

MODELOS PARA ESTIMAR LA BIOMASA AÉREA TOTAL VERDE SIN CORTEZA Y POR COMPONENTES EN PLANTACIONES DE *PINUS MAESTRENSIS* BISSE EN LA SIERRA MAESTRA, CUBA

MODELS TO ESTIMATE THE BIOMASS AIR GREEN TOTAL WITHOUT BARK AND FOR COMPONENTS IN PLANTATIONS OF *PINUS MAESTRENSIS* BISSE IN THE SIERRA MAESTRA, CUBA

DR. WILMER TOIRAC-ARGUELLE¹, DR. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS¹, DR. HÉCTOR BARRERO-MEDEL²,
DR. ALBERTO M. VIDAL-CORONA¹ Y DRA. ARLETY AJETE-HERNÁNDEZ¹

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Investigación e Innovación Tecnológica.
Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba, wilmer@forestales.co.cu

² Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Calle Martí y Final, Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

La importancia de los bosques como reguladores del cambio climático y la necesidad de emplear modelos matemáticos para estimar la biomasa en los ecosistemas forestales hacen posible el desarrollo del objetivo de este trabajo: ajustar un modelo para estimar la biomasa aérea total verde sin corteza y por componentes en plantaciones de la especie *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia de Granma. En este estudio, a partir de un muestreo destructivo, se derribaron y cubicaron rigurosamente 138 árboles tipos de *Pinus maestrensis* Bisse, seleccionados por clase diamétrica y de edades, utilizándose 73 árboles para el ajuste y 65 para la validación. Se evaluaron cuatro modelos de regresión, donde los modelos que mejor bondad de ajustes presentaron fueron los logarítmicos. El factor de expansión de la biomasa (FEB) se obtuvo por clase diamétrica. La biomasa total estimada representó el 98,6 % de la biomasa total calculada.

Palabras claves: Biomasa aérea total verde sin corteza, *Pinus maestrensis* Bisse, modelos de regresión.

ABSTRACT

The importance of the forest like regulators of the climatic change and the necessity to use mathematical models to estimate the biomass in the forest ecosystems makes possible the development of the objective of this work: to build models to estimate the biomass air green total without bark and for component in plantations of the species *Pinus maestrensis* Bisse in the county of Granma. In this study starting from a destructive sampling were demolished and they cubed 138 trees types of *Pinus maestrensis* rigorously Bisse, selected by class diamétrica and of ages, being used 73 trees for the adjustment and 65 for the validation. Four regression models were evaluated, where the models that better kindness of adjustments presented the Logarithmic ones. The Factor of expansion of the biomass (FEB) it was obtained by class diamétrica. The estimated total biomass represented 98,6 % of the calculated total biomass.

Key words: Biomass air green total without bark, *Pinus maestrensis* Bisse, 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, panaderos, herreros). Durante el siglo XX ha sido fuente de materias primas para la industria química a partir de la destilación de la madera. La biomasa también es un componente impor-

tante para la construcción, y es un material de elevado interés económico para la industria de muebles (Martínez, 2009).

El uso del peso para expresar la cantidad de productos forestales, y ahora la necesidad de medir la biomasa de rodales, ha impulsado el desarrollo de métodos para estimar el peso

de los árboles en pie. Se puede realizar la estimación de peso directamente si existen funciones previamente desarrolladas, y si no existen se puede convertir estimaciones de volúmenes a peso. Para preparar funciones de peso se utilizan los mismos modelos usados para la construcción de tablas de volumen (Bertram, 2001).

En Cuba para la estimación de la biomasa forestal con diferentes fines, tanto energético como industrial, sobresalen los estudios realizados por Vidal (1995), con el método multipropósito de estimación de biomasa de copa para diversos fines económicos y ambientales, donde desarrolla modelos que permiten estimar la biomasa del *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari y *Pinus tropicales* Morelet. Por su parte, Rodríguez (1999) desarrolla modelos para estimar la biomasa verde de copa de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell., mientras Benítez (2006) lo hace para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst, y Toirac (2014) en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse.

