5,5	15,7	23,2	67,3	99,7
Valores medios por hectárea de <i>B. floribunda</i> (Benth).	1060	13,9	15,3	7,5	9,655	12,112	45,065	49,333
%	42,9				61,5	52,2	67,0	49,5

Esta especie tiene un alto valor energético, por lo que es muy utilizada en la producción de carbón vegetal y conforme a los datos anteriores representa un alto potencial en cuanto a existencias en bosques irregulares del Miombo para la producción de carbón vegetal.

En la Tabla 4, se muestra el porcentaje de árboles en las respectivas clases de diámetros, donde se observan los mayores porcentajes entre las clases 4 y 10 con destaque en las clases de diámetros 8, 6 y 4, en ese orden respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. - Porcentaje de ocupación de árboles por clases de diámetro de *B. floribunda*

Clases diamétricas	Nha ⁻¹	%	Clases diamétricas	Nha ⁻¹	%
2	83	8	16	33	3
4	168	16	18	42	4
6	182	17	20	20	2
8	201	19	22	20	2
10	133	13	24	20	2
12	82	8	30	20	2
14	55	5			
Total/ hectárea				1060	100



La distribución diamétrica del número de árboles por hectárea presenta la forma típica de los bosques irregulares o multietáneos, quiere decir, que tiene tendencia exponencial negativa de J invertida lo que significa que las clases diamétricas menores se presentan con mayor frecuencia de individuos que las clases superiores, esta distribución garantiza la perpetuidad de este bosque natural (Figura 3).

Esta característica es común en la mayoría de las formaciones forestales tropicales y ha sido confirmada por Aldana (2010), pero anteriormente ya había sido explicado por Scheffer *et al.* (1930) y Machado (2002).

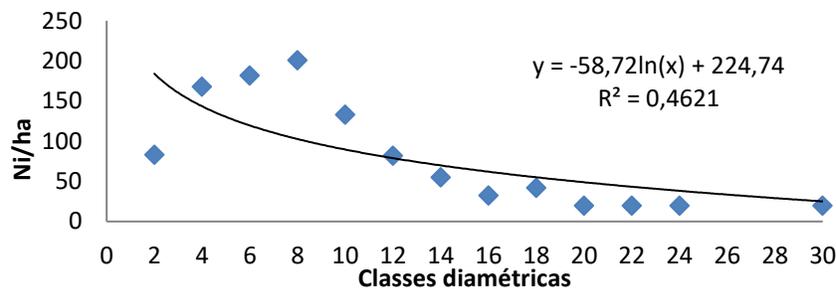


Figura 3. - Distribución de los árboles de *B. floribunda* por clases diamétrica.

Evaluación del mejor modelo de perfil del fuste de B. floribunda

Se realizó un análisis de correlación del diámetro con corteza (d_{cc}), medido en diferentes secciones a lo largo del fuste, respecto a las otras variables, con la finalidad de determinar la variable dependiente del modelo general del perfil del fuste. La matriz de correlación de este análisis se muestra en la tabla 6. Este análisis de correlación bivariada de Pearson permitió determinar las variables más correlacionadas con el diámetro con corteza (Tabla 5).



Tabla 5. - Matriz de correlación bivariada de Pearson de las variables dendrométricas para perfil del fuste de *B. floribunda*

		d_b	$d_{0,3}$	$d_{1,3}$	H	d_{cc}	hi
d_{cc}^{***}	Correlación de Pearson	,724**	,740**	,777**	,434**	1	-,538**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	1112	1112	1112	1112	1112	1112

*** Diámetro con corteza
 ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).
 * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Como se observa en la Tabla 5, las variables de mayor correlación de Pearson es d_{cc} consigo mismo y con $d_{1,3}$. Por tanto, se escogieron las dos variables más correlacionadas, o sea, las variables dependientes del modelo son d_{cc} y $\frac{d_{cc}}{d_{1,3}}$

Determinación de la capacidad predictiva y bondad de ajuste de los diferentes modelos

Con la aplicación del SPSS Statistics versión 19 se realizó el análisis estadístico, donde fueron estimados los parámetros, las correlaciones de las estimaciones de los parámetros, el ANOVA y los estadísticos descriptivos, que son básicos para la determinación de la bondad de ajuste y la capacidad predictiva de cada modelo.

