

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

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

DR. C. WILMER TOIRAC-ARGÜELLE,¹ DR. C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,¹ DR. C. HÉCTOR BARRERO-MEDEL,²
DR. C. ALBERTO VIDAL-CORONA¹ Y DR. C. ARLETY AJETE-HERNÁNDEZ¹

¹Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba, wilmer@forestales.co.cu, teléf. 21633461.

²Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Calle Martí no. 270, C. P. 20100, Pinar del Río, Cuba.

RESUMEN

En la Empresa Forestal Integral Granma se levantaron 138 parcelas de 500 m² 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 y desfoliados, realizándose el pesaje de la biomasa del follaje. 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 del 88,6 y del 88,5 %, parámetros con alta significación ($p < 0,001$) y menor índice de Furnival.

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

INTRODUCCIÓN

La biomasa es una variable que sirve para comparar las características estructurales y funcionales de un ecosistema forestal en un amplio abanico de condiciones [FAO, 1995]. La información sobre la cantidad de biomasa arbórea también constituye una valiosa herramienta para la gestión silvícola por su relación con la propagación de plagas, incendios y conservación de suelos [Merino *et al.*, 2003].

ABSTRACT

In the Integral Forestry Enterprise Granma was carried out 138 parcels 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 foliage biomass. Four regression models were evaluated, the model of the best goodness of fit was the Logarithmic, with coefficient of determination and adjusted coefficient of determination of 88.6 and 88.5 % and parameters with high significance ($p < 0,001$).

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

La utilización de los residuos de la biomasa de las talas significa una explotación total e integral de los árboles. Por consiguiente, para un buen desarrollo de la actividad forestal es imprescindible conocer la cuantía a la que ascienden los residuos de la explotación, pues conociendo los mismos se puede valorar la conveniencia de las normas de tala prescritas, la efectividad de las nuevas técnicas de explotación, la valoración

del peligro potencial de incendios, la factibilidad de volver a talar completa o parcialmente y la introducción de los métodos de control del equilibrio del inventario forestal, aspectos que están afectados por la no existencia o la falta de confiabilidad de la información postal en la mayoría de los países [Vidal, 1995].

El objetivo de este trabajo fue estimar la biomasa de follaje verde 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 Jiguaní 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 lixiviado, la temperatura media de 26,5 °C y valores de precipitación anual de 1288 mm [Mogena et al., 2007].

Se muestrearon aleatoriamente 40 rodales, posteriormente se levantaron 138 parcelas temporales de 500 m², 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 de la biomasa del follaje. 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 follaje verde a partir 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

Modelo	Expresión matemática del modelo
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 el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Podran *et al.* (1997), Alder (1980), Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003), Torres y Ortiz (2005).

1. *Coficiente de determinación (R²)*: declara qué porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
2. *Coficiente de determinación ajustado (R² ajust)*: es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación original de acuerdo con 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. Se empleo 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

En la *Tabla 2* se observa que todos los modelos probados tienen coeficiente de determinación y de determinación ajustado por encima del 82 %, con un alto nivel de exactitud y precisión.

Se seleccionó el modelo logarítmico $LnBFV = -0,8883 (\pm 0,1901) + 1,3323 (\pm 0,0571) \cdot Ind_{normal}$

por mostrar los parámetros significativos, menor valor de índice de Furnival y el estadístico de Durbin-Watson no significativo, obteniéndose las estimaciones de la biomasa de follaje verde (*Anexo*). Este resultado difiere con el obtenido por Benítez (2006), con el modelo $P = -0,293638 + 0,08241 \cdot (d_{1,3})^2 + 0,006022 \cdot (h)^2$, en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst en la provincia de Camagüey.

