

TABLA DE VOLUMEN PARA ACACIA MANGIUM WILLD EN LA EMPRESA AGRO-FORESTAL PINAR DEL RÍO, CUBA

TABLE OF VOLUME FOR ACACIA MANGIUM WILLD IN THE AGROFORESTRY COMPANY PINAR DEL RÍO, CUBA

DR.C. HÉCTOR-BARRERO MEDEL¹, ING. ADOLFO L. SANDÍN-LÓPEZ², M.SC. YAMILA LAZO-PÉREZ³ Y EST. LIYANET VALDÉS-LOPEZ¹

¹ Universidad de Pinar del Río. Departamento Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias, Cuba. hbarrero@upr.edu.cu

² Empresa Agro-Forestal Pinar del Río. EFIPR

³ Universidad Estatal Amazónica Ecuador. ylazo@uea.edu.ec

RESUMEN

En el trabajo tuvo como objetivo construir una tabla de volumen para *Acacia mangium Willd* en la Empresa Agro-Forestal Pinar del Río. Se tomó para ello una muestra de 80 árboles los que fueron marcados cada 1 m, y de tal forma que abarcaran todo el comportamiento de los diámetros a 1,30 de la plantación. Mediante el empleo de los procedimientos del inventario forestal y el uso de la estadística inferencial, con la regresión lineal y la estimación curvilínea, se ajustan y comparan modelos de volumen para árboles derivados de diámetro con corteza. Así se obtiene que el modelo que mejor ajuste y capacidad predictiva es el logarítmico, teniendo como variable independiente el producto del $d_{1,30}$ al cuadrado por la altura relativa.

Palabras claves: *Acacia mangium Willd*, modelo de volumen, diámetro 1,30, altura total

ABSTRACT

In the work the objective was to construct a volume table for *Acacia mangium (Willd)* in the Pinar del Río Agroforestry Company. For this purpose, a sample of 80 trees were selected, which were marked every 1 meter and in such a way as to cover all the behavior of the diameters at 1.30 of the plantation. Through the use of forest inventory procedures and the use of inferential statistics, with linear regression and curvilinear estimation, the volume models for trees derived from diameter with bark are adjusted and compared. Thus we obtain that the model that best fit and redictive capacity is the logarithmic having as independent variable the product of $d_{1,30}$ squared or relative height.

Key words: *Acacia mangium Willd*, volume model, diameter 1.30, total height

INTRODUCCIÓN

La *Acacia mangium Willd* es una especie de reciente fomento en plantaciones en Cuba, la cual se encuentra entre las principales especies en los planes de reforestación forestal hasta 2020, para la cual no se ha definido el manejo forestal para las condiciones de sitios del país, por lo que su identificación es un objetivo fundamental en pos de un impacto económico en la producción forestal de esta especie que sería pertinente en la práctica social del país (Sánchez, 2014).

Una de las actividades más importantes en biometría forestal es la estimación de volumen de

árboles. Los estudios económicos y de ordenación forestal tienen por base el inventario del potencial forestal existente, a través de técnicas de muestreo y de biometría, donde la cubicación de árboles posibilita obtener el volumen sólido de los fustes, que asociados con las variables dendrométricas (d , h , $forma$) permiten generar modelos para estimar estos volúmenes, que podrán ser presentados en forma de tablas.

En la actualidad todos los planes de manejo que se elaboran para las diferentes categorías y formaciones de bosques de Cuba, se basan

en el Manual de Ordenación del Patrimonio Forestal de Cuba, cuyas tablas de volumen, densidades, calidades de sitios y factores volumétricos de formas, entre otras, son empíricas, no se sustentan en investigaciones científicas sólidas (Lores, 2012), donde esta especie no ha sido investigada por ser de última introducción en los planes de reforestación del país.