La importancia de los bosques como reguladores del cambio climático, la necesidad de emplear modelos matemáticos para estimar la biomasa en los ecosistemas forestales dado por la tendencia creciente del empleo de la biomasa forestal como sustituto de los combustibles fósiles, hacen posible el desarrollo del objetivo de este trabajo: ajustar un modelo para estimar la biomasa aérea total verde sin corteza y por componentes en plantaciones de la especie *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia de Granma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El trabajo se desarrollo en la Empresa Agro-Forestal Integral Granma, ubicada en la provincia de igual nombre, abarcando los municipios de Jiguaní, Buey Arriba, Guisa y Bayamo; la misma limita por el norte con la provincia de Holguín, al sur con el Mar Caribe y la provincia de Santiago del Cuba, al oeste el golfo de Guacanayabo y al este con la provincia de Santiago de Cuba. Las plantaciones establecidas de *Pinus maestrensis* Bisse se de-

sarrollan sobre suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, con un relieve escarpado, fuerte erosión, buen drenaje, y una altura oscilante entre 720 msnm y 850 msnm, la temperatura media de 26,5 °C, con precipitación anual de 1288 mm (Mogena et al., 2007).

Colecta de datos: Se utilizó el mapa forestal a escala 1:25000 para la ubicación de las parcelas temporales de muestreo, seleccionándose rodales entre 7-36 años de edad.

Método de muestreo: Se muestrearon 40 rodales mediante un muestreo aleatorio simple, levantándose 138 parcelas de superficie circular de radio de 12,6 m, para un área de 500 m² (0,05 ha), tomándose los diámetros de todos los árboles a 1,30 m sobre el nivel del suelo y la altura de dos árboles por clase diamétrica.

En este estudio se derribaron y cubicaron rigurosamente 138 árboles tipos de *Pinus maestrensis* Bisse, seleccionados por clase diamétrica con diferencia de un centímetro, distribuidos en todo el rango diamétrico y de edades existentes en las plantaciones, utilizándose 73 árboles para el ajuste y 65 para la validación. A cada uno de los árboles tipo se le aplicó el siguiente procedimiento: se midió diámetro a 1,30 m de altura sobre el nivel del suelo, diámetro en la base, diámetro de copa, se procedió a la tala y se continuó con las mediciones de longitud total del fuste, desrame y desfoliado, medición del diámetro con corteza y el grosor de corteza cada un metro de longitud del fuste y pesaje por separado de la biomasa foliar y de rama (Fig. 1).

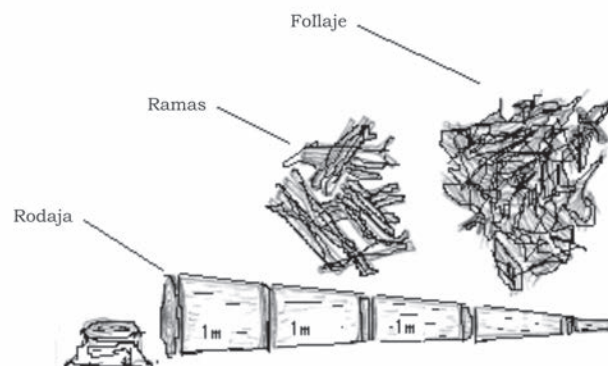


Figura 1. Troceo de los árboles tipo (Fuente: Aven-
daño et al., 2009).

La determinación de la biomasa de fuste de cada árbol se obtuvo en base a la determinación del volumen con corteza y sin corteza por la fórmula de Smalian (Prodan *et al.*, 1997), y se utilizó la densidad básica (610 kg/m^3) de la madera determinada por Ibáñez *et al.* (2002) para calcular su biomasa.

