

Avances

Centro de Información y Gestión Tecnológica

Modelos de biomasa aérea verde en plantaciones de *Pinus maestrensis* en la Sierra Maestra, Cuba

Models of green aerial biomass in plantations of Pinus maestrensis in the Sierra Maestra, Cuba

Wilmer Toirac Arguelle¹, Alberto Vidal Corona², Héctor Barrero Medel^{3*}

¹Doctor en Ciencias Forestales, investigador Auxiliar del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, wilmer@forestales.co.cu

²Doctor en Ciencias Forestales, investigador Titular del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, avidal@forestales.co.cu

³Doctor en Ciencias Forestales, profesor Titular de la Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca», hbarrero@upr.edu.cu

Para citar este artículo / to reference this article / para citar este artigo

Toirac, W., Vidal, A. & Barrero, H. (2018). Modelos de biomasa aérea verde en plantaciones de *Pinus maestrensis* en la Sierra Maestra, Cuba. *Avances*, 20(3), 254-263. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/371/1332>

RESUMEN

La importancia de los bosque 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. 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 con diferencia de un centímetro, distribuidos en todo el rango diamétrico 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, con coeficiente de determinación y coeficiente de determinación ajustado de 88.5 % y superior, con parámetros de alta significación ($P < 0,001$). El Factor de expansión de la biomasa se obtuvo por clase diamétrica con un rango 1,77 hasta 1,28, y la biomasa total estimada representó el 98,6 % de la biomasa total calculada.

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

ABSTRACT

The importance of the forest like regulators of the climatic change, the necessity to use mathematical models

to estimate the biomass in the forest ecosystems given by the growing tendency of the employment of the forest biomass as substitute of the fossil fuels 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 with difference of a centimeter, distributed in the whole range diamétrico 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, with coefficient of determination and adjusted coefficient of determination of 88.5 % and superior, with parameters of high significance ($P < 0,001$). The Factor of expansion of the biomass it was obtained by class diamétrica with a range 1,77 up to 1,28, and the estimated total biomass represented 98,6 % of the calculated total biomass.

Keywords: 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 importante 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, Benítez (2006), lo hace para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst y Toirac (2014), en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse.

La importancia de los bosque 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 desarrolló en la Empresa Agroforestal

Integral Granma, ubicada en la provincia de igual nombre, abarcando los municipios 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 de 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 desarrollan 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 1 288 mm (Mogena *et al.*, 2007).

Colecta de datos: Se utilizó el mapa forestal a escala 1:25 000 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 existente en las plantaciones, utilizándose 73 árboles para el ajuste y 65 para la validación. A cada uno de los árboles tipo se les 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.

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/m³) 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: Lineal ($Y = a + b \cdot X$), Polinomio de 2^{do}

Grado ($Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$), Polinomio de 3^{er} Grado ($Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3$) y Logarítmico ($\ln Y = a + b \cdot \ln X$).

Para ajustar los modelos se utilizaron los programas estadísticos STATGRAPHICS Plus versión 5.1 e InfoStat. Para el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003), Torres y Ortiz (2005):

Coeficiente 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 1*.

Tabla 1. Modelos seleccionados para la estimación de la biomasa.

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

Leyenda: hoja verde (Bh), rama verde (Br), de fuste verde sin corteza (Bf), corteza verde (Bc) y biomasa aérea total verde sin corteza (Bt).

Significación: **** 0,001 ** 0,01 * 0,05 NS- no significativo

El resultado obtenido para la estimación de la biomasa de hoja verde difiere de los resultados obtenidos por autores como Montes de Oca *et al.* (2009) para *Pinus durangensis* Martínez quien obtiene un modelo exponencial así como por Fassola *et al.* (2010) para *Pinus taeda*,

en la zona norte de la provincia Misiones quienes obtiene un modelo logarítmico en función del diámetro de copa coincidiendo con Vidal *et al.* (2011), quien obtiene para *Pinus cubensis* Griseb un modelo logarítmico con variable independiente el diámetro normal al igual que en este trabajo.

La estimación de la biomasa de rama verde difiere de los resultados obtenidos en Cuba por Benítez (2006), en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst con similar hábito de crecimiento quien obtiene un modelo lineal en función del diámetro normal y la altura total así como por Vidal *et al.* (2002) para bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet.

La estimación de la biomasa del fuste verde sin corteza difiere de los resultados obtenidos por Silva y Navar (2009) para *Pinus spp.*, en Durango, México, por Montes de Oca *et al.* (2009) para *Pinus durangensis*, Martínez (2009); Méndez *et al.* (2011), para *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus* los que obtienen como modelos de mejor ajuste los de las familias de modelos exponenciales.

La estimación de la biomasa de corteza verde difiere de los resultados obtenidos por Benítez (2006) para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst en la provincia de Camagüey quien obtiene un modelo logarítmico en función del diámetro del tocón.

Resultados similares fueron obtenidos por los autores Zapata *et al.* (2001), para un bosque primario tropical en Ponce, Colombia; Avendaño *et al.* (2009) para *Abies religiosa* y Jiménez (2010), para *Pinus hartwegii* Lindl todos coincidiendo con modelos

logarítmicos y con variable independiente el diámetro normal.

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; mientras que en la biomasa estimada muestra un porcentaje para la corteza de 9,9% (DG= -0,5), el follaje de 6,9% (DG= -0,58), las ramas el 15,5 % (DG= 8,12), el fuste 63.3 % (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.

Todos los modelos seleccionados para estimar los componentes y la biomasa aérea total verde sin corteza de los árboles mostraron coeficientes de determinación ajustados de 88,5% y superior, altamente significativos, el estadístico Durbin Watson no significativos y menores valores de índice de Fournival. 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), refiere 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.