En correspondencia con esta situación problemática, se planteó como objetivo de este trabajo construir una tabla de volumen para *Acacia*

mangium Willd en la Empresa Agro-Forestal Pinar del Río.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Empresa Agro-Forestal Pinar del Río se localiza entre los municipios de San Juan, San Luis, Consolación del Sur y Pinar del Río. Limita al norte con los municipios de Viñales y el municipio de La Palma, al sur con el Mar Caribe, al este con el municipio de Los Palacios y al oeste el municipio de Guane (Guelmez y Acosta, 2007).

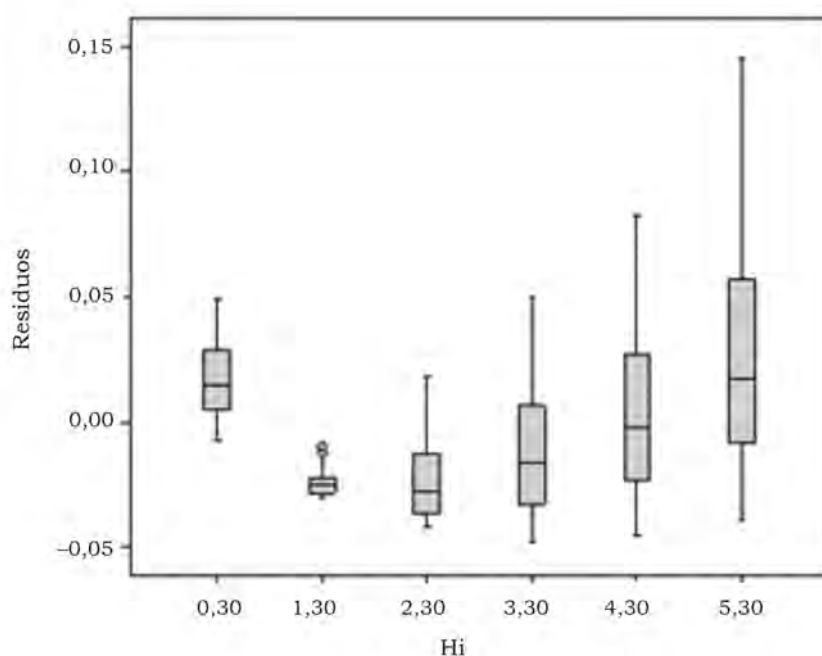


Figura 1. Ubicación de la Empresa Agro-Forestal Pinar del Río.

El tamaño de la muestra fue definido a partir de un muestreo aleatorio simple, teniendo el criterio recomendado por Calliez (1980) para tarifas de dos y más entradas de 80 árboles de plantaciones de 15 años de edad de la Unidad Silvícola Consolación del Sur. Los árboles fueron seleccionados de manera que abarcasen todos los diámetros a 1,30 m existentes en las plantaciones, fundamentalmente alejados del borde.

Los árboles seleccionados se marcaron con una franja estrecha de pintura a 0,30 m y 1,30 m de diámetro, ubicando el norte con

una franja de pintura perpendicular al DAP. Estos árboles fueron derribados con una motosierra, e inmediatamente de ser apeados les fue medido la altura total, los árboles fueron marcados y medidos cada 1 m.

Los modelos de volumen analizados (Tabla 1) fueron seleccionados según trabajos realizados en especies de latifolias en Cuba por Peñalver (1991), por Henry (2002) y Lores (2012), y a nivel internacional para *Acacia mangium* Willd en Malasia por Wan-Razali et al. (1989) y por Arruda et al. (2000) en Brasil y otros para otras especies como se muestran a continuación.