TABLA 2
Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para la biomasa de follaje verde

Modelo	Lineal	Polinomio de segundo grado	Polinomio de tercer grado	Logarítmico	
R ²	83,0	83,0	83,3	88,6	
R ² _{ajustado}	82,8	82,5	82,6	88,5	
DA	-0,00	0,00	0,58	0,62	
E E E	± 7,88	± 7,93	± 7,93	± 0,20	
EMA	5,6335	5,6294	5,5556	0,1530	
CME	62,0674	62,9349	62,8104	0,0389	
D-W	1,6 6 NS	1,64 NS	1,62 NS	1,68 NS	
IF	4,7833	4,8101	5,4950	4,0929	
P-valor	***	***	***	***	
Parámetros	a	- 9,5480 ± 2,7759***	-8,3152 ± 7,1498 NS	8,8755 ± 17,6350 NS	-0,8883 ± 0,1901***
	b	1,6474 ± 0,0890***	1,5491 ± 0,5321**	-0,6620 ± 2,1410 NS	1,3323 ± 0,0571**
	c	-	0,0017 ± 0,0091 NS	0,0861 ± 0,0797 NS	-
		-	-	-0,0010 ± 0,0009 NS	-

*** $p < 0,00$

** $p < 0,01$

* $p < 0,05$

NS- $p > 0,05$

El follaje constituye una de las materias primas en la obtención de productos como aceites esenciales, harinas vitamínicas en

otros, lo que puede contribuir a la sustitución de importaciones y convertirse en productos exportables.



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

La biomasa foliar es una variable fundamental de la estructura arbórea, ya que guarda relación directa con la productividad primaria. Adicionalmente, influencia las condiciones ambientales del sotobosque al modificar la incidencia de luz, el ciclado de nutrientes y la demanda atmosférica de agua bajo el dosel [Waring, 1983;

Bond-Lamberty *et al.*, 2002, citado por Ledesma *et al.*, 2010].

En la *Fig.1* se muestra el comportamiento del modelo logarítmico ajustado a la biomasa de follaje verde. Se destaca de manera general el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal.

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

Ajuste	R ²		88,6	Validación	R ²		91,7		
	R ² _{ajust}		88,5		R ² _{ajust}		91,6		
	DA		0,62		DA		0,59		
	EEE		± 0,20		EEE		± 0,16		
	EMA		0,1530		EMA		0,1244		
	CME		0,0389		CME		0,0256		
	D-W		1,68 NS		D-W		1,68 NS		
	P-valor		***		P-valor		***		
	Parámetros		a		-0,8883 ± 0,1901***	Parámetros		a	-0,8573 ***
			b		1,3323 ± 0,0571**			b	1,3274***

En la *Tabla 3* se ofrecen los estadísticos de ajuste y validación del modelo. 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 follaje verde resultó $LnBFV = -0,8883 (\pm 0,1901) + 1,3323 (\pm 0,0571)$
- Ind_{normal}

BIBLIOGRAFÍA

ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos, FAO. Roma. 80 p.

BENÍTEZ, J. Y. 2006. Estimación de la biomasa total en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst de la provincia de Camagüey. 221 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

LEDESMA, M.; CARRANZA, C. A.; BALZARINI, M. 2010. Estimación de la biomasa foliar de *Prosopis flexuosa* mediante relaciones alométricas. Revista Agriscientia, vol. XXVII (2): 87-96p [en línea] Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v27n2/v27n2a04.pdf> [Consulta 1 de octubre 2013].

FAO. 1995. Evaluación de los recursos forestales 1990, Países Tropicales. Estudio FAO Montes. Roma. FAO. p. 32-36.

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.

INFOSTAT. 2008. InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

KIVISTE, A. ET AL. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria. 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. 72 p. Cuba.

PRODAN, M. ET AL. 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA/ GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 561p.

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 Ciencia Agricultura (CU) 39 (Número Especial).

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.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Wilmer Toirac Argüelle

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 de la biomasa de follaje verde

$D_{1,30}$ (cm)	BFV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BFV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BFV (kg)	$D_{1,30}$ (cm)	BFV (kg)
9	7,68	19	20,79	29	36,52	39	54,20
10	8,84	20	22,26	30	38,21	40	56,06
11	10,04	21	23,76	31	39,92	41	57,93
12	11,27	22	25,28	32	41,64	42	59,82
13	12,54	23	26,82	33	43,38	43	61,73
14	13,84	24	28,38	34	45,14	44	63,65
15	15,17	25	29,97	35	46,92	45	65,58
16	16,54	26	31,58	36	48,72	46	67,53
17	17,93	27	33,21	37	50,53	47	69,49
18	19,35	28	34,85	38	52,36		

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

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales

Patentes

- Uso de bioestimulantes en la resinosis inducida.

Otras ofertas

- Turismo científico.
- Posturas forestales y frutales.
- Literatura científica y materiales informativos.
- Semillas forestales.
- Aceite trementina, colofonia.