

TABLA DE SURTIDOS PARA PLANTACIONES DE *PINUS TROPICALIS* MORELET EN PINAR DEL RÍO

DR. GERMÁN PADILLA TORRES, DR. EDILIO ALDANA PEREIRA Y M.Sc. ILYA
GARCÍA CORONA

Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 Final, Pinar del Río,
Cuba, odelyn@af.upr.edu.cu

RESUMEN

El uso adecuado de la madera y su definición correcta traen consigo un mejor aprovechamiento y mejor rendimiento. La función de forma en el árbol es una expresión que relaciona los diámetros o secciones del tronco en cualquier punto con la altura a la que se encuentre. Por esa razón en el trabajo se plantea un modelo matemático de perfil del fuste con el objetivo de realizar la estimación de los surtidos maderables para esta especie de coníferas.

Palabras claves: *Pinus tropicalis*, diámetros, modelo matemático, perfil del fuste, surtidos maderables

ABSTRACT

The adequate use of wood and the correct definition, bring about better profits and better yields of it. The function in the tree form are expressions that relate the diameters or trunk sections in any point of it in the height to which it is found. That is why this work is presenting a mathematic model of the timber profile with the objective of realizing an estimation of the assortment of wood for this conifer specie.

Key words: *Pinus tropicalis*, diameters mathematic models, bole profile, assortment of logs

INTRODUCCIÓN

La reforestación del país deberá lograrse con un incremento en la calidad del trabajo que posibilite altos índices de supervivencia de las posturas plantadas y mediante la atención y preservación del bosque, constituirse en fuente para la sustitución de importaciones, de aporte

financiero al país y elemento importante para la protección del medio ambiente.

Actualmente se trabaja sobre la base de un programa de desarrollo forestal hasta el 2015, el cual se sustenta en la gestión de las entidades económicas, y estima alcanzar 27% del

área cubierta de bosques, modernizar y desarrollar su industria, incrementar el nivel de elaboración de los productos forestales y diversificar su uso para aumentar el valor agregado.

Todas las operaciones de explotación disminuirán la masa futura en mayor o menor grado. Una tasa de explotación demasiado severa traería como consecuencia final la liquidación del recurso forestal; una tasa muy ligera puede privar a la comunidad de recursos inmediatos y reducir el potencial del crecimiento futuro del bosque. Solamente podrán tomarse decisiones nacionales sobre intensidad y épocas de clareos y explotaciones, si la respuesta de los bosques a estas operaciones puede cuantificarse. Los estudios de crecimiento y rendimiento son los medios utilizados para lograr este fin.

La silvicultura de una especie puede determinar el tipo de modelo que ha de utilizarse para predecir su crecimiento. Los aspectos silviculturales más resaltantes de una especie sugerirán relaciones que deben ser inducidas en un modelo cuantitativo si se desea que ese modelo sea efectivo.

Un modelo cuantitativo que contenga relaciones adecuadas puede ser usado para probar hipótesis silviculturales, y para sugerir diseños experimentales y tratamientos que probablemente suministrarán resultados útiles. Por tanto, permite conocer los porcentajes de los diferentes surtidos que de esta madera de coníferas se pueden obtener en función de la clase diamétrica que se trate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó utilizando información de las cuatro empresas forestales integrales que poseen plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet en la provincia de Pinar del Río.

Según Prieto y López Quero (1993), una función de forma del árbol es una expresión que relaciona los diámetros o secciones del tronco en cualquier punto con la altura a la que se encuentre. Por tanto, la estimación de los surtidos maderables se puede realizar mediante la construcción de un modelo matemático del perfil del fuste tal y como plantean Prieto y López Quero, al redefinir una función de forma o perfil del árbol como una expresión que relaciona los diámetros relativos o secciones relativas a lo largo del tronco con la altura relativa a que se encuentren. Para la realización de esta tabla de surtido se utilizaron los datos de los 264 árboles de muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La realización de esta tabla de surtido se desarrolló utilizando los datos de los 264 árboles de muestra, con el cálculo en cada uno de ellos de los siguientes parámetros como variables independientes o dependientes.

