

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA DE RAMAS VERDE DE LAS PLANTACIONES DE *PINUS MAESTRENSIS* BISSE EN LA PROVINCIA DE GRANMA, CUBA

ESTIMATE OF THE BIOMASS OF GREEN BRANCH OF THE PLANTATIONS OF *PINUS MAESTRENSIS* BISSE AT THE GRANMA PROVINCE, CUBA

DR.C. WILMER TOIRAC-ARGUELLE,¹ DRA.C. JUANA T. SUÁREZ-SARRIA,¹ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,¹
DR.C. HÉCTOR BARRERO-MEDEL,² DR.C. ALBERTO VIDAL-CORONA³ Y DR.C. ARLETY AJETE- HERNÁNDEZ¹

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

² Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Calle Martí 270, C.P. 20100

³ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey.
Ave. Ignacio Agramonte 178 e/ Línea y Los Coquitos, Camagüey, Cuba

RESUMEN

En la Empresa Forestal Integral Granma se levantaron 138 parcelas temporales de muestreo de 500 m² de superficie circular, en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse, tomándose los diámetros a 1,30 m sobre el nivel del suelo de todos los árboles y la altura de dos árboles por clase diamétrica. Se talaron 138 árboles tipos, los cuales fueron desramados, desfoliados y pesados. Se evaluaron cuatro modelos de regresión, seleccionándose el modelo Logarítmico por presentar los parámetros significativos, menor valor de índice de Furnival y el estadístico de Durbin-Watson no significativo.

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

ABSTRACT

In the Integral Forestry Enterprise Granma was carried out 138 plots of 500 m² in plantations of *Pinus maestrensis* Bisse, taking the diameters at 1, 30 m on the ground's level of all trees and height of two trees by diameter class. 138 types trees were felled, which were pruned and defoliated, performing weighing branch biomass. Four regression models were evaluated. The model of the best goodness of fit was the Logarithmic, with parameters significance and lower index value Furnival

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

INTRODUCCIÓN

Para la cuantificación de la biomasa aprovechable de copa es imprescindible conocer la biomasa de copa en pie, así como posibles residuos que pueden permanecer en las áreas de tala y acopiaderos intermedios, producto del proceso tecnológico, en interacción con las características naturales propias en que se desarrolla el bosque. La información sobre la cantidad de biomasa arbórea también constituye una valio-

sa herramienta para la gestión silvícola por su relación con la propagación de plagas, incendios y conservación de suelos [Merino *et al.*, 2003].

La biomasa renovable cultivada, según Hall (1998), es un combustible neutro en cuanto a la emisión de dióxido de carbono con un bajo contenido sulfúrico que puede convertirse en electricidad, calor y combustible líquido o ga-

seoso. La biomasa se cultiva permanentemente para generar energía a fin de producir beneficios ambientales como la conservación de los suelos y la protección de la biodiversidad, en comparación con los cultivos anuales. El aprovechamiento de la biomasa en comunidades rurales proporciona empleos en lugar de excluir los suelos del proceso productivo, con el único fin de secuestrar carbono. Por lo tanto, el cultivo y la producción de biomasa para energía tienen numerosas ventajas sociales y ecológicas.

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

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Empresa Forestal Integral Granma, en la provincia de Granma, que limita al norte con los municipios de Jaguaní y Bayamo, al sur y al este con la provincia de Santiago de Cuba y al oeste con el municipio de Buey Arriba. El suelo es ferralítico rojo lixivia-

do, la temperatura media de 26,5 °C y valores de precipitación anual de 1288 mm [Mogena *et al.*, 2007].

Mediante un muestreo aleatorio, se muestrearon 40 rodales, levantándose 138 parcelas temporales de muestreo de 500 m², de superficie circular de 12,6 m de radio, teniendo en cuenta la compensación del mismo según las pendientes, tomándose los diámetros a 1,30 m sobre el nivel del suelo de todos los árboles y la altura de dos árboles por clase diamétrica. Se talaron 138 árboles tipos, los cuales fueron desramados y desfoliados, realizándose el pesaje por separado de la biomasa de ramas de cada uno de los árboles. Para el levantamiento del área y toma de los datos dasométricos se utilizó la cinta métrica de 50 m, cinta diamétrica, brújula, GPS y el machete.

Análisis estadístico

Para estimar la biomasa de rama verde a partir del diámetro normal ($d_{1,30}$), se utilizaron los modelos de regresión que se presentan en la *Tabla 1*.