En la Tabla 6, (ver apéndice 2) están las ecuaciones resultantes de cada modelo de perfil del fuste con los principales índices estadístico. En esta tabla, además de las ecuaciones con los respectivos valores de los coeficientes de regresión, también aparecen: el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación (R^2), la desviación estándar (S_x), la raíz del error cuadrático medio y la diferencia agregada. Estos índices estadísticos constituyen la herramienta para decidir, conforme su comportamiento, cual o cuales de los modelos probados serán los de mejor bondad de ajuste y capacidad predictiva. En la Tabla 6, se presentan las ecuaciones de los cinco modelos con mejor bondad de ajuste y capacidad predictiva.

Para la evaluación de cada uno de los cinco modelos seleccionados se escogió, de la base de datos de los 13 árboles definidos para la validación, el árbol con el mayor número de secciones y luego se estimó el diámetro de cada sección. El cálculo de los tres índices estadísticos; Sesgo medio, Coeficiente de determinación (R^2) y Error Estándar de las



Estimaciones (EEE), permitió realizar la validación y determinar el mejor modelo del perfil del fuste de la especie *B. floribunda*, cuyas fórmulas son (Ecuación 4):

$$\text{Sesgo medio} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} ; \quad r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} ; \quad EPE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

En la tabla 6, están los resultados estadísticos de validación de los cinco modelos, donde se puede observar, que el modelo 12 representado por la ecuación

$d_{cc} = 0,069 * d_{1,3}^{1,745} + H^{-0,434}(H - h_i)^{1,391}$, es el mejor, pues presenta el menor sesgo medio y el menor error estándar de la estimación, además de presentar el mayor coeficiente de determinación (Tabla 6 y Tabla 7).

Tabla 6. - Los mejores 5 modelos de perfil del fuste con corteza probados en la especie *B. floribunda*

N o	Tipos de Modelo	R	R ²	Sx	REC M	DA	Ecuaciones
2	Cúbico	0,868	0,753	0,1348	0,004	0,018	$d_{cc} = 1,161 + (-0,558)\left(\frac{h}{H}\right) + (-1,602)\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,247\left(\frac{h}{H}\right)^3$
4	Cúbico	0,860	0,740	0,1390	0,0042	0,019	$d_{cc} = 1,024 + (-0,827)\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right) + (-0,640)\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right)^2 + 0,694\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right)^3$
11	Cuadrático (Amidon)	0,917	0,840	1,7416	,05227	3,033	$d_{cc} = 1,006 * \frac{d_{1,3}(H-h)}{H-1,3} + (-0,118) * \frac{(H^2 - h^2)(h_i - 1,3)}{H^2}$
12	No lineal (Clutter 1983)	0,919	0,845	1,7454	0,0353	3,046	$d_{cc} = 0,069 * d_{1,3}^{1,745} + H^{-0,434}(H - h_i)^{1,391}$
13	No Lineal	0,965	0,932	1,1586	0,0349	1,342	$d_{cc} = (0,423 + 1,081d_{1,3}) \left[\frac{H-h}{H-1,3} \right]^{0,956}$

Tabla 7. - Estadísticos de validación de los 5 mejores modelos de perfil del fuste de *B. floribunda*

Índices estadísticos	Modelo 2	Modelo 4	Modelo 11	Modelo 12	Modelo 13
Sesgo medio	0,152	0,173	0,505	-0,099	-0,535
R ²	0,803	0,804	0,707	0,839	0,710
EEE	0,872	0,869	1,031	0,787	1,041

La representación gráfica del perfil del fuste con cada uno de los cinco modelos (Figura 4) muestra que los modelos 12 y 13 son los que están más próximos al valor real. Por tanto, se puede concluir que la ecuación $d_{cc} = 0,069 * d_{1,3}^{1,745} + H^{-0,434}(H - h_i)^{1,391}$ es la que



mejor define el perfil del fuste y estima con mayor precisión los diámetros de las diferentes secciones de un árbol de *B. floribunda*.