La muestra de 264 árboles contiene un total de 4320 mediciones, con corteza y sin ella, a intervalos de un metro, desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol.

$$\frac{di}{d_{1,30}}; \frac{hi}{ht}; \left(\frac{hi}{ht}\right)^2; \left(\frac{hi}{ht}\right)^3 \quad [1]$$

donde:

d : Diámetro del árbol en las respectivas trozas de a metro

$d_{1,30}$: Diámetro a 1,30 m

hi : Altura correspondiente a cada diámetro mínimo prefijado según el surtido

ht : Altura total

Se probó esta ecuación para diversas variables independientes, y finalmente resultó ser la ecuación con tres variables independientes –ecuación [1]– la que mejor se ajustaba por poseer un mejor coeficiente de determinación y menor error estándar. En esta ecuación:

$$\frac{hi}{h} = x$$

por lo que al sustituir quedaría del siguiente modo:

$$\frac{di}{d_{1,30}} = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad [2]$$

Si despejamos [2] para determinar el diámetro, la ecuación sería la siguiente:

$$di = (a + bx + cx^2 + dx^3) \times d_{1,30} \quad [3]$$

de ahí que:

$$V = \int (a + bx + cx^2 + dx^3) \times \frac{\pi}{4} * d_{1,30}^2 \times ht \quad [4]$$

Después de determinar las hi con el software denominado Derive versión 3.14, se calculó el volumen de madera para los diferentes surtidos (leña, madera rolliza y madera en bolo 1 y 2).

Para este fin se utilizaron diferentes intervalos de diámetro:

TABLA 1
Surtidos que han de obtenerse

Surtido	Diámetro (cm)
Leña	Menor de 6
Madera rolliza	6-13
Madera en bolo 1	13-24
Madera en bolo 2	Más de 24

Con la ecuación que aparece debajo se obtuvieron los coeficientes necesarios para poder determinar posteriormente el volumen maderable total y por surtido, exceptuando la corteza, para lo cual fue necesario utilizar la segunda ecuación, o sea, la empleada para la tabla de volumen con corteza. Son ellas:

$$\frac{dcc}{d_{1,30}} = 1,1192 - 1,5224 \frac{Hi}{H} + 1,7340 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 1,2644 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3$$

$$\log V_{cc} = -3,8920 + 1,9799 \times \log d_{1,30} + 0,5665 \times \log Hi$$

Fue necesario hacer esta operación porque la ecuación de perfil describe una línea recta, y para el porcentaje de corteza esto no es lógico, puesto que disminuye cuando aumenta el volumen del árbol.

Es importante tener presente que la integración de la ecuación de volumen nos permite obtener los volúmenes totales y por surtidos usando lógicamente los valores de los coeficientes (a , b , c , d) obtenidos en el análisis de regresión con el uso del

paquete estadístico denominado SPSS versión 10. Las fórmulas para el cálculo de los volúmenes anteriormente enunciados son las siguientes:

$$V_t = \left(\frac{d^2}{7} + \frac{cd}{3} + \frac{2bd + c^2}{5} + \frac{ad + bc}{2} + \frac{2ac + b^2}{3} + ab + a^2 \right) \frac{\pi}{4} \times d_{l,30}^2 \times h$$

Si $hi = 6$ (en función del surtido por obtener), entonces:

$$V_S = \left[\frac{d^2 * \left(\frac{hi}{H}\right)^7}{7} + \frac{cd \left(\frac{hi}{H}\right)^6}{3} + \frac{\left(\frac{hi}{H}\right)^5 + (2bd + c^2)}{5} + \frac{\left(\frac{hi}{H}\right)^4 \times (ad + bc)}{2} + \frac{\left(\frac{hi}{H}\right)^3 * (2ac + b^2)}{3} + ab \left(\frac{hi}{H}\right)^2 + a^2 \left(\frac{hi}{H}\right) \right] GH$$

donde:

a, b, c, d : Coeficientes de la ecuación usada en función de las variables independientes

V_s : Volumen según los surtidos por obtener (sea 6, 13 o 24 cm)

hi : Denominación del surtido

H : Altura total

V_t : Volumen total del bolo

G : Área basal del bolo

La ecuación de regresión obtenida entre las variables relativas $Y = d/d_{l,30}$

y $X = h_i/H$ de los 264 árboles de muestra para tres variables independientes es:

$$(H_i/H); (H_i/H)^3 \quad [5]$$

$R = 0,9592$
 $R^2 = 0,9201$
Ajuste $r^2 = 0,9200$
Error Standard estimado = 0,09535
STd error = 0,003332