Ajuste y selección de modelos

Para la modelación matemática de cada componente de la biomasa, de hoja verde, rama verde, fuste verde sin corteza y corteza verde (Bh, Br, Bf, Bc), biomasa aérea total verde sin corteza del árbol (Bt) y factor de expansión de la biomasa (FEB), se seleccionaron cuatro ecuaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones para modelar la biomasa total y sus componentes

Modelo	Expresión matemática del modelo
Lineal	$Y = a + b \cdot X$
Polinomio de 2do. grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$
Polinomio de 3er. grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3$
Logarítmico	$\ln Y = a + b \cdot \ln X$

Para construir los modelos se utilizaron los programas estadísticos Statgraphics Plus versión 5.1 (1995) e InfoStat (2008). Para el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Furnival (1961), Alder (1980), Prodan *et al.* (1997), Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003), Torres y Ortiz (2005):

Coficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{ajust}), Sesgo o Diferencia agregada (DA), Error medio cuadrático (CME), Error medio en valor absoluto (EMA), Significación estadística del modelo, Significación estadística de los parámetros de los modelos, Error estándar del modelo (EEE), Error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo, Estadístico Durbin-Watson (D-W) e Índice de Furnival (IF).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos de biomasa seleccionados para los componentes hoja verde, rama verde, fuste verde sin corteza y corteza verde (Bh, Br, Bf, Bc), así como para la biomasa aérea total verde sin corteza (Bt), se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos seleccionados para la estimación de la biomasa de hoja verde (Bh), rama verde (Br), de fuste verde sin corteza (Bf), corteza verde (Bc) y biomasa aérea total verde sin corteza (Bt)

Modelo	seleccionado	R^2_{ajustado}	(%)	IF	P. valor	D - W
$\ln Bh = 0,8883 + 1,3323 \cdot \ln d_{\text{normal}}$		88,5	4,0929 ***	1,68	(NS)	
$\ln Br = -2,6285 + 2,1684 \cdot \ln d_{\text{normal}}$		94,3	2,7662 ***	1,65	(NS)	
$\ln Bf = -2,4329 + 2,5408 \cdot \ln d_{\text{normal}}$		97,8	1,5584 ***	1,85	(NS)	
$\ln Bc = -2,9590 + 2,1343 \cdot \ln d_{\text{normal}}$		95,1	2,3342 ***	1,82	(NS)	
$\ln Bt = -1,5661 + 2,3781 \cdot \ln d_{\text{normal}}$		99,2	0,9364 ***	1,85	(NS)	

*** 0,001 ** 0,01 * 0,05 NS: No significativo

Todos los modelos seleccionados para estimar los componentes y la biomasa aérea total verde sin corteza de los árboles mostraron coeficientes de determinación ajustado de 88,5 % y superior, altamente significativos, el estadístico Durbin Watson no significativos y menores valores de índice de Furnival. Los modelos seleccionados presentaron buen ajuste para todos los componentes de la biomasa y poco grado de dificultad para el cálculo. Tienen como variables

predictoras el diámetro normal, el cual es de fácil medición y muy utilizada en la mayoría de los inventarios forestales. Al respecto, Diéguez *et al.* (2003) refieren que el diámetro normal es una variable muy utilizada en el campo forestal, tanto para calcular volumen de los árboles como para definir la estructura de la masa, o simplemente para seleccionar los árboles a medir en un inventario de acuerdo a un determinado diseño de muestreo.

La estimación de la biomasa de hoja verde difiere de los resultados obtenidos por autores como Montes de Oca *et al.* (2009), con el modelo $Bh = 5,4961 * D_b^{3,6406}$, para *Pinus durangensis* Martínez (2009); Fassola *et al.* (2010), el modelo $\text{Log}(Bac) = -167 + 1,44 * \log(dcap)$, para *Pinus taeda*, en la zona norte de la provincia Misiones, Argentina, y Vidal *et al.* (2011), con el modelo $\text{LogP.F.} = -0,6334 + 1,4089 * \log d$, para *Pinus cubensis* Griseb.