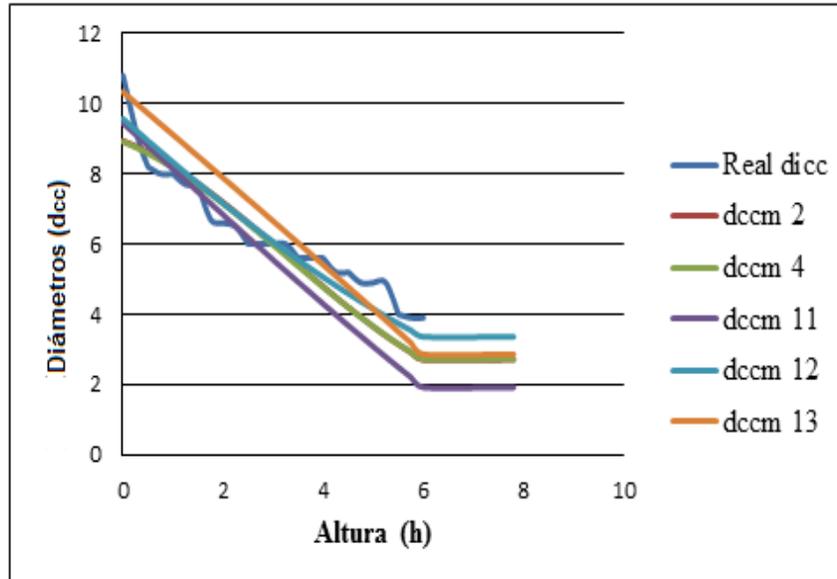


Figura 4. - Representa gráfica del perfil del fuste con diferentes ecuaciones

CONCLUSIONES

B. floribunda es la especie más representada en el área de estudio con 42,9% del número total de árboles por hectárea, el 61,5% y 52,2% del área basal por hectárea a 1,3 y 0,3 m del suelo respectivamente, así como el 67,0 y 49,5% del volumen medio por hectárea a 1,3 y 0,3 m del suelo respectivamente.

Del mismo modo, los diámetros medios a 1,3 y 0,3 m del suelo y altura media total son 1,6; 1,5 y 1,4 veces superior a los valores medios de todas las especies inventariadas en el área.

De los 13 modelos de perfil del fuste ajustado, resultó mejor el modelo no lineal de Clutter (1983), cuyo fórmula general es $d_{cc} = b_1 * D^{b_2} + H^{b_3}(H - h)^b$ y la ecuación que define el perfil del fuste de la especie *B. floribunda* es (Ecuación 5):

$$d_{cc} = 0,069 * d_{1,3}^{1,745} + H^{-0,434}(H - h_i)^{1,391}. (5)$$



Apéndice 1 (Tabla 8)

