

Estimación de la biomasa de ramas secas en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse de la provincia Granma, Cuba

Estimate of the dry branches biomass in plantations of *Pinus maestrensis* Bisse in the Granma province, Cuba

Dr. Héctor Barrero Medel*, Dr. Wilmer Toirac Arguelle, Dr. José Antonio Bravo Iglesias, Dr. Alberto Vidal Corona, Ing. Arlety Ajete Hernández, MSc. Bertha Rita Castillo Edua

* Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”, calle José Martí Pérez no 270 final.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo estimar la biomasa de ramas seca de *Pinus maestrensis* Bisse en plantaciones de la provincia Granma, para lo cual se talaron 138 árboles tipos, seleccionados a partir de la ejecución de un muestreo aleatorio simple de 40 rodales; los cuales fueron desramados y desfoliados, y se realizó el pesaje por separado de la biomasa de ramas de cada uno de los mismos, lo que se determinó a partir del contenido de humedad en muestras representativas de las ramas, tomadas al azar, y secadas en estufas a 105°C hasta llevarlas a peso constante, para luego convertir los valores a peso seco. Para estimar biomasa de ramas seca se evaluaron cuatro modelos de regresión, donde el modelo que mejor bondad de ajuste presentó fue el logarítmico, con coeficiente de determinación y coeficiente de determinación ajustado de 94,4 y 94,3 %, parámetros con alta significación ($P < 0,001$) y menor valor de índice de Furnival.

Palabras claves: *Pinus maestrensis* Bisse, biomasa de ramas seca, modelos de regresión.

ABSTRACT

This study aimed to estimate the biomass of dry branches of *Pinus* plantations *maestrensis* Bisse in Granma province. To which 138 trees were felled types selected from the execution of a simple random sample of 40 stands; which were pruned and defoliated, carrying out weighing separately biomass branches of each of the same, determined from the moisture content of representative samples of the branches taken at random and dried in stove at 105 ° C until bring to constant weight, and then convert the values to dry weight. To estimate biomass of dry branches four regression models, where the model presented better goodness of fit was logarithmic, with coefficient of determination and adjusted coefficient of determination of 94.4 and 94.3%, highly significant parameters were evaluated ($P < 0.001$) and lower index value Furnival.

Key words: *Pinus maestrensis* Bisse, biomass of branches, regression models.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, la biomasa forestal y los residuos de los cultivos agrícolas han sido extensamente utilizados para la producción de calor (como combustible para hogares residenciales, panaderías y herrerías.). Durante el siglo XX, la biomasa ha sido fuente de materias primas para la industria química, a partir de la destilación de la madera. La misma también, es un componente importante para la construcción, y es un material de elevado interés económico para la industria de muebles (Martínez, 2009).

Fonseca, W; Alice, F. y Rey, J. M. (2009), refieren que la biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal.

Según Noack (1995), el nivel de desechos producidos, tanto en los bosques como en las plantas procesadoras, constituye un obstáculo para la sustentabilidad de los bosques y la industria forestal. En los últimos tiempos, la necesidad de la estimación racional e integral de toda la biomasa forestal aprovechable, así como la predicción de los incrementos potenciales de la misma, se ha convertido en un importante aspecto a tener en cuenta, dada la enorme cantidad de alternativas de usos, tanto dentro de la planificación productiva como en su desarrollo científico técnico (Ritchie y Hann, 1990). Esta problemática se manifiesta en las diferentes empresas forestales del país.

El objetivo de este trabajo fue estimar la biomasa de ramas secas de *Pinus maestrensis* Bisse en plantaciones de la provincia Granma.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Empresa Forestal Integral Granma, en la provincia de igual nombre, abarcando los municipios Jiguaní, Buey Arriba, Guisa y Bayamo. Dicha provincia limita por el norte con la provincia de Holguín, al sur, con el mar Caribe y la provincia de Santiago del Cuba, al oeste, con el Golfo de Guacanayabo y al este, con la provincia de Santiago de Cuba. El suelo es ferralítico rojo lixiviado, la temperatura media, de 26,5 °C y los valores de precipitación anual son de 1 288 mm. (Mogena, O; Cuesta; Y. Rodríguez y B. Zamora, 2007).

Para la investigación se talaron 138 árboles tipos, seleccionados a partir de la ejecución de un muestreo aleatorio de 40 rodales, los cuales fueron desramados y desfoliados, Y se realizó el pesaje por separado de la biomasa de ramas de cada uno de los árboles, donde se determinó el peso seco a partir del contenido de humedad en muestras representativas de las ramas, tomadas al azar, y secadas en estufas a 105°C hasta llevarlas a peso constante. Procedimientos similares fueron realizados por Schlegel, B; J Gayoso; J Guerra. (2001), Loguercio y Defossé (2001), Montero y Kanninen (2002), Fonseca et al. (2009), Gyeng, J.; M.