Análisis de varianza de la regresión

Fuente	Sum. de cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	414,6253	3	138,2084	16 561,2	0,00
Residual	36,0017	4314	0,0083		
Total	450,6270				

Finalmente la ecuación para el cálculo de los coeficientes necesarios para

determinar el volumen de surtido con corteza quedaría del siguiente modo:

$$\frac{dcc}{d_{1.30}} = a + bx + cx^2 + dx^3$$

$$\frac{dcc}{d_{1.30}} = 1,1192 - 1,5224 \frac{Hi}{H} + 1,7340 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 1,2644 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3 \quad [6]$$

Los cálculos del diámetro sin corteza para tres variables independientes arrojaron los siguientes resultados:

$R = 0,9459$

$r^2 = 0,8947$

Ajuste $r^2 = 0,8946$

Error Standard estimado = 0,8634

Std error = 0,003149

Análisis de varianza de la regresión

Fuente	Sum. de cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón F	p-level
Regresión	273,3503	3	91,1167	12 221,86	0,00
Residual	32,1619	4314	0,00746		
Total	305,5122				

La ecuación para conocer los coeficientes que se usaron para determi-

nar el volumen de surtido sin corteza es la siguiente:

$$\frac{Dsc}{D_{1.30}} = 0,90188 - 1,0972 \frac{Hi}{H} + 1,1441 \left(\frac{Hi}{H} \right)^2 - 0,84729 \left(\frac{Hi}{H} \right)^3 \quad [7]$$

Con estas ecuaciones obtenidas para los volúmenes con corteza y sin ella fue posible determinar los volúmenes totales y por surtido, después de calcular las Hi a través del software Derive, lo que facilita una aceptable precisión con el uso de la siguiente expresión:

$$F(x, a, b, c) \quad [8]$$

donde:

- x : Valores de Hi según los surtidos
- a : Diámetro aprovechable (6, 13, 24)
- b : Diámetro a 1,30 m
- c : Altura total

Con el uso de las fórmulas de volumen total y por surtido, y usando el paquete estadístico SPSS se determinaron los valores de volúmenes en

cada uno de los casos, y por diferencia debía obtenerse el porcentaje de volumen de corteza. Esto último no fue posible, ya que la ecuación de perfil del fuste describe una línea recta a lo largo del tronco del árbol, y el porcentaje de ese residuo se mantiene constante, lo que no se corresponde con la realidad, pues de todos es conocido que a medida que aumenta la clase dia-

métrica disminuye el porcentaje de corteza en relación con el volumen total de madera. Tal problema fue resuelto usando la ecuación logarítmica con dos variables independientes elegida para el cálculo en la tabla de volumen con corteza. Así, finalmente pudo construirse la tabla de surtido para las plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet en la provincia de Pinar del Río.

Tabla de surtidos para *Pinus tropicalis* Morelet

CD (cm)	M. rolliza (6-13 cm) (%)	M. en bolo 1 (13,1-24 cm) (%)	M. en bolo 2 (+ 24 cm) (%)	Leña (%)	Corteza (%)
6	17,23			31,66	51,11
8	34,87			17,69	47,44
10	44,2			11,28	44,52
12	51,83	3,4		6,24	38,53
14	33,98	23,8		3,89	38,33
16	23,27	35,99		2,57	38,17
18	16,97	43,26		1,75	38,02
20	12,49	48,38		1,24	37,89
22	10,00	47,85	6,71	0,98	34,46
24	7,72	41,36	15,85	0,73	34,34
26	6,61	35,26	28,26	0,58	29,29
28	5,32	30,16	36,76	0,48	27,28
30	4,44	24,52	43,48	0,38	27,18
32	3,58	20,35	48,68	0,31	27,08
34	3,00	17,65	52,11	0,25	26,99
36	2,57	15,15	56,97	0,20	25,11
38	2,14	13,13	59,52	0,18	25,03
40	1,80	11,24	61,87	0,14	24,95
42	1,55	9,70	63,75	0,12	24,88
44	1,36	8,39	65,34	0,10	24,81
46	1,19	7,41	66,58	0,08	24,74
48	1,02	6,73	69,23	0,07	22,95
50	0,92	5,8	70,33	0,06	22,89
52	0,81	5,25	71,07	0,05	22,82
54	0,71	4,64	71,84	0,04	22,77
56	0,63	4,20	72,43	0,03	22,71
58	0,57	3,79	72,95	0,03	22,66
60	0,53	3,35	73,50	0,02	22,60