Tabla 1. Modelos seleccionados para el ajuste

No.	Modelo	Fuente o denominación
1	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}$	Lineal simple
2	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2$	Línea de volumen
3	$v = b_0 + b_1 d_{1,30} + b_3 d_{1,30}^2$	Cuadrático
4	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^{0,5}$	Manosalva (1995)a
5	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}$	Meyer (1953)
6	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 1/\ln d_{1,30}$	Manosalva (1995)b
7	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2 ht$	Manosalva (1995)c
8	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}^2 ht$	Spurr (1952)
9	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 \ln h$	Logarítmico de Spurr (1952)
10	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + e$	Meyer modificada
11	$\ln v = b_0 + b_1 \ln G + b_3 \ln h$	Lores (2012)
12	$\log v = b_0 + b_1 \log (d_{1,30}^2)$	Peñalver (1991)
13	$v = b_0 \times d^{b1} \times h^{b3}$	Shumacher y Hall

donde:

$d_{1,30}$: Diámetro a 1,30

ht : Altura total

h : Altura referente a una sección del fuste

v : Volumen maderable

La selección de las ecuaciones se realizó con las siguientes etapas:

Cumplimiento de supuestos teóricos. Se verificó el cumplimiento de la homocedasticidad e independencia de los residuos mediante la representación gráfica de los mismos en función de las predicciones. Los modelos que no cumplieron con algunos de estos supuestos fueron eliminados de las siguientes etapas.

Bondad de ajuste. Se calculó el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el error estándar de la estimación (S_x) y la significancia estadística de los coeficientes de regresión ajustados mediante la prueba de t -student. Aquellos modelos que presentaron al menos un parámetro no significativamente distinto de cero fueron eliminados. Para comparar el error estándar de la estimación (comúnmente calculado en análisis de regresión) de ecuaciones con distintas variables dependientes, se calculó el índice de Furnival (IF). Este índice se obtiene maximizando la función de verosimilitud de cada modelo de volumen en el espacio muestral de la variable dependiente v . La interpretación del IF es de carácter inverso a los de máxima verosimilitud, por lo tanto un valor grande indica ajuste pobre y viceversa.

El IF es determinado mediante la ecuación siguiente:

$$IF = s \cdot \text{antilog} \frac{(\sum f'(y)^{-1})}{n}$$

donde:

s : Desviación estándar del residual de la regresión ajustada

$f'(y)^{-1}$: Recíproco de la derivada de la transformación de la variable y , con respecto a la misma

n : Número de datos

Capacidades predictivas. Fueron evaluadas en la totalidad de la muestra empleada para la validación de los modelos (validación independiente) las capacidades predictivas, con el fin de comparar los modelos. Los estadísticos empleados son la raíz del error cuadrático medio ($RECM$), la diferencia agregada (DA) y la desviación típica del residuo (S_xr) (Prodan *et al.*, 1997).

Estos estadísticos son determinados mediante las siguientes expresiones:

$$RECM\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{1/2}$$

$$DIFA\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \right]$$

donde:

y_i y $\hat{y}_i$: Valor observado y estimado de la medición i -ésima

$\bar{y}$: Promedio

n : Total de observaciones

En los modelos con variables sin transformar se emplea un análisis de comparación prueba t

para muestras relacionados y la representación de la predicciones *vs.* valores reales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *Tabla 2* se observa un resumen de la bondad de ajuste de las ecuaciones seleccionadas. Como se muestra, la ecuación de mejor comportamiento es la 12, quien posee el mayor valor R^2 y $R^2_{ajustado}$ y el menor error típico de estimación.

Tabla 2. Bondad de ajuste de los modelos del volumen por trozas

No.	Modelo	R	R^2	$R^2_{ajustado}$	S_x
1	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}$	0,538a	0,289	0,287	0,052
2	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2$	0,541a	0,293	0,291	0,052
3	$v = b_0 + b_1 d_{1,30} + b_3 d_{1,30}^2$	0,541	0,293	0,290	0,052
4	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^{0,5}$	0,534a	0,285	0,283	0,052
5	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}$	0,340a	0,116	0,114	1,167
6	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 1/\ln d_{1,30}$	0,341a	0,116	0,112	1,168
7	$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2 \ln h$	0,541a	0,293	0,291	0,252
8	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}^2 \ln h$	0,340a	0,116	0,114	1,167
9	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 \ln h$	0,983	0,966	0,966	0,228
10	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + e$	0,978	0,956	0,955	0,413
11	$\ln v = b_0 + b_1 \ln G + b_3 \ln h$	0,978	0,957	0,956	0,258
12	$\log v = b_0 + b_1 \log (d_{1,30}^2 h)$	0,982	0,964	0,963	0,102
13	$v = b_0 \times d^{b_1} \times h^{b_3}$	0,817	0,668	0,664	0,264