E. Fernández; M. Sarasola; M. De Urquiza y T. Schlichter (2009) utilizando la fórmula que se muestra a continuación:

$$CH = \frac{Phs - Pss}{Pss} * 100 \quad (10)$$

Dónde:

CH : Contenido de humedad

Phs : Peso húmedo

Pss : Peso seco

Análisis estadístico

Para estimar la biomasa de rama seca, a partir del diámetro normal ($d_{1,30}$), se empleó la regresión lineal, donde se utilizaron para el ajuste los modelos de regresión que se presentan en la tabla I.

Tabla I. Modelos probados para estimar el diámetro normal

Modelo	Expresión matemática del modelo
Lineal	$Y = a + b * X$
Polinomio de 2 ^{do} Grado	$Y = a + b * X + c * X^2$
Polinomio de 3 ^{er} Grado	$Y = a + b * X + c * X^2 + d * X^3$
Logarítmico	$\ln Y = a + b * \ln X$

Table I. Proved Models to estimate the normal diameter

donde:

a: Constante

b, c y d: Coeficientes de regresión

X: diámetro normal ($d_{1,30}$)

Para el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Furnival (1961), Alder (1980), Prodan, M.; R. Peters; F. Cox y P. Real (1997), Kiviste, A; J. G. Álvarez; A. Rojo y A. D. Ruíz (2002), Guerra, C. W.; A. Cabrera y L. Fernández (2003), Torres y Ortiz (2005).

- 1 Coeficiente de determinación (R^2): declara que porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
- 2 Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{ajust}): es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación original de acuerdo a los grados de libertad del modelo.
- 3 Sesgo o Diferencia agregada (DA): evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados.
- 4 Error medio cuadrático (CME): informa sobre la precisión de las estimaciones.
- 5 Error medio en valor absoluto (EMA): da una idea de la magnitud media de los errores independientemente de su signo.
- 6 Significación estadística del modelo: expresa el error α para el modelo.
- 7 Significación estadística de los parámetros de los modelos: expresa el error α para cada parámetro del modelo.
- 8 Error estándar del modelo (EEE): permite determinar los intervalos de confianza para el modelo.
- 9 Error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo: permite determinar los intervalos de confianza para los parámetros.
- 10 Estadístico Durbin- Watson (D-W): revisa los residuos para determinar si hay correlación significativa
- 11 Índice de Furnival (IF): es utilizado para la comparación de ecuaciones de regresión con transformación de la variable independiente, teniendo en cuenta que se utilizaron modelos con y sin transformaciones logarítmicas.

Para el ajuste de los modelos se utilizaron 73 muestras y para la validación 65 muestras. Se empleó un nivel de significación del 5% para el análisis de varianza de las regresiones, utilizándose los programas estadísticos STATGRAPHICS Plus versión 5.1 (1995) e InfoStat (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis de regresión lineal se presenta la tabla II, donde se observa el buen comportamiento de ajuste y predicción de todos los modelos probados donde se cumple el supuesto de independencia de los residuos, al poseer valores del estadístico Durbin – Watson en el intervalo de 1,5-2,5 teniendo una bondad de ajuste con coeficientes de determinación ajustado por encima del 92 %, y con un alto nivel de exactitud y precisión.

Tabla II. Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para la biomasa de rama seca.

Modelo	Lineal	Polinomio 2^{do} Grado	Polinomio 3^{er} Grado	Logarítmic o
R ²	92,1	92,2	92,4	94,4
R ² _{ajustado}	92,0	92,0	92,0	94,3
DA	0,00	0,01	-0,58	-1,25
E E E	±13,66	±13,73	±13,65	±0,22
EMA	9,5873	9,5468	9,3696	0,1669
CME	186,675	188,522	186,428	0,0480
D-W	1,64	1,63	1,64	1,65
	NS	NS	NS	NS
IF	3,0934	3,1059	3,2855	2,7662
P- valor	***	***	***	***

Table II. Fit statistics and estimates of model parameters for biomass dry branch.

Tabla III. Significación de los coeficientes de regresión no estandarizados de modelos para la biomasa de rama seca analizados.

	Lineal	Polinomio 2^{do} Grado	Polinomio 3^{er} Grado	Logarítmico
	-49,6629	-42,9542	-5,9432	-3,0748
a	±4,8141	±12,3745	±30,3818	±0,2111

		***	***	NS	***
		4,4159	3,9072	-0,8534	2,1684
Parámetros	b	±0,1544	±0,9209	±3,6885	±0,0634
		***	***	NS	***
			0,0088	0,1905	
	c	---	±0,0157	±0,1373	---
			NS	NS	
				-0,0021	
	d	---	---	±0,0016	---
				NS	
		*** 0,001	** 0,01	* 0,05	NS- no significativo

Table III. Significance of the regression coefficients nonstandard models for biomass dry branch analyzed.