La tabla de surtido elaborada utilizando una muestra considerable de árboles derribados permite conocer los porcentajes de los diferentes surtidos que han de obtenerse en dependencia del desarrollo que posea la plantación, donde se realiza el aprovechamiento o la intervención silvicultural en función de sus clases diamétricas.

CONCLUSIONES

- Se logra establecer la clasificación de los surtidos de madera para las diferentes clases diamétricas con el objetivo de propiciar el máximo aprovechamiento y mejor empleo de este importante recurso forestal.

RECOMENDACIONES

- Emplear la tabla de surtido elaborada a partir de las ecuaciones logarítmicas y de perfil del fuste garantizando el mejor aprovechamiento de la madera y el más alto rendimiento en función del uso asignado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDER D.: «Estimación del volumen y predicción del rendimiento» vol. 2, Estudio FAO, *Montes* 22/2, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1980.
- BÁEZ, R.; H. GRA: (1988): «Estudio dasométrico en *Casuarina equisetifolia*. Tabla de volumen», *Revista Forestal Baracoa*, vol. 18, no. 2, 1988, pp. 41-52.
- BÁEZ, R.: «Estudio dasométrico de plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst en suelos cenagosos de la provincia de La Habana». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, ISCAH Fructuoso Rodríguez, INCA, 1988.
- BOBKÓ, A.; E. ALDANA: *Ordenación de Montes*, Partes I y II, Unidad Docente de Ingeniería Forestal, Centro Universitario de Pinar del Río, 1981.
- CABALLERO M.: *Tablas y tarifas de volúmenes*, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Dirección General del Inventario Nacional Forestal, INF N 7, México DF, 1972.
- CAILLIEZ, F.: «Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento», *Estimación del volumen*, V 22/1, Estudio FAO, *Montes*, Roma, 1980.
- CAMPOS, A. J.: «Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* en América Central», *Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple*. Actas de reunión IUFRO, Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 1989, pp. 351-365.
- CUE, J. L.; E. CASTELL; J. M. HERNÁNDEZ: *Estadística*, Primera Parte, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, 1987.
- CUEVAS GARCÍA, X. ET AL.: «Modelo de crecimiento para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King)», revista *Ciencia Forestal*, vol. 17 no. 71, 1992, pp. 87-101.
- GRA ET AL.: «Confección de tablas de volúmenes, surtido y densidad del *Pinus caribaea* en plantaciones puras para Cuba», 1990.
- GRA ET. AL.: «Estudio dasométrico en plantaciones de *Pinus caribaea* var *caribaea*. Distribución de frecuencia», *Revista Forestal Baracoa*, vol. 22, no. 3, 1992, pp. 89-95.
- IBARRA, R. ET AL.: «Elaboración de tabla de volumen y referencia de índices de sitio para plantaciones de *Pinus tropicalis* en la EFI Minas de Matahambre», Forum de Ciencia y Técnica, 1996.
- LARA O. ET AL.: «Estudio del coeficiente mórfico, incremento y surtido en plantaciones de *Pinus tropicalis* de la Empresa Forestal Integral (EFI) Minas de Matahambre», Jornada Científica Estudiantil, 1996.
- PRIETO, A.; M. LÓPEZ QUERO: *Manual de ordenación forestal*, versión española de Manuel Diaménagement, 1993.
- WEBSTER ALLEN, L.: *Estadística aplicada para la empresa y para la economía*, 1996, pp. 800-821.
- WENSEL, L. C.; B. KRUMLAND: *Volume and Taper Relationships for Redwood, Douglas-fir and other conifers in California North Coast*, Division of Agricultural Sciences, University of California, Bulletin, 1983.