Tabla 8. - Modelos ajustados para el perfil del fuste de *B. floribunda*

No	Tipos de Modelo	Ecuaciones
1	Cuadrático no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h_t} \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{h_t} \right)^2$
2	Cúbico no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h_t} \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{h_t} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{h_t} \right)^3$
3	Cuadrático no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^2$
4	Cúbico no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i - 1.30}{h_t - 1.30} \right)^3$
5	Cuadrático no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h_t} - 1 \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{h_t} - 1 \right)^2$
6	Cúbico no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h_t} - 1 \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{h_t} - 1 \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{h_t} - 1 \right)^3$
7	Cuadrático no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30} \right)^2$
8	Cúbico no lineal	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30} \right) + b_2 \left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_t - h_i}{h_t - 1.30} \right)^3$
9	Cuadrático (Kozak)	$\frac{dh^2}{DAP^2} = b_0 + b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2$
10	Cúbico (Kozak)	$\frac{dh^2}{DAP^2} = b_0 + b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h}{H} \right)^3$
11	no lineal (Amidon 1984)	$dcc = \beta_0 \frac{D(H-h)}{H-1.3} + \beta_1 \frac{(H^2-h^2)(h-1.3)}{H^2}$
12	no lineal (Clutter 1983)	$dcc = \beta_1 * D^{\beta_2} + H^{\beta_3} (H - h)^{\beta_4}$
13	no lineal (Rustagi y Loveles 1991)	$dcc = (\beta_0 + \beta_1 d_{1,3}) \left[\frac{H-h}{H-1.37} \right]^{\beta_2}$



Apéndice 2 (Tabla 9)

Tabla 9. - Modelos evaluados en la especie *B. floribunda* para seleccionar el de mejor bondad de ajuste y capacidad predictiva

N o	Tipos de Modelo	R	R ²	Sx	REC M	DA	Ecuaciones
1	Cuadrático	0,85 3	0,72 8	0,14 14	0,004 2	0,02 0	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 1,225 + (-1,376)\left(\frac{h}{H}\right) + 0,465\left(\frac{h}{H}\right)^2$
2	Cúbico	0,86 8	0,75 3	0,13 48	0,004 0	0,01 8	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 1,161 + (-0,558)\left(\frac{h}{H}\right) + (-1,602)\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 1,247\left(\frac{h}{H}\right)^3$
3	Cuadrático	0,84 5	0,71 3	0,14 58	0,004 4	0,02 1	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 1,001 + (-0,985)\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right) + 0,298\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right)^2$
4	Cúbico	0,86 0	0,74 0	0,13 90	0,004 2	0,01 9	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 1,024 + (-0,827)\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right) + (-0,640)\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right)^2 + 0,694\left(\frac{h-1,30}{H-1,30}\right)^3$
5	Cuadrático	0,85 2	0,72 5	0,14 21	0,004 3	0,02 0	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 1,223 + (-1,181)\left(\frac{h}{H} - 1\right) + 0,341\left(\frac{h}{H} - 1\right)^2$
6	Cúbico	0,86 5	0,74 9	0,13 58	0,004 1	0,01 8	$\frac{d_{icc}}{d_{1,30}} = 1,160 + (-0,484)\left(\frac{h}{H} - 1\right) + (-1,183)\left(\frac{h}{H} - 1\right)^2 + 0,795\left(\frac{h}{H} - 1\right)^3$
7	Cuadrático	0,85 4	0,73 0	0,14 09	0,004 2	0,02 0	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 0,314 + 0,377\left(\frac{H-h}{H-1,30}\right) + 3,12\left(\frac{H-h}{H-1,30}\right)^2$
8	Cúbico	0,86 8	0,75 4	0,13 44	0,004 0	0,01 8	$\frac{d_{cc}}{d_{1,3}} = 0,253 + 0,029\left(\frac{H-h}{H-1,30}\right) + 1,409\left(\frac{H-h}{H-1,30}\right)^2 + (-0,666)\left(\frac{H-h}{H-1,30}\right)^3$
9	Cuadrático (Kozak)	0,67 6	0,45 7	0,47 79	0,014 4	0,22 8	$\frac{dh^2}{DAP^2} = -0,349 + 4,695\left(\frac{h}{H}\right) + (-3,660)\left(\frac{h}{H}\right)^2$
10	Cúbico (Kozak)	0,74 6	0,55 6	0,43 21	0,013 0	0,18 7	$\frac{d h_i^2}{DAP^2} = 0,023 + (-0,764)\left(\frac{h}{H}\right) + 11,981\left(\frac{h}{H}\right)^2 + (-10,735)\left(\frac{h}{H}\right)^3$
11	Cuadrático (Amidon)	0,91 7	0,84 0	1,74 16	,0522 7	3,03 3	$d_{cc} = 1,006 * \frac{d_{1,3}(H-h)}{H-1,3} + (-0,118) * \frac{(H^2-h^2)(h-1,3)}{H^2}$
12	No lineal (Clutter 1983)	0,91 9	0,84 5	1,74 54	0,035 3	3,04 6	$d_{cc} = 0,069 * d_{1,3}^{1,745} + H^{-0,434}(H-h)^{1,391}$
13	No lineal	0,96 5	0,93 2	1,15 86	0,034 9	1,34 2	$d_{cc} = (0,423 + 1,081d_{1,3}) \left[\frac{H-h}{H-1,3}\right]^{0,956}$