Como se pudo constatar en las tablas II y III, al modelo logarítmico le corresponde la mejor bondad de ajuste con el mayor valor de $R^2_{ajustado}$, el menor valor del IF, y significativos sus coeficiente de regresión no estandarizados, así como la mejor capacidad predictiva con exactitud y un sesgo con tendencia a la sobrestimación alrededor del 1%.

Sustituyendo los coeficientes de regresión no estandarizados el modelo se representa a continuación:

$$\ln BRS = -3,0748(\pm 0,2111) + 2,1684(\pm 0,0634) * \ln d_{normal}$$

La figura 1 muestra el comportamiento del modelo logarítmico ajustado a la biomasa de rama seca. Se destaca de manera general el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal.

Figura 1. Modelo logarítmico ajustado a la biomasa de rama seca.

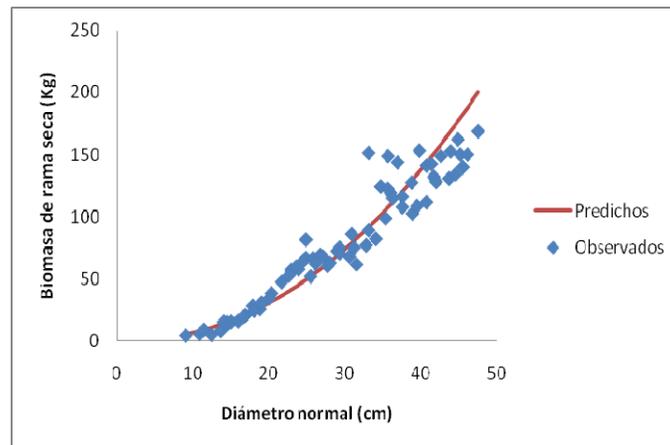


Figure 1. Logarithmic model adjusted to the biomass of dry branch.

Así, suministrándole valores de la variable predictora diámetro normal, a partir de un valor mínimo 9 cm hasta un máximo de 47 cm, se obtiene la tabla del anexo 1 (Anexo 1).

El tipo de modelo logarítmico obtenido se corresponde con los obtenidos en Cuba por Vidal, A.; J. Rodríguez; J. Y. Benítez; R. C. Álvarez y H. Gra (2002), Vidal, A.; J. Y. Benítez; J. Rodríguez; R. C. Álvarez y H. Gra (2004), Vidal, A.; J. Rodríguez; J. Y. Benítez y W. Toirac (2011), para bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet, plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barret y Golfari, y plantaciones de *Pinus cubensis* Griseb respectivamente, nivel internacional por Fonseca *et al.* (2009), en bosque secundario en zona del Caribe de Costa Rica y con logarítmico con base 10 por Rodríguez (1999), para *Eucalyptus saligna* Smith, teniendo como variable independiente el producto del diámetro normal con el cuadrado de la altura; así con modelos logarítmicos con más de una variable predictora por González (2008) para *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz, *Quercus* sp, y *Pinus maximinoi* H. E. Moore, en el estado de Chiapas, México; así discrepa con modelos exponenciales encontrados por Montero y Kanninen (2002), para *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell, en la zona sur de Costa Rica con Benítez (2006) para *Casuarina equisetifolia* Forst, en plantaciones de la provincia Camagüey, y con Flores, P.; M. M. López; G. Ángeles; M. L. Isla y G. Calva. (2012) para *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. et Cham.

CONCLUSIONES

- El modelo de mejor ajuste para la estimación de la biomasa de ramas seca resultó: $\ln BRS = -3,0748(\pm 0,2111) + 2,1684(\pm 0,0634) * \ln d_{normal}$
- La tabla de biomasa de rama seca de las plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse constituye una herramienta de gran importancia para la toma de decisiones por los gestores del manejo y aprovechamiento en la práctica social del sector forestal en la provincia Granma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, D. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. *FAO*, 1980, **2**, 80.
- BENÍTEZ, J. Y. *Estimación de la biomasa total en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst de la provincia Camagüey*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Forestales, 2006. [Consulta 26 de septiembre 2012] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/481/48101106.pdf>
- FLORES, P et al. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (kunth) Schltdl. et Cham., en proceso de declinación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2012, **2** (8). [En línea] [Consulta 30 de agosto 2012]. PDF. Disponible en: www.revistasinifap.org.mx/index.php/.../197
- FONSECA, W.; ALICE, F. y REY, J. M. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques Secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, 2009, **30**(1), 36-47 [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v30n1/art06.pdf> [Consulta 28 de agosto 2012] PDF.
- FURNIVAL, G. M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *For. Sci*, 1961, **7**, 337- 340.