TABLA 1
Modelos probados para estimar el diámetro normal

<i>Modelo</i>	<i>Expresión matemática del modelo</i>
Lineal	$Y = a + b \cdot X$
Polinomio de segundo grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$
Polinomio de tercer grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3$
Logarítmico	$\ln Y = a + b \cdot \ln X$

donde:

a : Constante

b, c, d : Coeficientes de regresión

Y : Diámetro normal o diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo (cm)

X : diámetro de la base (cm)

Para estudiar la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron las estadísticas de Furnival (1961), Alder (1980), Podran *et al.* (1997), Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003), Torres y Ortiz (2005).

1. *Coefficiente de determinación (R^2)*: declara qué porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
2. *Coefficiente 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. *Diferencia agregada (DA)*: evalúa la desviación del modelo con 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. 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

La biomasa de rama verde y seca es parte integral de los residuos del bosque. Constituye una fuente de bioenergía renovable con la cual se podría cubrir parte de la demanda energética de los países y disminuir la presión sobre los combustibles fósiles. En tal sentido es de gran importancia definir un modelo que permita estimar estas potencialidades presente en las plantaciones de coníferas.

En la *Tabla 2* se observa que todos los modelos probados tienen coeficiente de determinación y coeficiente de determinación ajustado por encima del 92 %, con un alto nivel de exactitud y precisión.

TABLA 2

Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para la biomasa de rama verde

<i>Modelo</i>		<i>Lineal</i>	<i>Polinomio de segundo grado</i>	<i>Polinomio de tercer grado</i>	<i>Logarítmico</i>
R ²		92,2	92,2	92,4	94,4
R ² _{ajustado}		92,0	92,0	92,0	94,3
DA		-0,00	-0,03	-0,30	-1,96
EEE		±21,35	±21,45	±21,33	±0,22
EMA		14,9801	14,9169	14,6400	0,1669
CME		455,749	460,259	455,145	0,0480
D-W		1,64 NS	1,63 NS	1,60 NS	1,65 NS
IF		3,0942	3,1041	3,3118	2,7662
P-valor		***	***	***	***
Parámetros	a	-77,0887 ±7,5520 ***	-67,1159 ±19,3352 ***	-9,2862 ±47,4716 NS	-2,6285 ±0,2111 ***
	b	6,8999 ±0,2412 ***	6,1051 ±1,4390 ***	-1,3334 ±5,7633 NS	2,1684 ±0,0634 ***
	c	—	0,0138 ±0,0246 NS	0,2977 ±0,2145 NS	—
	d	—	—	-0,0033 ±0,0025 NS	—

*** 0,001

** 0,01

* 0,05

NS- no significativo

Se escogió el modelo logarítmico $\text{LnBRV} = 2,6285 (\pm 0,2111) + 2,1684 (\pm 0,0634) \times \text{Ind}_{\text{normal}}$, por mostrar los parámetros significativos, menor valor de índice de Furnival y el estadístico de Durbin-Watson no significativo, obteniéndose las estima-

ciones de la biomasa de rama verde (Anexo 1). Este resultado difiere con los obtenidos por Benítez (2006), con el modelo $Pm = -1,39506 + 0,12428 \times d_{1,3}^2 + 0,01791 \times h^2$ en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst en la provincia de Camagüey.

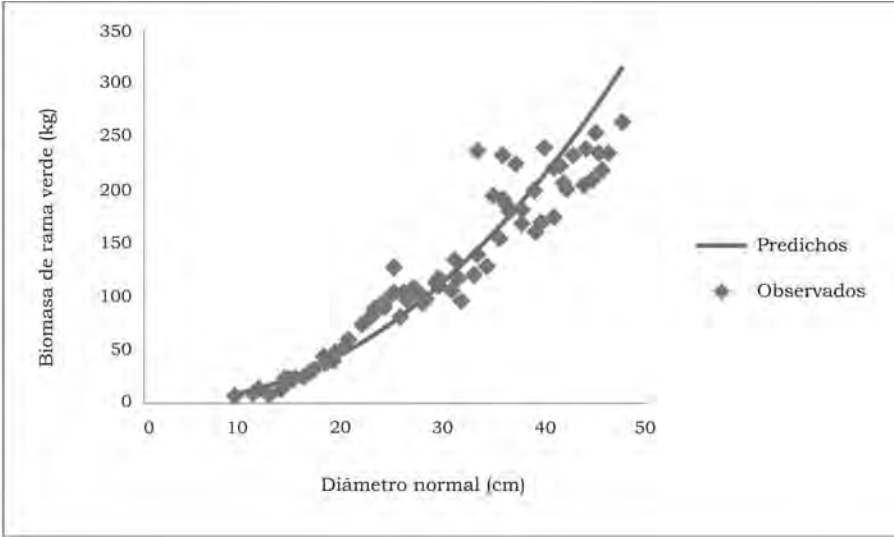


Figura 1. Modelo logarítmico ajustado a la biomasa de rama verde.