Los resultados de los ajustes realizados, específicamente el coeficiente de determinación de las ecuaciones de mejor ajuste, son superiores al 90 %, lo que indica que la variable dependiente volumen tienen una alta capacidad de explicación a partir de las variables independientes diámetros a 1,30 y altura total.

Igualmente no existe prácticamente diferencias entre el coeficiente de determinación normal y el corregido o ajustado, lo que reafirma que no existe sobre ajuste en los datos tomados de cada una de las especies.

Estos resultados discrepan con los encontrados para la especie en Malasia por Wan-Razali *et al.* (1989), así como con los encontrados

para la especie en Brasil por Arruda *et al.* (2000), quien encontró como la ecuación de mejor ajuste la de Meyer con un valor de R^2 de 0,95.

En la *Tabla 3* se muestran la significación de los coeficientes de regresión no estandarizados, contrastando la hipótesis nula de que los coeficientes valen cero en la población $\alpha < 0,05$, la pendiente poblacional de la recta de regresión es significativamente distinta de cero, lo que permite evacuar que entre la relación lineal entre el volumen y las variables predictoras, eliminando de las siguientes etapas los modelos 3, 6, en que se excluye b_3 , 7 y 10, donde se excluye b_3 por tener sig $> 0,05$.

Tabla 3. Significación de los coeficiente de regresión no estandarizados

Modelo	Estimaciones de los parámetros			
	Constante	b1	b2	b3
$v = b_0 + b_1 d_{1,30}$	-0,080 (0,000)	0,009 (0,000)		
$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2$	0,000 (0,948)	-0,001 (0,000)		
$v = b_0 + b_1 d_{1,30} + b_3 d_{1,30}^2$	0,005 0,949	0,0002 (0,286)	-0,001 0,942	
$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^{0,5}$	-0,237 (0,000)	0,074 (0,000)		
$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}$	0,157 (0,000)	-0,376 (0,000)		
$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 1/\ln d_{1,30}$	-8,840 (0,000)	-2,010 (0,000)		
$v = b_0 + b_1 d_{1,30}^2 h t$	1,59E-005 (0,948)	-0,001 (0,000)		
$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30}^2 h t$	-11,492 (0,000)	1,005 (0,000)		
$\ln v = b_0 + b_1 \ln d_{1,30} + b_3 \ln h$	-9,667 (0,000)	2,010 (0,000)	1,168 (0,000)	
$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + e$	0,005 (0,000)	-0,001 (0,000)	1,70E-005 (0,000)	
$\ln v = b_0 + b_1 \times \ln G + b_3 \ln h$	-1,151 (0,000)	0,728 (0,000)	1,494 (0,000)	
$\log v = b_0 + b_1 \log (d_{1,30}^2 h)$	-4,542 (0,000)	1,143 (0,000)		
$v = b_0 \times d^{b1} \times h^{b3}$	0,789 0,039	-0,105 0,018	-0,086 0,008	

Un análisis de las capacidades predictivas del modelo se analizan en la *Tabla 5*, donde el modelo de mejor comportamiento resultó el 11 con el menor valor del índice de Furnival.