La estimación de la biomasa de rama verde difiere de los resultados obtenidos en Cuba por Benítez (2006), con el modelo $Pm = -1,39506 + 0,12428 * d_{1,3}^2 + 0,001791 * h^2$, en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst; Vidal *et al.* (2002), con el modelo $\text{LogP.M.} = -1,9292 + 2,6177 * \log d$ para bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet y Rodríguez (1999), con el modelo $\text{LogP.R.} = -1,4840 + 0,8131 * \log DHP$, para *Eucalyptus saligna* Smith, también difieren con los obtenidos por otros autores como Montero y Kanninen (2002), con el modelo $Br = \exp(-5,526 + 3,026 * \ln(dap))$, para *Teminalia amazonia* (Gmel.) Excell, en la zona sur de Costa Rica; Fonseca *et al.* (2009), con los modelos $\text{Log}(Br) = -4,28411 + 2,59073 * \log(d)$, en bosque secundario en zona del Caribe de Costa Rica.

La estimación de la biomasa del fuste verde sin corteza difiere de los resultados obtenidos por Silva y Navar (2009), con el modelo $Bf = 0,192 * D^{2,3231}$, para *Pinus* spp., en Durango, México; Montes de Oca *et al.* (2009), con el modelo $Bf = 7,790 + H_t^{0,004} z + D_b^{2,7188}$ para *Pinus durangensis* Martínez (2009); Méndez *et al.* (2011), con el

modelo ecuación, para *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus*.

La estimación de la biomasa de corteza verde difiere de los resultados obtenidos por Benítez (2006), con el modelo $\text{LnPCs} = -5,94470 + 2,07569 * \ln d_{\text{tocón}} + 0,82816 * \ln h$, para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst en la provincia de Camagüey.

La estimación de la biomasa aérea total verde difiere de los resultados obtenidos por Navar *et al.* (2001), con el modelo $B_{\text{total}} = 0,2425 + 0,1145 * d^2 * h - 0,2426 * h + 1,147 * Cob$, para *Pinus durangensis* y *Pinus cooperi*; Gaillard *et al.* (2002), con el modelo $Pst = 0,0738697 * d^{2,5939} * e^{-0,15300 z}$, para *Aspidosperma quebracho*; Dauber *et al.* (2008), con el modelo $Bt = e^{(-2,4090 + 0,955 * \ln(hOJO * h * \delta))}$, para bosques naturales en Bolivia; Domínguez *et al.* (2009), el modelo $Bat = 4371,395 * (E)$, para *Quercus* spp.

Resultados similares fueron obtenidos por los autores Zapata *et al.* (2001), con el modelo $\text{Ln}(Bt) = -2,2862 + 2,4709 * \ln(D)$, para un bosque primario tropical en Ponce, Colombia; Avendaño *et al.* (2009), con el modelo $\text{Ln}(Bt) = -2,6404 + 2,5104 * \ln(DN)$, para *Abies religiosa* y Jiménez (2010), con el modelo $\text{Ln}(B) = -2,7564 + 2,4725 * \ln(DN)$, para *Pinus hartwegii* Lindl.

Los modelos seleccionados expresan la biomasa como una función del logaritmo natural ($\ln$) del diámetro normal (d_{normal}). Las Figs. 2, 3, 4, 5 y 6 muestran el comportamiento de los modelos logarítmicos ajustado en cada uno de los componentes del árbol, destacándose el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal.

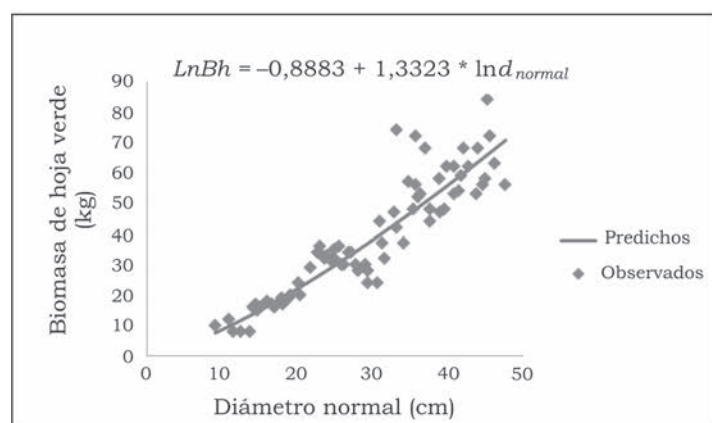


Figura 2. Modelo logaritmo biomasa de hoja verde.

