

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.

Estimation of crown biomass for standing trees of Pinus caribaea var. *caribaea*. in the forest integrated enterprise "La Palma" in the Pinar del Río province, Cuba.

A. Vidal¹; J. Y. Benítez²; J. Rodríguez³; R. Carlos³; H. Gra¹

Recibido en mayo de 2002, aceptado en diciembre de 2003.

RESUMEN

En la actualidad no se aprovechan todos los recursos que potencialmente nos ofrecen los bosques, dentro de los que se encuentran las ramas y el follaje de las copas de los árboles. Con el objetivo de estimar la biomasa de la copa se realizó un estudio en bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* pertenecientes a la Empresa Forestal Integral La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Se tomaron un total de 169 árboles a los cuales se les midió el diámetro a 1.3 metros sobre el nivel del suelo (diámetro normal) y su longitud total, luego fueron talados, desramados y desfoliados, procediéndose al pesaje por separado, tanto de la biomasa foliar como de las ramas de cada árbol. Para la recopilación de la información se utilizó un muestreo completamente aleatorio por clases diamétricas.

Se obtienen en este trabajo, mediante el empleo del análisis de regresión, dos modelos matemáticos que estiman la biomasa foliar y maderable de copa respectivamente, Construyéndose a partir de estos una tabla de estimación de la biomasa de copa para esta especie.

$$\begin{aligned}\text{Log P. F.} &= 0,6886 + 1,5009*\text{Log d} + C \\ \text{Log P. M.} &= -1,1686 + 1,9066*\text{Log d} + C\end{aligned}$$

Palabras Clave: biomasa de copa, estimación, modelo matemático.

ABSTRACT

At present, not all the resources that potentially are given by the forest are improved. Among them are the branches and the foliage of the trees canopy. With the objective to estimate the biomass of the canopy an study in the natural forest of *Pinus caribaea* var. *caribaea* was done. Those trees belong to the Integral Forestry Enterprise La Palma of Pinar del Río province, Cuba.

A total of 169 trees were taken which were measured to 1,3 meter of diameter above the soil lever (normal diameter) and its total height. After that, they were fell, the branches and the foliage were taken down. The weight of each one was done separately, each of the foliage biomass of the tree. To record the information a complete aleatory sample by diameter class was done.

In this work, by means of a regression analysis two mathematical model were taken to estimate the foliage biomass and the woody canopy respectively walking an estimation chart of the canopy from them to this specie.

$$\begin{aligned}\text{Log P. F.} &= 0,6886 + 1,5009*\text{Log d} + C \\ \text{Log P. M.} &= -1,1686 + 1,9066*\text{Log d} + C\end{aligned}$$

Key words: crown biomass, estimation, mathematical model.

¹ Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 No.1723 entre 17-B y 17-C, Siboney, Playa. Ciudad de la Habana, Cuba. Tel. 282554 – 284935 e-mail: iif@ip.etcusa.cu

² Estación Experimental Forestal Camagüey Av. Ignacio Agramonte s/n Reparto La Zambrana. Camagüey, Cuba Tel. 96381 e-mail: jbenitez@af.upr.edu.cu

³ Estación Experimental Forestal Viñales. Km 20 carretera de Viñales Pinar del Río, Cuba Tel. 93123 e-mail: eefv@vega.inf.cu

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales constituyen el origen de un elevado porcentaje del total de biomasa que se produce en el mundo, el conocimiento que hasta ahora se posee de sus existencias se reduce casi exclusivamente al proporcionado por los métodos tradicionales de los inventarios. En ellos se considera únicamente el volumen de madera de determinadas especies, definiendo este como el volumen de fuste hasta un diámetro mínimo aprovechable en punta que oscila entre los 7 y 10 cm con corteza. De esta forma, la cantidad real de biomasa disponible queda sustancialmente subestimada al no considerarse el rabeón, ramas, hojas, tocón, raíces, biomasa muerta y el matorral que constituye el sotobosque, materias primas susceptibles de ser utilizadas en un mercado donde no prime la forma y tamaño del producto (González, 1989).

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 han convertido en un importante aspecto a tener en cuenta dada la enorme cantidad de alternativas de su uso, tanto dentro de la planificación productiva como de sus posibilidades de desarrollo científico técnico (Ritchie y Hann, 1990).

