

Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl

Volume table for *Buchenavia capitata*, Vahl

E. Gualvis Machado Carcasés¹, A. Pereira², N. A. Ríos³

Recibido en abril de 2002, aceptado en noviembre del 2003.

RESUMEN

Recientemente se incrementó el manejo de la especie Júcaro amarillo, *Buchenavia capitata*, en bosques pluvisilvas de montaña de la región de Baracoa, provincia de Guantánamo, Cuba. Esto justifica la elaboración de tablas de volumen total con corteza de árboles individuales como una herramienta fiable para la estimación del volumen de esta especie.

Entre 22 modelos comparados, el modelo logarítmico de Spurr es el que mejor ajuste presentó con los datos de la muestra, usando como criterios de selección, el coeficiente de determinación, el error estándar y el índice de Furnival

Palabras clave: Tabla de volumen de árbol individual, bosques pluvisilvas de montaña, *Buchenavia capitata* Vahl, modelos de regresión, relaciones alométricas

ABSTRACT

Management activities for Júcaro amarillo, *Buchenavia capitata* in Baracoa's mountain rainforest region, province of Guantánamo, Cuba, are increasing. Thus, elaboration of volume tables for individual trees is justified to estimate wood volume for this species. This works deals with different criteria for assessing model fit.

Among 22 models tested, the logarithmic Spurr model proved to be the best according to R-square, standard error and Furnival index.

Key words: Volume table for individual trees, mountain rainforest, *Buchenavia capitata*, regression models, allometric relationships

1. INTRODUCCIÓN

Al noreste de la provincia de Guantánamo se encuentran los bosques pluvisilvas de montaña (Bisse, 1981) que ocupan una superficie de 27402,9 ha y tienen una gran importancia como bosques productores y protectores de agua y suelos. *Buchenavia capitata* Vahl es una de las principales especies de valor comercial que componen estos bosques y para llevar a cabo su evaluación económica hacen faltas tablas de cubicación de árboles individuales que den las suficientes garantías en las estimaciones volumétricas.

La necesidad de disponer de una herramienta sencilla que permita la obtención de valores precisos de las existencias de una especie es vital para la planificación de la gestión de las masas forestales y para su ordenación sostenible. Este trabajo tiene como objetivo seleccionar el modelo de cubicación de mejor ajuste para la construcción de la tabla de volumen de *Buchenavia capitata* Vahl, mediante los métodos estadísticos - matemáticos de análisis de regresión.

¹ Centro Universitario de Guantánamo. Carretera Santiago de Cuba km 2 ½ . E-Mail: Gualvis@af.upr.edu.cu.

² Universidad Pinar del Río, Departamento Producción Forestal. Cuba

³ Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1012, 4200 Santiago del Estero, Argentina

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado para *Buchenavia capitata* Vahl que se encuentra formando parte de los bosques pluvisilvas de montaña en la región de Baracoa, provincia de Guantánamo, Figura 1.