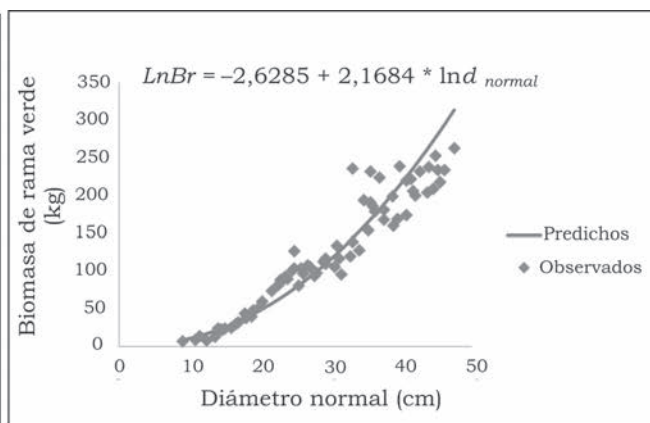


Figura 3. Modelo logaritmo biomasa de rama verde.

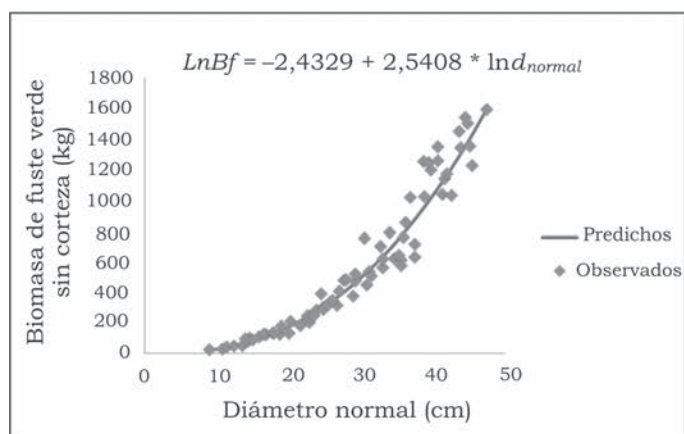


Figura 4. Modelo logaritmo biomasa de fuste verde sin corteza.

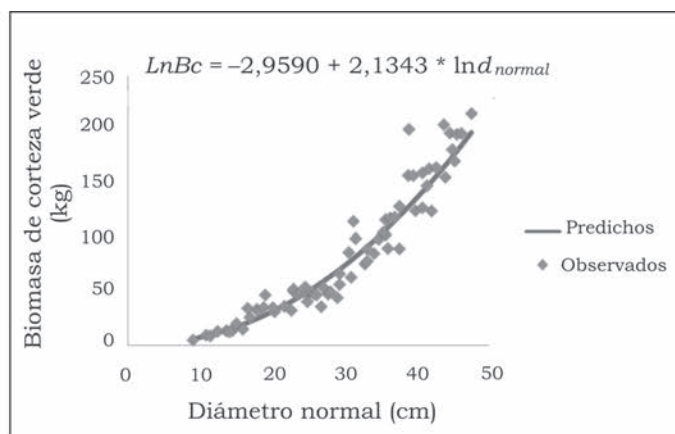


Figura 5. Modelo logaritmo biomasa de corteza verde.

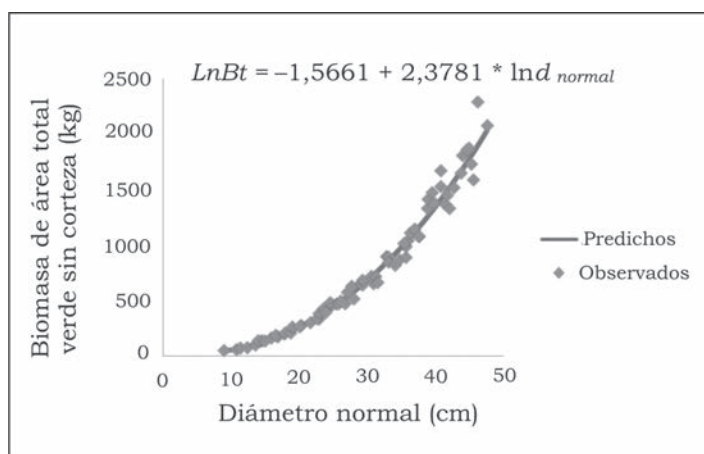


Figura 6. Modelo logaritmo biomasa aérea total verde sin corteza.