- GONZÁLEZ, M. *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus sp. en el norte del Estado de Chiapas, México.* Tesis presentada en opción al grado de *Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Escuela de Postgrado. Turrialba, Costa Rica, 2008. [En línea]. [Consulta 21 de mayo 2013]. PDF. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2922e/A2922e.pdf>
- GUERRA, C. W.; A. CABRERA y L. FERNÁNDEZ. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 2003, **37** (1), 3-10.
- GYENG, J et al. Ecuaciones para la estimación de biomasa aérea y volumen de fuste de algunas especies leñosas nativas en el valle del río Foyel, NO de la Patagonia Argentina. *Revista Bosque*, 2009, **30**(2), 95-101 [En línea] [Consulta 24 de abril 2013]. PDF. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v30n2/art05.pdf>
- InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.
- KIVISTE, A et al. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2002.
- LOGUERCIO, G. A. y G. DEFOSSÉ. Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de la LENGUA *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Ende) Krasser, en el So de CHabut. En: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura del Carbono en Ecosistemas Forestales, 2001, p.11.
- MARTÍNEZ, S. *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña.* Tesis Doctoral, Universidad de Girona, 2009. ISBN: 978-84-692-5161-4.
- MOGENA, O et al. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal. 2006- 2015. Empresa Forestal Integral Bayamo, 2007.
- MONTERO, M. y M. KANNINEN. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*, 2002, 39-40 y 50-55.

- MONTERO, M. y M. KANNINEN. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*, 2002, 39-40 y 50-55.
- NOACK, D. 1995. Cómo aprovechar mejor las maderas de los trópicos. *Actualidad Forestal Tropical*. OIMT, 1995, **3**, (2), 12- 13.
- PRODAN, M et al. *Mensura Forestal*. San José: Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1997. ISBN: 92-9039-304-1.
- RITCHIE, M.; D. W. HANN. Equations for predicting the 5- year height of six conifers in Southwest Oregon. Oregon State University. *Research Paper*, 1990, 12 p.
- RODRÍGUEZ, J. La estimación de la biomasa verde de copa de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus Pellita* F. Muell. Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Master en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 1999.
- SCHLEGEL, B; J GAYOSO; J GUERRA. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos. [En línea]. Chile: Valdivia, 2000. [Consulta 12 de octubre 2013]. PDF. Disponible en: http://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia_destrutivo
- Software estadístico Statgraphics Plus version 5.1 sobre Windows, 1995.
- TORRES. V. y J. ORTIZ. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 2005, **39** (Número especial).
- VIDAL, A et al. Compendio de tablas para la determinación de la biomasa de copa de especies forestales. 5to. En: Congreso Forestal de Cuba Abril/2011 [En línea] [Consulta 1 de octubre 2012]. PDF. Disponible en: [http://bva.fao.cu/pub_doc/FORESTALES/Revista Espec. 2011](http://bva.fao.cu/pub_doc/FORESTALES/Revista_Espec.2011)
- VIDAL, A et al. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus tropicales* Morelet en la Empresa Forestal Integral Macurije de la provincia de Pinar del Río. *Revista Floresta*, 2002, **32** (2), 261-265 [En línea] [Consulta 1 de

octubres 2012]. PDF. Disponible en:
<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/download/2290/1912>
[Filename:2290-4364-1-PB.pdf](#)

- VIDAL, A et al. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la E.F.I. La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Quebracho*, 2004, 11, 60-66. [En línea] [Consulta: 27 de septiembre 2012]. PDF Disponible en:
www.tdx.cat/bitstream/10803/7920/1/tsml1de1.pdf.

ANEXOS

Anexo 1. Estimación de la biomasa de rama seca.

Annex 1. Estimate of the dry branch biomass.

D_{1,30} (cm)	BRS (kg)	D_{1,30} (cm)	BRS (kg)	D_{1,30} (cm)	BRS (kg)	D_{1,30} (cm)	BRS (kg)
9	5,42	19	27,38	29	68,50	39	130,23
10	6,81	20	30,60	30	73,73	40	137,57
11	8,37	21	34,02	31	79,16	41	145,14
12	10,11	22	37,63	32	84,80	42	152,93
13	12,03	23	41,44	33	90,65	43	160,93
14	14,12	24	45,44	34	96,71	44	169,16
15	16,40	25	46,95	35	102,99	45	177,61
16	18,86	26	54,06	36	109,48	46	186,28
17	21,51	27	58,67	37	116,18	47	195,17
18	24,35	28	63,48	38	123,09		

D_{1,30}: Diámetro 1,30 m de altura del suelo

BRS: Biomasa de rama seca

Aceptado: 29/01/2015