Tabla 4. Capacidad predictiva de los modelos

Modelos	DA	RECM	Sx	IF
1	0,0027	0,0518	0,052	0,054
2	0,0027	0,0517	0,052	0,054
4	0,0027	0,0520	0,052	0,054
5	0,0027	0,0522	0,052	0,054
8	1,3392	1,1573	1,160	0,097
9	0,0513	0,2265	0,227	0,029
11	0,0124	0,1112	0,111	0,087
12	0,0104	0,1020	0,102	0,020

El modelo obtenido se corresponde con el reportado para otras especies por Peñalver (1991) para plantaciones de *Eucalyptus* sp. Al igual que Henry (1999), Henry (2002) para *Bursera simaruba* Sargent, *Callophyllum antillanum* Britt, *Bucida palustris* Borhidi y *Lysiloma latisiliquum* Benthén, bosques naturales mixtos de la Ciénaga de Zapata. Por Zaldívar (2000) para *Hibiscus elatus* en la provincia de Pinar del Río, y por Machado (2002) para las especies *Callophyllum utile* Bisse, *Buchenavia capitata* Vahl, *Manilkara albescens* Griseb y Cronquist, *Tabebuia adubia* Wr. ex. Sauv Brit y *Slona acuratellifolia*

Grises en bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo, así como por Lores (2012) para *Carapa guianensis* Aulb, *Andira inermis* SW) y *Callophyllum antillanum* (Britt.) Standl en modelos de volumen de fuste y de ramas en la Empresa Agro-Forestal Baracoa.

Los resultados se encuentran en correspondencia con lo planteado por Henry (2002), quien reafirma que las ecuaciones con transformación logarítmica han dado muy buenos resultados, siendo elegidas como ecuaciones de predicción en todos los casos. Un análisis de los residuos hasta los 5 m de altura se representa en la Fig. 2.

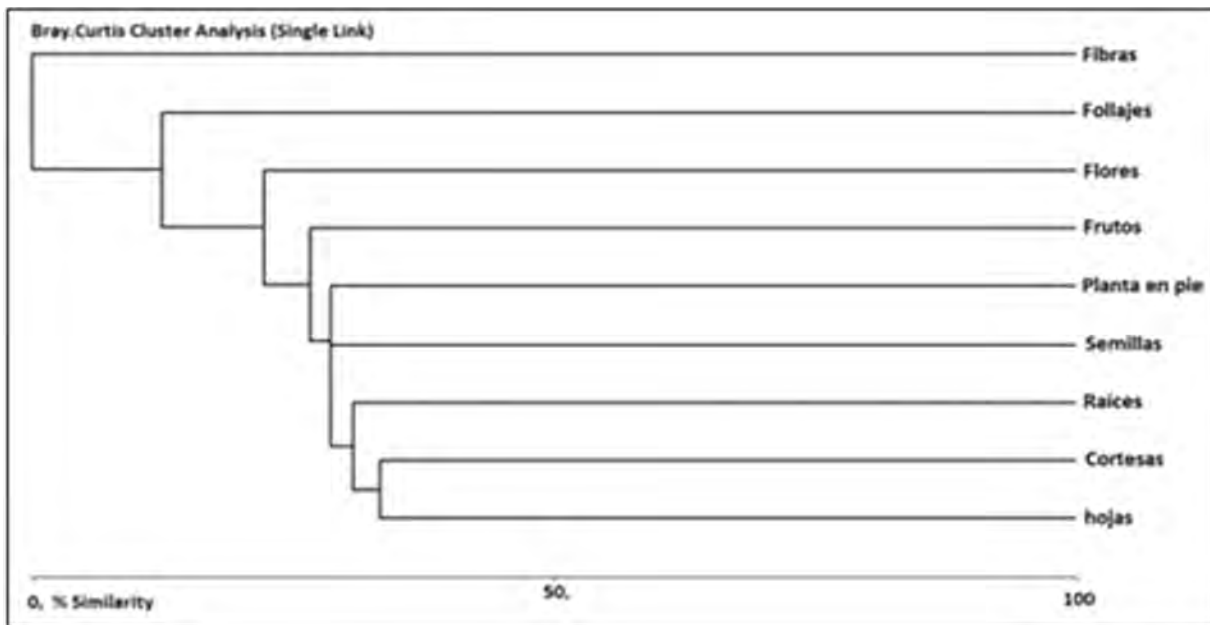


Figura 2. Comportamiento de los residuos del modelo por H_i .