En la biomasa calculada el porcentaje del peso de la biomasa aérea por componente mostró que la corteza está representada por el 9,85 %, el follaje el 6,86 %, las ramas el 16,87 % y el fuste por el 66,42 % de la biomasa total (Fig. 7), mientras que en la biomasa estimada muestra un porcentaje

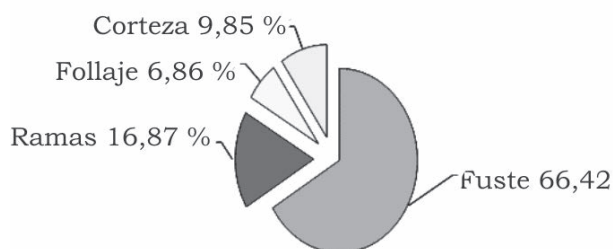


Figura 7. Porcentaje del peso de la biomasa aérea por componente (100 %).

para la corteza del 9,9 % (DG = -0,5), el follaje del 6,9 % (DG = -0,58), las ramas el 15,5 % (DG = 8,12), el fuste 66,3 % (DG = 0,18), y la biomasa total estimada, estima el 98,6 % de la biomasa calculada, con una desviación global respecto a la estimada de DG = 1,4 (Fig. 8).



Figura 8. Estimación del porcentaje del peso de la biomasa aérea por componente (98,6 %) DG = 1,4.

En la estimación del factor de expansión de la biomasa (FEB) de los modelos probados se seleccionó el $\ln FEB = 0,9969 + 0,1931 * \ln d_{\text{normal}}$, por mostrar los parámetros significativos, me-

nor valor de índice de Furnival y el estadístico de Durbin-Watson no significativo (*Tabla 3*); obteniéndose las estimaciones del factor de expansión de biomasa (*Anexo 1*).

Tabla 3. Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para el factor de expansión de biomasa

Modelo	Lineal		Polinomio 2do. grado	Polinomio 3er. grado	Logarítmico
R ²	80,0		83,0	82,0	78,0
R ² _{ajustado}	79,9		82,9	81,9	77,9
DA	3,31		1,70	0,77	0,003
E E E	± 0,10		± 0,10	± 0,10	± 0,07
EMA	0,0756		0,0756	0,0763	0,0523
CME	0,0096		0,0097	0,0097	0,0044
D-W	1,83 NS		1,89 NS	1,88 NS	1,85 NS
IF	8,9453		8,9611	3,0807	7,7398
P-valor	***		***	***	***
Parámetros	a	1,7674 ± 0,0345***	1,7812 ± 0,0888***	1,9381 ± 0,2200***	0,9969 ± 0,0640***
	b	-0,0112 ± 0,0011***	-0,0122 ± 0,0066 NS	-0,0325 ± 0,0267 NS	-0,1931 ± 0,0192***
	c	–	0,00002 ± 0,0001 NS	0,0008 ± 0,0010 NS	–
	d	–	–	-0,000009 ± 0,00001 NS	–

*** 0,001 ** 0,01 * 0,05 NS: No significativo.

La *Fig. 9* muestra el comportamiento del modelo logarítmico ajustado al factor de expansión de biomasa. Se destaca de manera general el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal.