Apéndice 5 (Tabla 10)

Tabla 10. - Diámetro real (d_{ic}) y calculado (d_{cc}) con los mejores cinco modelos de perfil del fuste

d_{ic}	hi	d_{cc} Mod. 2	d_{cc} Mod. 4	d_{cc} Mod. 11	d_{cc} Mod. 12	d_{cc} Mod. 13
10,8	0	8,9	8,9	9,4	9,6	10,3
9	0,3	8,8	8,7	9,1	9,2	10,0
8,2	0,5	8,6	8,6	8,8	8,9	9,7
8,2	0,5	8,6	8,6	8,8	8,9	9,7
8	0,75	8,4	8,4	8,5	8,6	9,4
8	1	8,2	8,2	8,1	8,3	9,1
8	1	8,2	8,2	8,1	8,3	9,1
7,7	1,25	8,0	7,9	7,8	8,0	8,8
7,7	1,5	7,7	7,7	7,5	7,7	8,5
7,7	1,5	7,7	7,7	7,5	7,7	8,5
6,7	1,75	7,5	7,4	7,2	7,4	8,2
6,6	2	7,2	7,1	6,8	7,2	7,9
6,6	2	7,2	7,1	6,8	7,2	7,9
6,5	2,25	6,9	6,9	6,5	6,9	7,6
6	2,5	6,6	6,6	6,2	6,6	7,3
6	2,5	6,6	6,6	6,2	6,6	7,3
6	2,75	6,3	6,3	5,9	6,3	7,0
6	3	6,0	6,0	5,5	6,1	6,7
6	3	6,0	6,0	5,5	6,1	6,7
6	3,25	5,7	5,7	5,2	5,8	6,3
5,6	3,5	5,4	5,4	4,9	5,5	6,0
5,6	3,5	5,4	5,4	4,9	5,5	6,0
5,6	3,75	5,1	5,1	4,6	5,3	5,7
5,6	4	4,8	4,8	4,3	5,1	5,4
5,6	4	4,8	4,8	4,3	5,1	5,4
5,2	4,25	4,5	4,5	4,0	4,8	5,1
5,2	4,5	4,2	4,2	3,7	4,6	4,8
5,2	4,5	4,2	4,2	3,7	4,6	4,8
4,9	5	3,6	3,6	3,1	4,1	4,1
4,9	5	3,6	3,6	3,1	4,1	4,1
4,9	5,25	3,4	3,4	2,8	3,9	3,8
4	5,5	3,1	3,2	2,5	3,7	3,5
4	5,5	3,1	3,2	2,5	3,7	3,5
3,9	5,75	2,9	2,9	2,2	3,5	3,2
3,9	6	2,7	2,7	1,9	3,4	2,9
6,2		5,9	5,9	5,6	6,2	6,6



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDANA PEREIRA, E., 2010. *Medición forestal* [en línea]. La Habana: Félix Varela. ISBN 978-959-07-1321-7. Disponible en:
https://books.google.com.cu/books/about/Medici%C3%B3n_forestal.html?id=Pv6OswEACAAJ&re%20dir_esc=y.