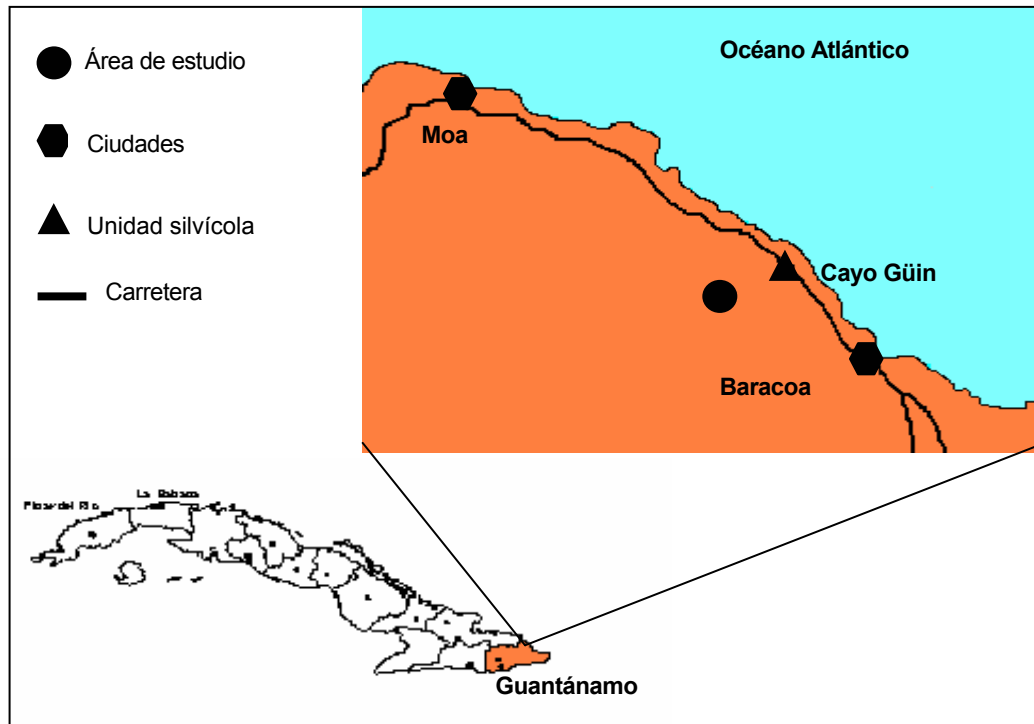


Figura 1. Localización del área de estudio.

Como muestra se seleccionaron aleatoriamente 66 árboles “tipos” en una superficie de 1369 hectáreas. Esta cifra se corresponde con lo planteado por Loetsch, Zöher y Haller (1973), quienes aconsejan entre 50 y 100 árboles tipos para tabla de cubicación de aplicación local. Además, Prodan et al. (1997) plantean que en el caso de las regresiones no existe una expresión explícita para determinar el tamaño de la muestra con vista a obtener una precisión dada.

A cada árbol de la muestra se le midió el diámetro a 1.30 metros sobre el suelo con cinta diamétrica y la altura total con el Hipsómetro de Christen. Posteriormente se talaron con motosierra, dejando el tocón a una altura de 0,30 metros sobre el nivel del suelo. A los árboles derribados se le midió el diámetro con corteza a partir de la base y cada 0,50 m hasta la bifurcación que define el fuste del árbol, también se midieron las ramas hasta un diámetro mínimo de 0,02 m. El volumen total con corteza se determinó a través de la sumatoria de los volúmenes reales de cada sección calculadas mediante la fórmula de Smalian.

En total se probaron 22 modelos matemáticos de simple, doble y triple entradas, usualmente utilizados en diferentes regiones del mundo, los cuales se presentan en las Tablas 1, 2 y 3, conjuntamente, con los coeficientes de determinación (R^2), el error estándar (S_x) y el índice de Furnival. El ajuste de estos modelos se realizó mediante regresiones por mínimos cuadrados con la ayuda del paquete estadístico SPSS.10.

Selección de la mejor ecuación

La selección de la ecuación o modelo matemático que mejor estima el volumen se basó en el modelo que mayor coeficiente de determinación presentó, el menor error estándar de estimación, con el menor número de variables independientes (Cailliez, 1980).

Teniendo en cuenta que se utilizaron modelos con y sin transformaciones logarítmicas, fue necesario la determinación del Índice de Furnival (IF) el cual es utilizado para la comparación de ecuaciones de regresión con transformación de la variable independiente (Furnival, 1961) y se calculó con la fórmula:

$$IF = s_x * anti \log \left[\left(\sum \log f'(y) \times^{-1} n^{-1} \right) \right]$$

Donde: S_x = error estándar de estimación, n = número de observaciones

$f'(y)x^{-1}$ = recíproco de la derivada de transformación de las variables.

Validación de los resultados

El interés primordial del proceso de validación es asegurar que los resultados sean generalizables a la población y que no sean específicos de la muestra utilizada para la estimación (Hair et al., 1999). Una alternativa práctica de validación utilizada en este trabajo es aquella que considera las técnicas estadísticas de análisis de residual entre los valores estimados por el modelo y los datos para su construcción. Para realizar la validación del modelo seleccionado fueron derribados y cubicados 25 árboles de la especie objeto de estudio y con el objetivo de determinar la calidad de las estimaciones se calculó, coincidiendo con lo planteado por Prodan et al. (1997) los estadísticos:

$$\text{Error medio absoluto (EM)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(v_i - \bar{v}_i \right)$$

$$\text{Error medio absoluto porcentual (EMa \%)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| 100 \left(\frac{v_i - \bar{v}_i}{\bar{v}_i} \right) \right|$$

$$\text{Desviación global DG \%} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i - \sum_{i=1}^n \bar{v}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{v}_i} * 100$$

Donde: v_i = volumen individual de cada árbol en la muestra

\bar{v}_i = volumen medio estimado del árbol i de la muestra

n = número de árboles

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1, 2 y 3 se observa que, como es lógico, a mayor número de variables independientes se han obtenido mejores ajustes; así los modelos que aportaron mejores resultados son los obtenidos a partir de datos de diámetro normal y altura total. Los mejores son el 6, 15 y 21 que corresponden a transformaciones logarítmicas de las variables.