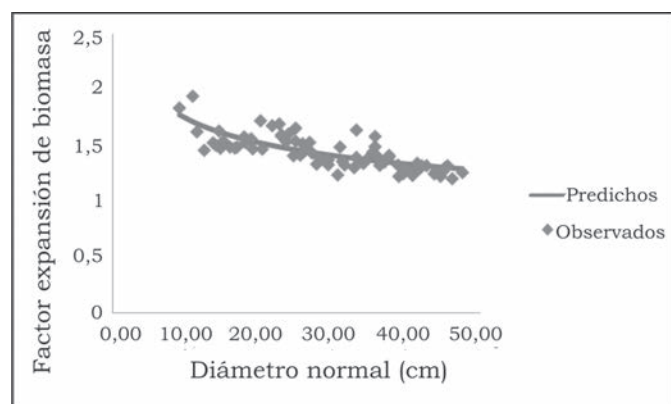


Figura 9. Modelo logarítmico ajustado al factor de expansión de biomasa.

CONCLUSIONES

- Todos los modelos seleccionados expresan la biomasa como una función del logaritmo natural ($\ln$) del diámetro normal (d_{normal}) con coeficiente de determinación ajustado superior al 88,5 % y altamente significativos.
- El factor de expansión de la biomasa (FEB) se obtuvo por clase diamétrica con un rango 1,77 hasta 1,28.
- En general la biomasa de fuste verde sin corteza y la biomasa aérea total verde son las variables que mostraron los mejor ajustes superiores al 97 %.
- La relación entre los componentes de la biomasa respecto a la biomasa total mostró que el mayor porcentaje está representado por el fuste seguido de las ramas, corteza y follaje. La biomasa total estimada representó el 98,6 % de la biomasa calculada.

BIBLIOGRAFÍA

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudios FAO Montes 22/2. Roma, Italia. 118 p.
- Avendaño, D. M. *et al.* 2009. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques de *Abies religiosa*. Revista Fitotecnia Mexicana (MX) 32(3): 233–234 [en línea]. Disponible en: www.revistas-inifap.org.mx/index.php/.../197 [Consulta 30 de agosto 2015].
- Benítez, J. Y. 2006. Estimación de la biomasa total en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst de la provincia de Camagüey. 222 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- Bertram, H. 2001 Estimación del contenido de Carbono de los Bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, del 18 al 20 de octubre. Valdivia, Chile. 9 p.
- Dauber, E.; Terán, J. I.; Guzmán, R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana (VE) 1(1):1-10. [en línea]. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2>. [Consulta 29 de agosto 2015].
- Diéguez, U. *et al.* 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales (ES) 12(2): 131-139 [en línea] Disponible en [http://www.inia.es/gcontrec/pub/131-139-\(127S2\)](http://www.inia.es/gcontrec/pub/131-139-(127S2)) [Consulta 2 de mayo 2015]
- Domínguez, G. *et al.* 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. Revista Chapingo (MX) 15(1): 59-64, enero-junio, [en línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/629/62916073006>. [Consulta 1 de octubre 2014].
- Fassola, H. E. *et al.* 2010. Modelos regionales de biomasa aérea de *Pinus taeda* para misiones y de corrientes, Argentina. 14ta Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. [en línea]. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/modelos.../042111_1Fassola_Modelos_biomasa.pdf [Consulta 1 de octubre 2012].
- Fonseca, W.; Alice, F.; Rey, J. M. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques Secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Bosque (CL) 30(1) 36-47 2009 [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v30n1/art06.pdf> [Consulta 28 de agosto 2015] PDF.
- Furnival, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science (CS) 7: 33-34.
- Gaillard, C.; Pece, M.; Juárez, M. 2002. Biomasa aérea de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. Revista Ciencias Ambientales – Quebracho (MX) 9: 116-127.
- Guerra, C.W. *et al.* 2003. Estadística. Segunda reimpresión. La Habana, Editorial Félix Varela. 376 p.
- Ibáñez, A., *et al.* 2002. Manual de 56 especies maderables. Características y usos. s/n.
- InfoStat. 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Jiménez, C. 2010. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii* Lindl., en el Parque Nacional Izta-Popo. 51 h. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero en Restauración). Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco. México. [en línea]. Disponible en: www.chapingo.mx/.../jimenez_cruz_carmen_del_r... [Consulta 30 de agosto 2015].
- Kiviste, A. *et al.* 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 190 p.
- Martínez, S. 2009. Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis Doctoral. Universidad de Girona [en línea] Disponible en: www.tdx.cat/bitstream/10803/7920/1/tsml1de1.pdf. [Consulta: 27 de septiembre 2015].
- Méndez, J. *et al.* 2011. Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. Agrociencia, 16 de mayo al 30 junio 2011 2009 [en línea] Disponible en: <http://www.scielo.unam.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a7.pdf> [Consulta 4 de septiembre 2015]
- Mogena, O. *et al.* 2007. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal. 2006- 2015. Empresa Forestal Integral Bayamo. 72 p.
- Montero, M., Kanninen, M. 2002. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana (CR) (39-40): 67-69, julio-diciembre.
- Montes de Oca, E. *et al.* 2009 Ajuste de ecuaciones de biomasa para *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la región de el salto, Durango. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1): p 65-71 [en línea] Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v15n1/v15n1a8.pdf> [Consulta 2 de mayo 2015].
- Prodan, M. *et al.* 1997. Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. Costa Rica. 586 p.
- Rodríguez, J. 1999. La estimación de la biomasa verde de copa de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus Pellita* F. Muell. 40 h. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Software estadístico Statgraphics Plus version 5.1 sobre Windows, 1995.
- Toirac, W. 2014. Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia de Granma. 94 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Torres, V.; Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. Revista Cubana Ciencia Agrícola (CU) 39: 397.
- Vidal, A. 1995. Estudio de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas de la provincia Pinar del Río. 101 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Vidal, A. *et al.* 2002. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus tropicalis* Morelet en la Empresa Forestal Integral Macurije de la provincia de Pinar del Río. Revista Floresta. 32 (2) 261-265 [en línea] Disponible en:

<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/download/2290/1912> Filename:2290-4364-1-PB.pdf [Consulta 1 de octubre 2014].

Vidal, A. et al. 2011. Compendio de tablas para la determinación de la biomasa de copa de especies forestales. 5to. Congreso Forestal de Cuba Abril/2011 [en línea] Disponible en: [http://bva.fao.org/pub_doc/FORESTALES/Revista Especial. 2011](http://bva.fao.org/pub_doc/FORESTALES/Revista_Especial_2011) [Consulta 1 de octubre 2014].

Zapata, M.; Valle, J. I. Del, Orrego, S.A. 2001. Corrección por sesgos en modelos Log- Normales alométricos linealizados utilizados para estimar la biomasa aérea. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001 (1) [en línea] Disponible en: [http://www.uach.cl/pro-carbono/pdf/simposio_carbono/17 Zapata.PDF](http://www.uach.cl/pro-carbono/pdf/simposio_carbono/17_Zapata.PDF). [Consulta: 1 de octubre 2014]. PDF.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Wilmer Toirac Arguelle

Doctor en Ciencias Forestales, Investigador Agregado, Profesor Asistente de la Universidad de Guantánamo, se encuentra vinculado a varios proyectos de investigación-desarrollo en el tema de Biomasa Forestal y Forestería Análoga. Es miembro del Grupo de Gestión Ambiental del INAF y de la Red Internacional de Forestería Análoga (RIFA). Es autor y coautor de varias publicaciones. Ha participado en eventos nacionales e internacionales con resultados relevantes.

Anexo. Estimación del factor de expansión de biomasa

$D_{1,30}$ (cm)	FEB	$D_{1,30}$ (cm)	FEB	$D_{1,30}$ (cm)	FEB	$D_{1,30}$ (cm)	FEB
9	1,77	19	1,53	29	1,41	39	1,33
10	1,75	20	1,52	30	1,40	40	1,32
11	1,70	21	1,50	31	1,39	41	1,32
12	1,67	22	1,49	32	1,38	42	1,31
13	1,65	23	1,47	33	1,37	43	1,31
14	1,62	24	1,46	34	1,37	44	1,30
15	1,60	25	1,45	35	1,36	45	1,29
16	1,58	26	1,44	36	1,35	46	1,29
17	1,56	27	1,43	37	1,34	47	1,28
18	1,55	28	1,42	38	1,34		