ALDANA PEREIRA, E. y LORES PÉREZ, Y., 2021. Factor y cociente de forma preliminar de *Brachystegia floribunda* Benth. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 9, no. 1, pp. 124-139. [Consulta: 6 marzo 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en:
<https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/637>.

ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G., ÁLVAREZ TABOADA, M.F., BARRIO ANTA, M., CASTEDO DORADO, F., DIÉGUEZ ARANDA, U., ROJO ALBORECA, A. y RUIZ GONZÁLEZ, A.D., 2003. *Dendrometría* [en línea]. España: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 978-84-8476-145-7. Disponible en:
https://books.google.com.cu/books?id=25dwsrGdeMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

AMARAL MACHADO, S. do, BARBOSA DA CONCEIÇÃO, M. y FIGUEIREDO, D.J. de, 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais* [en línea], vol. 4, no. 2, pp. 185-197. [Consulta: 6 marzo 2023]. ISSN 2175-5620. Disponible en:
<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/462>.

BURKHART, H. y TOMÉ, M., 2012. *Modeling forest trees and stands* [en línea]. Estados Unidos: Springer. ISBN 978-94-007-1597-4. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/235004853_Modeling_Forest_Trees_and_Stands.

CLUTTER, J.L., 1983. *Timber Management: A Quantitative Approach* [en línea]. Estados Unidos: Wiley. ISBN 978-0-471-02961-8. Disponible en:
https://books.google.com.cu/books/about/Timber_Management.html?id=RSbxAAAAMAAJ&redir_esc=y.



- DIÉGUEZ ARANDA, U., CASTEDO DORADO, F., ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J. y ROJO ALBORECA, A., 2006. Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research* [en línea], vol. 36, no. 5, pp. 1190-1205. DOI 10.1139/x06-008. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237866454_Compatible_taper_function_for_Scots_pine_plantations_in_northwestern_Spain.
- FANG, BORDERS, B. y BAILEY, L., 2000. Compatible Volume-Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on a System with Segmented-Stem Form Factors. *Forest Science* [en línea], vol. 46, no. 1, pp. 1-12. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233512687_Compatible_Volume-Taper_Models_for_Loblolly_and_Slash_Pine_Based_on_a_System_with_Segmented-Stem_Form_Factors.
- FRÍAS TAMAYO, M., PEREIRA JAY, N.F. y ALDANA PEREIRA, E., 2021. Evaluación preliminar de la eficacia del método con probabilidad variable en bosque de Miombo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 193-204. [Consulta: 6 marzo 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/635>.
- HERNÁNDEZ PÉREZ, D., SANTOS POSADAS, H.M. de los, ÁNGELES PÉREZ, G., VALDEZ LAZALDE, J.R. y VOLKE HALLER, V.H., 2013. Funciones de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 4, no. 16, pp. 34-45. [Consulta: 6 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433990004&idioma=en>.
- HUIQUAN BI, 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest science* [en línea], vol. 46, no. 3, pp. 397-409. ISSN 0015-749X. Disponible en: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=1531809>.