El conocimiento de las biomásas (no húmedas, sino secas) de las masas forestales interesa cada vez más a los científicos, bien se trate de biomasa totales, o separadas por compartimentos (hojas, ramas, tronco, raíces). También interesan a los ciudadanos, en la medida en que la madera se convierte nuevamente en una fuente de energía apreciada (Pardé y Bouchon, 1994). La biomasa agrícola y forestal supone un potencial económico importante especialmente en las zonas tropicales y subtropicales, dado que en ellas se dan las condiciones más idóneas para el desarrollo de los vegetales.

La biomasa renovable cultivada 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 combustibles líquidos o gaseosos. La biomasa que se cultiva permanentemente para generar energía puede también producir ciertos beneficios ambientales, como la conservación de los suelos y la protección de la biodiversidad en comparación con los cultivos anuales. Además las comunidades rurales pueden obtener empleo en lugar de excluir los suelos del proceso productivo con el único fin de secuestrar el carbono. Por lo tanto el cultivo y la producción de biomasa para energía tiene numerosas ventajas sociales y ecológicas (Hall, 1998).

La biomasa forestal se ha convertido en un importante elemento en los estudios sobre los cambios que ocurren a escala mundial debido al posible efecto atenuador (sumidero) que los bosques y sistemas afines pueden tener, al secuestrar los excedentes de los gases de efecto invernadero, de un modo temporal (biomasa) y permanentemente (suelo) y a las consecuencias que se derivan de la modificación de las condiciones climáticas sobre la salud, estructura y biodiversidad de un sistema forestal, incidiendo lógicamente en el primer aspecto (Martínez de Saavedra y Sánchez, 2000).

A partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación (aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono) y por consiguiente se puede hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a la atmósfera cada vez que se desmonta o se quema un bosque. La biomasa es una variable que sirve también para comparar las características estructurales y funcionales de un ecosistema forestal en un amplio abanico de condiciones (FAO, 1995).

Diversos estudios se han realizado en el mundo con el objetivo de determinar la biomasa de diferentes especies forestales Baskerville (1972); González (1989); Sugur (1989); Dash, et al. (1991); Stewart, et al. (1992); Acosta, et al. (2001). En Cuba se han realizado estudios con el objetivo de determinar la biomasa en las plantaciones de algunas especies forestales Vidal (1995), Rodríguez (1999) y Benítez (2001), sin embargo todavía son pocas las especies que cuentan con estudios de este tipo, los cuales permiten estimar una parte importante de la biomasa (ramas y

follaje) que en la actualidad no se aprovecha de manera adecuada y evaluar sus usos potenciales en la economía nacional. Este trabajo tiene como objetivo obtener ecuaciones matemáticas que permitan elaborar una tabla para la estimación de la biomasa de copa foliar y de ramas en árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* que se desarrollan en bosques naturales de la Empresa Forestal Integral La Palma, de la Provincia de Pinar del Río.

2. MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con la información procedente de los bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral (E.F.I.) La Palma, de la provincia de Pinar del Río. El área donde se desarrolló este estudio tiene un suelo pizarroso con una pendiente media de 15 %. Los rodales presentaban buen estado sanitario.

Se talaron un total de 169 árboles empleando un muestreo completamente aleatorio por clases diamétricas. A cada uno de ellos se le midió el diámetro a 1.3 metros sobre el nivel del suelo y la altura total, luego fueron talados y posteriormente desramados y desfoliados (incluyendo las ramas del fuste), realizándose en cada caso el pesaje por separado de la biomasa verde, tanto del follaje (PF) como de las ramas (PR).

Los datos obtenidos fueron procesados por medios automatizados, utilizándose el programa de asistentes matemáticos DERIVE para Windows y el sistema de cálculos estadísticos STATISTICA Versión 5, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$. Según Pardé y Bouchon (1994) en materia forestal lo más frecuente es adoptar, como intervalo de confianza, el que corresponde a una probabilidad del 95%.

En función de las características de los datos analizados se emplearon las siguientes ecuaciones para realizar el cálculo de la biomasa de copa:

$$\text{Log Peso (F)} = a + b \times \text{Log (d)} + C$$

$$\text{Log Peso (R)} = a + b \times \text{Log (d)} + C$$

Donde:

Log: Logaritmo de base 10

Log Peso (F): Logaritmo del peso del follaje en Kg (calculado)

Log Peso (R): Logaritmo del peso de ramas en Kg (calculado)

a y b: Constantes

d: Diámetro del árbol a 1.3 metros sobre el nivel del suelo

C: Factor de Corrección

Toda la información obtenida se agrupó por clases diamétricas, trabajándose para estimar las variables dependientes peso foliar y peso de las ramas de la copa a partir de dos variables independientes (diámetro normal y altura), empleando además las transformaciones cuadráticas y logarítmicas de estas variables.