Los modelos desarrollados en función de valores de diámetro normal y altura total responden bien cuando se aplican transformaciones logarítmicas de las variables. Excepto el modelo 22 donde se utilizan diámetros a altura i sobre el nivel del suelo.

Tabla 1. Modelos matemáticos de simple entrada con sus estadísticos

N	AUTOR	MODELO	R ²	S _x	I.F
1	Kopezky – Gehrhardt	$v = b_0 + b_1 d^2$	0,65	0,443	0,443
2	Dissescu – Meyer	$v = b_1 d + b_2 d^2$	0,68	0,328	0,328
3	Hohenadl – Krenn	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	0,70	0,276	0,276
4	Berkhout	$v = b_0 d^{b_1}$	0,67	0,333	0,333
5	Hummel	$\log v = b_0 + b_1 \log d$	0,81	0,251	0,204
6	Brenac	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \frac{1}{d}$	0,85	0,188	0,190
7	Hummel	$v = b_0 + b_2 g$	0,68	0,490	0,490

b_0, b_1, b_2 : coeficientes de regresión; v : volúmenes; g : área basal; d : diámetro normal

Tabla 2. Modelos matemáticos de doble entrada con sus estadísticos

No	AUTOR	MODELO	R ²	S _x	I.F
8	Spurr	$v = b_0 + b_1 d^2 h$	0,73	0,314	0,314
9	Schumacher - Hall	$v = b_0 d^{a_1} h^{a_2}$	0,79	0,296	0,296
10	Honner	$v = \frac{d^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h}}$	0,68	0,424	0,424
11	Ogaya	$v = d^2 (b_0 + b_1 h)$	0,70	0,397	0,397
12	Stoate	$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$	0,81	0,288	0,288
13	Naslund	$v = b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 d h^2 + b_4 h^2$	0,84	0,267	0,267
14	Takata	$v = \frac{d^2 h}{b_0 + b_1 d}$	0,78	0,301	0,301
15	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$	0,89	0,029	0,037
16	Meyer	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + b_5 h$	0,85	0,164	0,164

a_1, a_2 : coeficientes de regresión de la fórmula de Schumacher – Hall; h : altura.

Entre los modelos probados fue seleccionado con mejor ajuste el logarítmico de Spurr (15), debido a que presentó alto coeficiente de determinación y bajo error estándar e índice de Furnival, además de su simplicidad al tener solamente dos variables, es decir, en este se combinan sencillez y facilidad de aplicación práctica.

Tabla 3. Modelos matemáticos de triple entrada con sus estadísticos

No	AUTOR	MODELO	R ²	S _x	I.F
17	Spurr	$v = b_0 + b_1 k_i (d^2 h)$	0,57	0,470	0,470
18	Spurr	$v = b_0 + b_1 k_i + b_2 (d^2 h) + b_3 k_i (d^2 h)$	0,84	0,247	0,247
19	Schiffel	$v = d^2 h \left(b_0 + b_1 k + b_2 \frac{1}{kh} \right)$	0,79	0,309	0,309
20	Ogaya	$v = b_0 + b_1 d_{0,5h} + b_2 (dh)$	0,81	0,285	0,285
21	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h + b_3 \log d_i$	0,87	0,165	0,066
22	Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(d_i dh)$	0,74	0,274	0,103

d_i: diámetro a la altura i sobre el suelo; d_{0,50h}: diámetro a una altura relativa sobre el suelo; k: coeficiente de forma artificial que tiene como valor d_{0,5h}/d; k_i: coeficiente de forma artificial que tiene como valor d_i/d; i: altura de medición sobre el suelo.

En Cuba, este modelo (15) fue probado con éxito por Peñalver (1987) en *Eucalyptus sp.*, Báez (1988) en *Casuarina equisetifolia*, Ares et al. (1989) en bosques naturales de *Pinus tropicalis*, Padilla (1999) en plantaciones de la misma especie y Zaldivar (2001) en plantaciones de *Hibiscus elatus*. Lo que reafirma que el ajuste de ecuaciones de volumen por procedimientos logarítmicos provee de consistentes y lógicos estimadores y satisface los requisitos usuales de la regresión, por lo que no se considera otro tipo de transformación (Loetsch, Zohrer y Haller, 1973).