En la estimación del Factor de expansión de la biomasa (FEB) de los

modelos probados se seleccionó el logarítmico (In FEB=0.9969+0.1931*Ind_{normal}), por mostrar los parámetros significativos, menor valor de índice de Furnival y el estadístico de Durbin Watson no significativo (*tabla 2*); obteniéndose las estimaciones del factor de expansión de biomasa.

Tabla 2. Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para el factor de expansión de biomasa.

Modelo	Lineal	Polinomio 2 ^{do} Grado	Polinomio 3 ^{er} 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	---

Legenda: *** 0,001 ** 0,01 * 0,05 NS- no significativo

La *figura* 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.

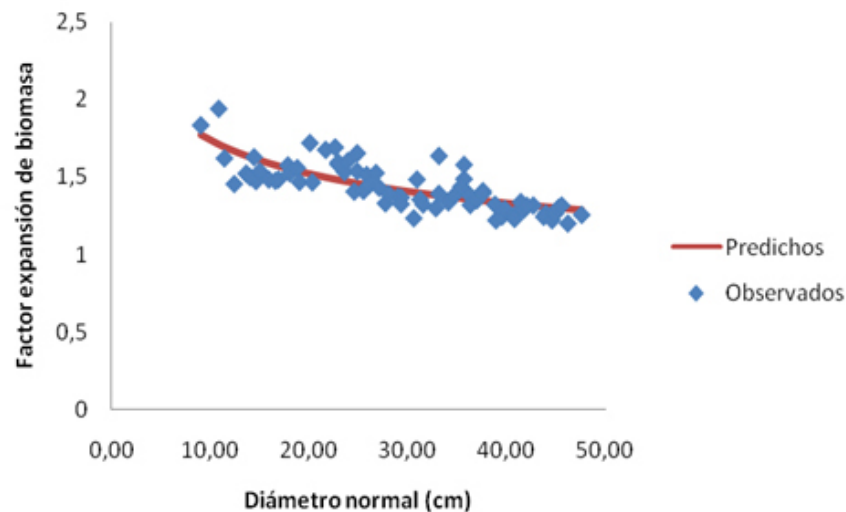


Figura. Modelo logarítmico ajustado al factor de expansión de biomasa.

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 $1,77\text{m}^3$ hasta $1,28\text{m}^3$.
- En general la biomasa de fuste verde sin corteza y la biomasa aérea total verde son las variables que mostraron ajustes superiores al 97 %.
- La relación entre los componentes de la biomasa respecto a la biomasa total mostró que el mayor por ciento está representado por el fuste

seguido de las ramas, corteza y follaje. La biomasa total estimada representó el 98,6% de la biomasa calculada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avendaño, D.M., Acosta, M., Carrillo, F. & Etchevers, J.D. (2009). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 233-234. Recuperado de <http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/>
- Benítez, J.Y. (2006). *Estimación de la biomasa total en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst de la provincia de Camagüey*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en

- ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 222 p.
- 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. p 9.
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F. & Balboa, M. (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Invest. Agrar.*, 12(2), 131-139.
- Fassola, H.E., Crechi, E.H., Barth, S.R., Keller, A.E., Winck, R.A., Martiarena, R., Von Wallis, A., Pinazo, M.A. & Knebel, O. (2010). *Modelos regionales de biomasa aérea de Pinus taeda para Misiones y de Corrientes*. Argentina. 14^{ta} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.
- Guerra, C.W., Menéndez, E., Barrera, R. & Egaña, E. (2003). *Estadística*. Segunda reimpresión. La Habana: Ed. Félix Varela. 376 p.
- Ibáñez, A., Hernández, C., Manzanares, K., Sosa, M. & Ibáñez, R. (2002). *Manual de 56 especies maderables. Características y usos*. Instituto de Investigaciones Agroforestales. MINAG.
- 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*. (Tesis presentada en Opción al título de Ingeniero en Restauración). Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco. México. 51p.
- Kiviste, A., Álvarez, J.G., Rojo, A. & Ruíz, A.D. (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. ISBN: 978-84-692-5161-4
- Méndez, J., Luckie, S.L., Capó, M.A. & Nájera, J.A. (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*, 45(4), 479-491. Recuperado de

- <http://www.scielo.unam.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a7.pdf>
- Mogena, O., Cuesta, P., Rodríguez, Y. & Zamora, B. (2007). *Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal. 2006-2015*. Empresa Forestal Integral Bayamo. 72 p.
- Montes de Oca, E., García, E.P., Nájera, J.A. & Méndez, J. (2009). Ajuste de ecuaciones de biomasa para *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la región del salto, Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 65-71.
- Toirac, W. (2014). *Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de Pinus maestrensis Bisse en la provincia de Granma*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 94 p.
- Torres, V. & Ortiz, J. (2005). Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Rev. Cubana Ciencias Agrícolas*, 39. 397 p.
- Vidal, A. (1995). *Estudio de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas de la provincia Pinar del Río*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 101 p.
- Vidal, A., Rodríguez, J., Benítez, J.Y., Álvarez, R.C. & Gra, H. (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.
- Vidal, A., Rodríguez, J., Benítez, J.Y. & Toirac, W. (2011). Compendio de tablas para la determinación de la biomasa de copa de especies forestales. Memorias del 5to. Congreso Forestal de Cuba Abril/2011. Recuperado de: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do>.
- Zapata, M., Del Valle, J.I. & 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. Recuperado de http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/17_Zapata.PDF