En la Fig. 3 se puede constatar que el volumen tiende a ser exacto en toda esta sección, encontrándose en algunos casos valores de subestimaciones que no llegan a sobrepasar 1 m^3 . Sustituyendo los valores de los coeficientes de regresión no estandarizados, vendría dado el modelo de volumen por la siguiente ecuación:

$$\text{Log } v = -4,542 + 1,143 \text{ Log } (d_{1,30}^2 h)$$

En la Fig. 3 se muestra comportamiento de los residuos en función de los valores estimados para el modelo de mejor bondad de ajuste.

El comportamiento de los residuos (Fig. 3) permite demostrar la inexistencia de independencia de los residuos, así como el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas al no seguir una pauta de asociación específica y encontrándose los mismos entre bandas paralelas.

Así como resultado de un análisis de la muestra de los diámetros normales a las diferentes alturas seleccionada para el ajuste del modelo de volumen con corteza, se construye la Tabla 5.

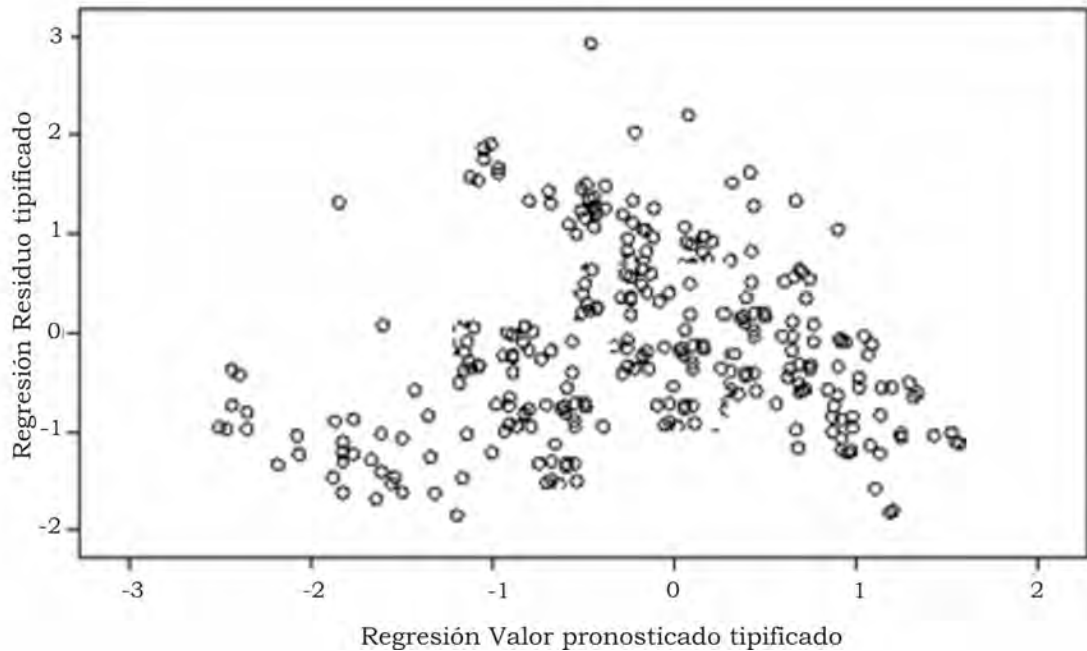


Figura 3. Comportamiento de los residuos del modelo de mejor ajuste para el volumen de trozas.