En la construcción de los modelos matemáticos se emplearon las variables independientes de mayor correlación lineal con las variables dependientes estudiadas, en función de la matriz de correlación efectuada; sometiéndose las mismas al análisis de regresión “paso a paso”, seleccionándose las ecuaciones de mejor ajuste atendiendo al menor número de variables y mayor facilidad de manejo práctico.

Para obtener el peso seco de la biomasa de copa foliar y de ramas se emplearon los valores constantes 0,64 y 0,70 respectivamente, obtenidos para cada caso a partir de la relación existente entre el peso verde y el peso seco (PV/PS) determinada empleando la metodología del CATIE (1997).

La validación de las ecuaciones empleadas en la estimación del peso de la biomasa de copa foliar

y maderable se realizó mediante el cálculo de la desviación global con la información procedente de 120 árboles totalmente ajenos a los utilizados en la construcción de los modelos, mediante la siguiente ecuación:

$$DG = \frac{\left(\sum P_r - \sum P_{est} \right)}{\sum P_{est}} \times 100$$

Donde:

DG: Desviación Global.

Pr: Peso Real (Kg).

Pest: Peso Calculado (Kg).

La calidad del ajuste se valoró mediante los indicadores clásicos del análisis de regresión Cailliez (1980), coeficiente de correlación (R); coeficiente de determinación (R^2) y desviación standard de la estimación (S); efectuándose además el análisis de los residuales de los modelos de mejor ajuste.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En función del análisis de regresión efectuado se obtuvieron, para el peso de la biomasa foliar y peso de las ramas de copa verde, ecuaciones logarítmicas con la variable independiente diámetro normal (Tabla No 1).

Tabla 1. Modelos empleados para estimar el peso de la biomasa de copa.

Modelos	R	R²	S	DG	Factor C
Log P. F. = 0,6886 + 1,5009*Log d + C	0,9516	0,9055	0,1029	6,2	0,150178
Log P. M = -1,1686 + 1,9066*Log d + C	0,9463	0,8954	0,1383	5,3	0,270603

Como se muestra en la tabla anterior los modelos obtenidos poseen altos coeficientes de determinación de acuerdo con lo expresado por Gujarati (1999) que plantea que un modelo es satisfactorio si el valor de este coeficiente es razonablemente alto alrededor de 0,8. Según Alder (1980) las mejores funciones pueden tener coeficientes de solamente 0,7 y 0,8. El error estándar de estimación en ambas es bajo.

Las ecuaciones seleccionadas para realizar la estimación solo incluyen el diámetro normal de los árboles como variable independiente, esto sucede porque a pesar de que la altura está relacionada con las variables dependientes estimadas (peso de follaje y peso de ramas) su aporte a los modelos no fue significativo, es decir que el mayor por ciento de la variabilidad total estuvo explicada solamente por el diámetro normal, construyéndose por esta razón tablas de una sola entrada.

Para un uso simple del principio de transformación, en asociación con los cálculos realizados, se utiliza el factor de corrección para el sesgo resultante de las transformaciones a las variables dependientes de los modelos seleccionados para realizar la estimación de la biomasa de copa. Este asume que los errores son homogéneos y están normalmente distribuidos. El factor de corrección se debe a Meyer (1944) citado por Alder (1980).

En la figura 1 se puede apreciar que el peso de la biomasa foliar y de las ramas aumenta de forma directamente proporcional al diámetro normal de los árboles, lo cual se corresponde con resultados obtenidos por (Kill, 1980; Wade, 1980; Malleux, 1982; Payandeh, 1991; Morataya y Galloguay, 1998) (figura 1).