La Fig. 1 muestra el comportamiento del modelo logarítmico ajustado a la biomasa de rama verde.

Se destaca el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal.

TABLA 3
Estadísticos de validación y estimación de los parámetros del modelo logarítmico

A J U S T E	R ²		94,4	V A L I D A C I Ó N	R ²		95,0
	R ² _{ajust}		94,3		R ² _{ajust}		94,9
	DA		-1,96		DA		-0,43
	EEE		±0,22		EEE		±0,20
	EMA		0,1669		EMA		0,1632
	CME		0,0480		CME		0,0384
	D-W		1,65		D-W		1,65
	P-valor		***		P-valor		***
	Parámetros	a	-2,6285 ±0,2111 ***		Parámetros	a	-2,4822 ***
		b	2,1684 ±0,0634 ***			b	2,1173 ***

En la Tabla 3 se muestran los estadísticos de ajuste y validación del modelo logarítmico para la biomasa de rama verde. Se observa que los estadísticos de validación son muy similares a los obtenidos en el ajuste, y los parámetros de validación se encuentran dentro del intervalo de confianza de los obtenidos en el ajuste, lo que garantiza la validez del modelo.

CONCLUSIONES

- El modelo de mejor ajuste para la estimación de la biomasa de ramas verde resultó: $\text{LnBRV} = 2,6285 (\pm 0,2111) + 2,1684 (\pm 0,0634) \times \text{Ind}_{\text{normal}}$.

BIBLIOGRAFÍA

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos, FAO. Roma, Vol. (2): 80 p
- Benítez, J.Y. 2006. 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. 221 p.
- CUPET 2013. Precio de los combustibles s/n Enersilva. 2013. La biomasa. [en línea] Disponible en: <http://enersilva.navegantes.info/biomasaenergetica.htm>. [Consulta 5 de Agosto 2013].
- FAO. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO. Montes 41. [en línea] Disponible en: www.fao.org/docrep/x5328s/X528500.htm [Consulta 21 de Agosto 2013]
- Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science (CS) 7(4): 337-341, diciembre.
- Guerra, C.W., Cabrera, A., Fernández, L. 2003. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. Revista Cubana de Ciencia Agrícola (CU) 37(1): 3-10.
- Hall, D. 1998. Sustitución de combustibles fósiles a sumideros de carbono. Las repercusiones del uso de la biomasa para el protocolo de Kyoto. Actualidad Forestal Tropical (). OIMT. 6 (4): p 9-10.
- InfoStat. 2008. InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Kiviste, A.J., 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.
- Merino, A., et al. 2003. Biomasa aérea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Revista Investigación Agraria: Serie Sistemas y Recursos Forestales (ES) 12(2): 85-98.
- Mogena, O., et al. 2007. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal. 2006- 2015. Empresa Forestal Integral Bayamo. Cuba. 72 p.
- Prodan, M., et al. 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA/ GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 561p.
- Resolución 242/09. 2009. Ministerio de Finanzas y Precios. Cuba.
- Software estadístico Statgraphics Plus version 5.1 sobre Windows. 1995.
- Torres, V., Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. Revista. Cubana. Cienc. Agric. Tomo 39. Número especial
- Vidal, A.M., et al. 2013. Manual técnico para el pronóstico pre-tala de residuos del aprovechamiento forestal. Ministerio de la Agricultura. 21 p.

Anexo 1 Estimación de la biomasa de rama verde

$D_{1,30}$ (cm)	BRV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BRV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BRV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BRV (kg)
9	8,47	19	42,79	29	107,03	39	203,48
10	10,64	20	47,82	30	115,20	40	214,96
11	13,08	21	53,16	31	123,69	41	226,79
12	15,80	22	58,80	32	132,50	42	238,95
13	18,79	23	64,75	33	141,65	43	251,46
14	22,07	24	71,01	34	151,12	44	264,31
15	25,63	25	77,58	35	160,92	45	277,51
16	29,48	26	84,47	36	171,06	46	291,06
17	33,62	27	91,67	37	181,53	47	304,95
18	38,05	28	99,19	38	192,34		

$D_{1,30}$: Diámetro 1,30 m de altura del suelo BRV: Biomasa de rama verde

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.

XILOTECA DE MADERAS CUBANAS JULIAN ACUÑA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRO-FORESTALES



La Xiloteca del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF) fue fundada en 1970 por el ingeniero Alberto Ibáñez Drake. Está adscrita desde 1977 al Index Xylariorum Institutional Wood Collection of the World.