Tabla 5. Tarifa de cubicación con corteza para *Acacia mangium* EAF Pinar del Río

$d_{1,30}/h$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
6	0,0011	0,0053	0,0134	0,0258								
8		0,0074	0,0186	0,0359	0,0597							
10			0,0240	0,0463	0,0771	0,1170						
12				0,0570	0,0950	0,1440	0,2049					
14				0,0680	0,1132	0,1718	0,2444	0,3316				
16				0,0792	0,1319	0,2001	0,2847	0,3863	0,5057	0,6434	0,8000	0,9760
18					0,1509	0,2290	0,3257	0,4420	0,5785	0,7361	0,9153	1,1167
20					0,1702	0,2583	0,3674	0,4985	0,6526	0,8303	1,0324	1,2596
22					0,1898	0,2880	0,4097	0,5559	0,7277	0,9259	1,1512	1,4046
24					0,2097	0,3181	0,4525	0,6140	0,8038	1,0227	1,2716	1,5515
26						0,3486	0,4959	0,6729	0,8808	1,1206	1,3935	1,7001
28						0,3794	0,5397	0,7324	0,9586	1,2197	1,5166	1,8504
30						0,4105	0,5840	0,7924	1,0373	1,3198	1,6411	2,0022
32						0,4420	0,6287	0,8531	1,1167	1,4208	1,7667	2,1555
34						0,4737	0,6738	0,9143	1,1968	1,5228	1,8935	2,3102
36						0,5057	0,7193	0,9760	1,2776	1,6256	2,0213	2,4661
38							0,7651	1,0383	1,3591	1,7292	2,1502	2,6233

CONCLUSIONES

- La ecuación seleccionada por el método de análisis de regresión lineal para estimar el volumen de madera en bolo con corteza de

Acacia mangium es la definida a partir del producto del logaritmo natural del $d_{1,30}$ y la altura relativa, mostrándose a continuación:

$$\text{Log } v = -4,542 + 1,143 \text{ Log } (d_{1,30}^2 h)$$

BIBLIOGRAFÍA

- Arruda, R.A., Marchesi, C., Mourão, M.A. 2000. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd. CERNE (BR) 6(1):103-107.
- Guelmes, J., Acosta, E. 2008. Proyecto de Ordenación de la Empresa Forestal Integral (EFI) Pinar del Río.
- Henry, P.P. 1999. Elaboración de tablas de cubicación de madera en bolo de *Lysiloma Latisiliquum* Bebth (soplillo) y *Calophyllum antillanum* Britt (ocuje) en la Ciénaga de Zapata. 47 h. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Henry, P.P. 2002. Perfeccionamiento de la cubicación de la madera en bolo de las principales especies de interés económico de la Ciénaga de Zapata. Cuba. 218 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas.) Universidad de Pinar del Río.
- Lores, Y. 2012. Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. 100 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- Machado, G. 2002. Diseño de Inventario Forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- Peñalver, A. 1991. Estudio del Crecimiento y Rendimiento de las plantaciones de Eucaliptus sp de la provincia de Pinar del Río. 100 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P. 1997. Mensura Forestal. Editora IICA. 586 p.
- Wan-Razali, W.M., Klali-Azizi-HanzahChew, T.K. 1989. A volume table for planted *Acacia mangium* in Peninsular Malaysia. Journal Tropical Forest Science (MY) 2(2): 110-121.
- Zaldívar, A. 2000. Estudio dasométrico de plantaciones de *Hibiscus elatus* SW en la provincia de Pinar del Río. 100 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Héctor Barrero Medel

Doctor en Ciencias, profesor titular, profesor de Ordenación de Montes e Inventario, en el pregrado y el posgrado Maestría en Ciencias Forestales, Especialidad de Silvicultura, Doctorado en Ciencias Forestales en la Universidad de Pinar del Río, Cuba, es miembro del Consejo Científico de la Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias y miembro del Tribunal Nacional en Ciencias Forestales. Es autor de más de 15 artículos en revistas referidas y coautor de más de 20 publicaciones en revistas de impacto. Ha participado en varios eventos nacionales e internacionales.