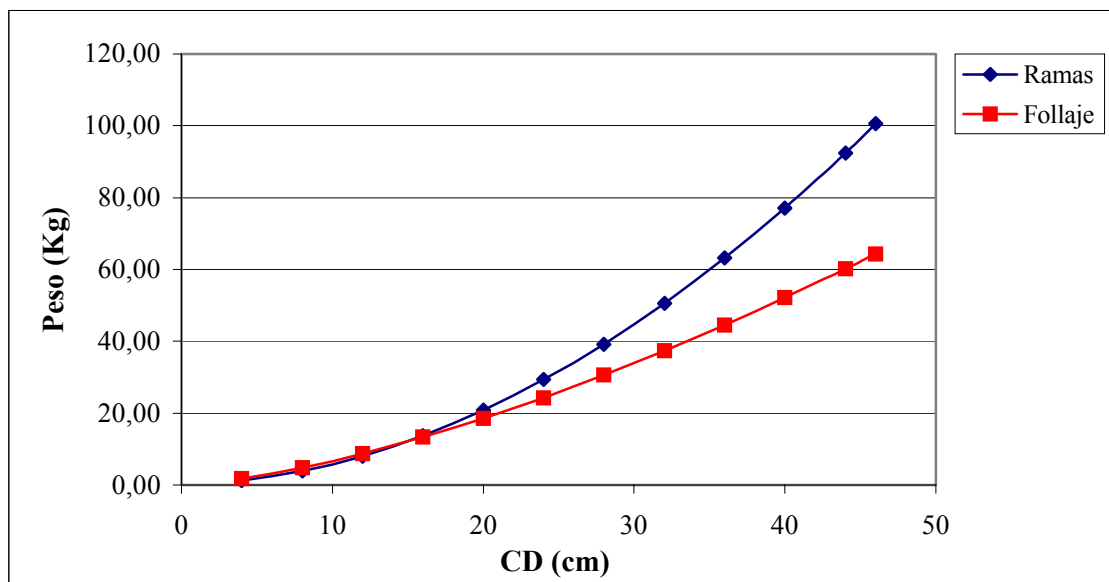


Figura 1: Comportamiento de la biomasa de copa foliar y de ramas por clase diamétrica.

Los resultados obtenidos con la determinación de la Desviación Global (tabla 1) muestran una buena calidad de los modelos definidos (D.G. = $\pm 10\%$), acorde con las exigencias de la literatura internacional. Los valores calculados a partir de las ecuaciones seleccionadas para estimar la biomasa de copa foliar y de ramas, determinados por clase diamétrica, se observan en la tabla 2.

4. CONCLUSIONES

- La variable independiente más eficiente para la estimación en pie del peso de la biomasa de copa (follaje y ramas) de la especie estudiada fue el diámetro a 1,3 metros sobre el nivel del suelo ($d_{1,3}$).
- Los modelos matemáticos obtenidos en este trabajo poseen un buen ajuste y realizan una buena estimación de los valores reales pues la desviación global se encuentra por debajo del 10 %.
- Se recomienda finalmente utilizar la tabla construida en este trabajo para cuantificar la biomasa de copa en bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de la Empresa Forestal Integral La Palma de la provincia de Pinar del Río.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M.; J. D. Etchevers; C. Monreal; K. Quednow; C. Hidalgo. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. INIFAP, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 13 p.
- 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.

- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. Res.* 2. 49 – 53.
- Benítez, J. Y. 2001. Estimación de la biomasa de copa y determinación de algunos índices dasométricos en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. de la provincia de Camagüey. Tesis de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 78 p.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 1. Estimación del volumen. Estudios FAO. Montes. 22/1. 92 p.
- CATIE. 1997. Resultado de 10 años de investigación silvicultural del proyecto Maledeña en Nicaragua. Serie Técnica. Informe Técnico No 292. Turrialba, Costa Rica. 145 p
- Dash, G. C.; M. C. Rout; A. Sahoo and P. Das. 1991. Biomass equations for *Casuarina equisetifolia*. *Indian Journal of Forestry* 14 (1): 28 – 32.
- FAO. 1995. Evaluación de los recursos forestales 1990, Países Tropicales. Estudio FAO Montes. Roma, Italia. p 32 – 36.
- González, I. 1989. Tablas ponderadas para la estimación de la biomasa de Rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd), en la provincia de León. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. 56 p
- Gujarati, D. N. 1999. Econometría Segunda parte. Estados Unidos. p 120 – 131.
- 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*. Vol. 6, No 4. OIMT: 9 – 10.
- Kill, A. D. 1980. Fuel weight table for White Spruce and Hodgepole Pine in Alberta. Ottawa. Minister of Forestry and Rural Development. 13 p.
- Malleux, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. U.N.A. Lima, Perú 414 p.
- Martínez de Saavedra, J. y G. Sánchez. 2000. El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los sistemas forestales españoles. SPCAN-DGCN, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 8 p.
- Morataya, R. y G. Galloway (1998) Relaciones entre follaje y albura en *Tectona grandis* y *Gemelina arborea*: aplicación de la teoría del modelo vascular e implicaciones de manejo. *Revista Forestal Centroamericana* No 22. CATIE. Turrialba, Costa Rica: 21 – 28.
- Pardé, J. y J. Bouchon 1994. Dasometría. Edición Española traducida de la segunda edición de dendrometría “L Ecole National du Genie Rural des Eaux et des Forêts”, Francia. 382 p.
- Payandeh, B. 1991. Choosing regression models for biomass prediction equations. *Forestry Chronicle*. 57 (5): 229-232.
- Ritchie, M. W.; D. W. Hann. 1990. Equations for predicting the 5 year height of six conifer species in Southwest Oregon. Oregon State University. Research Paper. 54. USA. 12 p.
- Rodríguez, J. 1999. La estimación de la biomasa verde de copa de *Eucaliptus saligna* Smith y *Eucaliptus Pellita* F. Muell. Tesis de Master en Ciencias Forestales. UPR. Pinar del Río, Cuba. 40 p
- Stewart, J. L.; A. J. Dunsdon; J. J. Hellin; C. E. Hughes. 1992. Wood biomass estimation of Central American dry zone species. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Oxford, Gran Bretaña. 83 p.
- Sugur, G. U. 1989. Biomass production of different density stands of *Acacia auriculiformis* and *Casuarina equisetifolia*. *My Forest*, 25 (1): 84 – 88.
- Vidal, A. 1995. Estudio de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas de la provincia de Pinar del Río. Tesis Doctoral. UPR. Pinar del Río, Cuba. 100 p.
- Wade, D. 1980. Estimating slash quantity from standing Loblolly pine. U.S. Forest Service Res. Int- 197. note SE-125. 156 p.

ANEXO

Tabla 2. Peso estimado de biomasa foliar y maderable de copa de *Pinus caribaea* var. *caribaea* por clase diamétrica (Kg).

CD (cm)	Follaje Verde	Follaje seco	Ramas Verdes	Ramas Secas
4	1.79	1.15	1.22	0.86
5	2.44	1.56	1.73	1.21
6	3.17	2.03	2.34	1.64
7	3.95	2.53	3.04	2.13
8	4.79	3.07	3.85	2.69
9	5.69	3.64	4.75	3.32
10	6.64	4.25	5.74	4.02
11	7.64	4.89	6.83	4.78
12	8.68	5.56	8.01	5.61
13	9.77	6.25	9.29	6.50
14	10.91	6.98	10.66	7.46
15	12.08	7.73	12.12	8.48
16	13.29	8.51	13.67	9.57
17	14.54	9.31	15.31	10.72
18	15.83	10.13	17.05	11.93
19	17.16	10.98	18.87	13.21
20	18.52	11.85	20.78	14.55
21	19.92	12.75	22.78	15.95
22	21.35	13.66	24.87	17.41
23	22.81	14.60	27.04	18.93
24	24.30	15.55	29.30	20.51
25	25.83	16.53	31.65	22.16
26	27.39	17.53	34.09	23.86
27	28.97	18.54	36.62	25.63
28	30.59	19.58	39.22	27.46
29	32.24	20.63	41.92	29.34
30	33.91	21.70	44.70	31.29
31	35.61	22.79	47.57	33.30
32	37.34	23.90	50.52	35.36
33	39.10	25.03	53.55	37.49
34	40.89	26.17	56.68	39.67
35	42.70	27.33	59.88	41.92
36	44.54	28.50	63.17	44.22
37	46.40	29.70	66.54	46.58
38	48.29	30.91	70.00	49.00
39	50.20	32.13	73.54	51.48
40	52.14	33.37	77.16	54.01
41	54.10	34.63	80.87	56.61
42	56.09	35.90	84.66	59.26
43	58.10	37.19	88.53	61.97
44	60.14	38.49	92.49	64.74
45	62.20	39.80	96.52	67.57
46	64.28	41.14	100.64	70.45