- KOZAK, A., 2004. My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle* [en línea], vol. 80, no. 4, pp. 507-515. DOI 10.5558/tfc80507-4. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272900236_My_last_words_on_taper_equations.
- LÓPEZ AGUIRRE, A., BARRIOS, A. y TRINCADO, G., 2016. Modelos de perfiles fustales con una estructura de error autorregresiva para plantaciones de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia. *Madera y Bosques* [en línea], vol. 21, no. 2. DOI 10.21829/myb.2015.212446. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309138157_Modelos_de_perfiles_fustales_con_una_estructura_de_error_autorregresiva_para_plantaciones_de_Eucalyptus_tereticornis_en_Colombia.
- NANVONAMUQUITXO, S.J.A., GÓNGORA ROJAS, F. y HOFIÇO, N.D.S.A., 2017. Estructura y composición florística de un bosque nativo de Miombo en el Distrito de Mocuba Provincia Zambezia, Mozambique. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 5, no. 2, pp. 140-152. [Consulta: 6 marzo 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/229>.
- NÁVAR, J., RODRÍGUEZ FLORES, F. de J. y DOMÍNGUEZ CALLEROS, P., 2013. Taper functions and merchantable timber for temperate forests of northern Mexico. *Annals of Forest Research* [en línea], vol. 56, no. 1, pp. 165-178. DOI 10.15287/afr.2013.51. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286642601_Taper_functions_and_merchantable_timber_for_temperate_forests_of_northern_Mexico.
- OLIVEIRA, A.D. de, DEHON, G., SCOLFORO, J.R., THIERSCH, C. y MAESTRI, R., 2006. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. *Cerne* [en línea], vol. 12, no. 2, pp. 167-181. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237039557_Acuracia_dos_metodos_para_estimativa_do_volume_comercial_de_clones_de_Eucalyptus_sp.



- PÉLLICO NETTO, S., 2017. Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. *Revista Académica: Ciencia Animal* [en línea], vol. 2, no. 1, pp. 17. DOI 10.7213/cienciaanimal.v2i1.15003. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321284406_Equivalencia_volumetrica_uma_nova_metodologia_para_estimativa_do_volume_de_arvores.
- POMPA GARCÍA, M., CORRAL RIVAS, J.J., DÍAZ VÁSQUEZ, M. y MARTÍNEZ SALVADOR, M., 2009. Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. En el Suroeste de Chihuahua. *Ciencia forestal en México* [en línea], vol. 34, no. 105, pp. 117-134. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262448053_Funcion_de_ahusamiento_y_volumen_compatible_para_Pinus_arizonica_Engelm_En_el_Suroeste_de_Chihuahua.
- RAMÍREZ MARTÍNEZ, A., SANTIAGO GARCÍA, W., QUIÑONEZ BARRAZA, G., RUIZ AQUINO, F. y ANTÚNEZ, P., 2018. Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Madera y Bosques* [en línea], vol. 24, no. 2. DOI 10.21829/myb.2018.2421496. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325461053_Modelacion_del_perfil_fustal_y_volumen_total_para_Pinus_ayacahuite_Ehren.
- SANFILIPPO, M., 2014. *Trinta árvores e arbustos do miombo Angolano - Guia de campo para a identificação* [en línea]. Italia: COSPE. [Consulta: 6 marzo 2023]. Disponible en: <http://www.bibliotecaforestal.ufv.br/handle/123456789/14828>.
- SCHEFFER, A., GAZIN, A. y ALVERNY, A. d', 1930. *Sapinières*. Paris: Lwes Presses Universitieres de France.
- SHARMA, M. y ODERWALD, R., 2011. Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research* [en línea], vol. 31, no. 5, pp. 797-803. DOI 10.1139/x01-005. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237865757_Dimensionally_compatible_volume_and_taper_equations.



THOMAS, C., ANDRADE, C., SCHNEIDER, P. y FINGER, C., 2010. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciencia Florestal* [en línea], vol. 16, no. 3. DOI 10.5902/198050981911. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/27790615_Comparacao_de_equacoes_volumetricas_ajustadas_com_dados_de_cubagem_e_analise_de_tronco.

URANGA VALENCIA, L.P., DE LOS SANTOS POSADAS, H.M., VALDEZ LAZALDE, J.R., LÓPEZ UPTON, J. y NAVARRO GARZA, H., 2015. Volumen total y ahusamiento para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en tres condiciones de bosque. *Agrociencia* [en línea], vol. 49, no. 7, pp. 787-801. [Consulta: 6 marzo 2023]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5425690>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2023 *Edilio Aldana Pereira, Yordan Lores Pérez, Marisela Frías Tamayo*