La ecuación de regresión obtenida fue:

$$\log v = -0,391544 + 0,950009 (\log d^2 \times h)$$

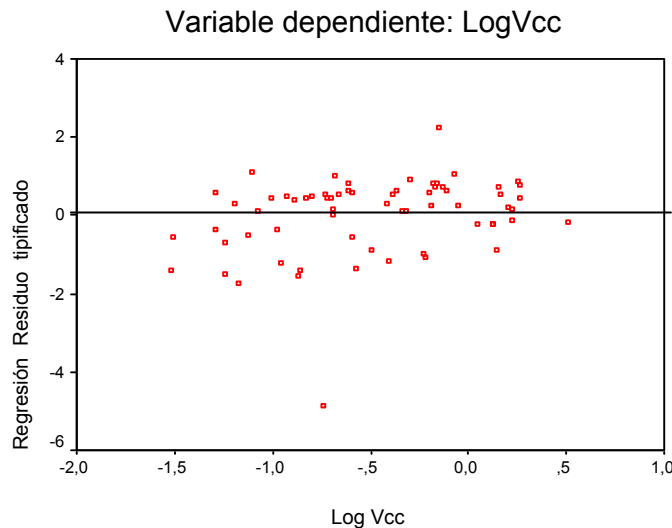
El análisis de varianza muestra la calidad del ajuste para la ecuación, con una alta significación estadísticas entre la variable independiente y la variable dependiente.

Análisis de varianza para la regresión

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	13,697	4	3,424	166,436	0,000
	Residual	1,255	61	2,057E-02		
	Total	14,952	65			

Al realizar la verificación de los principales supuestos de la regresión mediante un análisis gráfico de los residuos, Figura 2, se observa una buena distribución de los puntos a ambos lados de la línea cero y que los datos cumplen con los requisitos de normalidad y homogeneidad de la varianza para realizar el análisis de la regresión.

Figura 2. Representación gráfica de los residuos



La calidad en las estimaciones obtenidas mediante el proceso de validación fue de $EM = 0,035$; $EMa \% = 9,0$ y una $DG = 7,63$. Como se observa los errores absolutos son bajos y la desviación global esta por debajo de un 10 % por lo que satisfacen los requerimientos para este trabajo y aportan exactitud en las estimaciones del volumen total en la especie objeto de estudio.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo logarítmico de Spurr; $\log v = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$ fue el que mayor confiabilidad estadística y práctica brindó para construir la tabla de volumen total con corteza en la especie *Buchenavia capitata* Vahl. Se recomienda elaborar la tabla de volumen total a partir de la ecuación:

$$\log v = -0,391544 + 0,950009 (\log d^2 \times h)$$

y probar los modelos anteriores con otras especies de los bosques pluvisilvas de montaña, ya que este trabajo constituye un primer intento para la ordenación sostenible de los recursos forestales en la región.

REFERENCIAS

- Ares, A. E.; A. Puentes; N. Guerra y A. Jozil. 1989: Tabla para la cubicación del producto de tala rasa en *Pinus tropicalis* Morelet. para la Provincia de Pinar del Río. V Conferencia Provincial de las Brigadas Técnicas Juveniles.
- Báez, R. 1988: Estudios dasométricos de plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. en suelos cenagosos de la Provincia Habana. “Tesis en opción al grado de candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas”. INCA. 125 p.
- Bisse, J. 1981: Árboles de Cuba. Editorial Científico – Técnica, Ciudad de la Habana. Cuba. 383 p.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 22/1: Estimación del Volumen. Estudio FAO: Montes Roma. 91p.
- Furnival, G. M. 1961: An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science 7: 337-341.
- Hair, J. F.; Anderson, E.; Tatham, R. y Black, W. 1999: Análisis Multivariante, Prentice Hall. Universidad Autónoma de Madrid. Quinta Edición. 798 p.
- Loetsch, F.; Zöhrer, F and Haller, K.E. 1973: Forest Inventory. Vol.2 BLV Verlagsgesellschaft, München, Wien. 469 p.
- Padilla, G. 1999: Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet. “Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias forestales”. Universidad de Pinar del Río. 90 p.
- Peñalver, A. 1987: Estudio de la forma del fuste del *Eucalyptus* sp. Informe de Investigación. Facultad Forestal, Centro Universitario de Pinar del Río.
- Prodan, M.; P. Rolan; F. Cox y P. Real. 1997: Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 586 p.
- Zaldivar, A. 2001: Tablas dasométricas para plantaciones de *Hibiscus elatus* en la Provincia de Pinar del Río. “Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias forestales “. Universidad de Pinar del Río.

