

Predicción del diámetro a la altura de pecho en función de las dimensiones del tocón de árboles de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego, Argentina

*Prediction of Diameter at the breast height from stump dimensions of lenga (*Nothofagus pumilio*) trees in Tierra del Fuego, Argentina*

J. O. BAVA¹ y P. M. LOPEZ BERNAL²

Recibido en diciembre de 2005; aceptado en noviembre de 2006

RESUMEN

Los bosques fiscales de lenga de Tierra del Fuego históricamente han sustentado a la gran mayoría de las industrias forestales de la provincia. La explotación de estos bosques generalmente ha sido realizada sin criterios silvícolas adecuados, y a un ritmo tal que en el corto plazo se habrán terminado las reservas de bosque fiscal productivo virgen. Para revertir esta situación hacia un manejo sustentable, es necesario disminuir la tasa anual de corta, implementar criterios silvícolas, fortalecer los sistemas de control por parte del Estado y evaluar la incorporación de superficies ya aprovechadas que hayan recuperado su productividad, definiendo pautas de manejo específicas para estos bosques. Para este último punto es necesario conocer las características iniciales del bosque y de la corta realizada. Con el objetivo de construir una herramienta que brinde información de base para la toma de decisiones específicas de cada rodal, se midieron 973 ternas de datos (d ; d_h ; h) distribuidos en 60 sitios a lo largo de la cuenca del Lago Fagnano, para luego ajustar modelos predictores de d en función de las otras dos variables con el método de pasos sucesivos. Dada la heterocedasticidad encontrada, se repitió el procedimiento con las variables logaritmizadas. Fue seleccionado el modelo

$$\log d = a + b \log d_h + c \log \frac{d_h}{h}$$

($R^2 = 0,971$; $EEE = 0,0324$). Esta herramienta permite determinar el DAP de los árboles que fueron apeados, a partir de las dimensiones del tocón, y se podrá utilizar tanto para determinar la estructura original del bosque como para determinar las características de un aprovechamiento ya realizado. Se discute el uso de las variables diámetro y altura del tocón y variables de rodal como la calidad de sitio y la estructura.

Palabras clave: bosque aprovechado, regresión, estructura

ABSTRACT

The lenga state forests of Tierra del Fuego, Argentina, historically have sustained most of the province forest industries. These forests generally were used without appropriate silvicultural criteria and with a harvesting rate that possibly will finish the fiscal reserves of old growth productive forest in the short term. In order to avoid this situation towards a sustainable management, it's necessary to reduce the annual rate of harvesting, to implement silvicultural criteria, to perform a stronger State control and to evaluate the incorporation of harvested areas that have recovered their productivity, defining specific management criteria for these forests. For this last point it's necessary to know the initial characteristics of the stands and the harvesting characteristics. In order to construct a tool that offers basic information for specific decision making at stand level, data of 973 trees (d , d_h , h) were collected, distributed in 60 sites throughout the Fagnano lake basin. Predicting models of d , based on the other two variables, were adjusted using the stepwise method. Given the found heterocedasticity, the procedure was repeated with logaritized variables. Model

$$\log d = a + b \log d_h + c \log \frac{d_h}{h}$$

($R^2 = 0,971$; $EEE = 0,0324$) was choose. This tool will be useful both to determine the original structure of the forest and to find out the harvesting characteristics. The use of variables such us stump diameter and height, and stand related variables such us site quality and structure is discussed.

Keywords: harvested forest, regression, structure

¹ CIEFAP, Ruta 259 km 4, Esquel, Chubut, Argentina. E-mail: jbava@ciefap.org.ar

² CIEFAP, Ruta 259 km 4, Esquel, Chubut, Argentina. E-mail: pablo@ciefap.org.ar

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Tierra de Fuego posee una superficie de 200.000 ha de bosques productivos de lenga, de las cuales unas 55.000 ha se encuentran en manos del estado y son las que históricamente han sustentado a la gran mayoría de las industrias forestales (Collado 2001, Yapura 1999 y 2001). Estos bosques productivos fiscales han sido aprovechados sin un criterio silvícola, lo que genera rotaciones extremadamente largas (de hasta 200 años) debido a que la masa remanente queda en muy malas condiciones de crecimiento, con una alta proporción de árboles sobremaduros e improductivos que impiden el adecuado desarrollo de los individuos jóvenes.

De esta manera, si se consideran estos períodos de rotación para el cálculo de posibilidad forestal, se ve que las tasas anuales de corta han estado por encima del límite sustentable por lo menos desde hace 30 años, con una situación actual donde una buena parte de los bosques fiscales productivos ya han sido aprovechados, quedando sólo aquellos más inaccesibles o menos productivos (Bava *et al.* 2005). Bajo estas circunstancias, los bosques fueguinos no pueden sustentar las industrias instaladas, motivo por el cual actualmente se ha decretado la emergencia forestal en la provincia mediante Decreto N°4910/04, complementado por Resolución N°36/05 (Bava *et al.* 2005).

Para revertir esta situación, es necesario disminuir la tasa anual de corta, implementar criterios silvícolas, fortalecer los sistemas de control por parte del Estado y evaluar la incorporación de superficies ya aprovechadas que hayan recuperado su productividad, definiendo pautas de manejo específicas para estos bosques aprovechados (Bava *et al.* 2005). Para este último punto es necesario contar con la mejor información posible respecto de la situación inicial del bosque y de las características de la corta realizada.

Por este motivo se planteó el objetivo de generar una herramienta que permita caracterizar los aprovechamientos previos en un determinado rodal, a partir de las dimensiones de los tocones de aprovechamiento. Con esta herramienta se podrá estimar el diámetro a la altura del pecho (d) en función de las dimensiones del tocón (diámetro y altura), y puede ser utilizada tanto como herramienta de control cuando se requiera caracterizar una corta ya realizada, como para generar información de base para la definición de pautas de manejo de bosques aprovechados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se seleccionaron 29 rodales aprovechados entre los años 1963 y 1988 distribuidos en los cuarteles forestales Río Milna, Río Valdez, Aguas Blancas y Río Turbio y en las estancias Carmen y María Cristina, todos ellos sobre la cuenca del Lago Fagnano en la provincia de Tierra del Fuego (Figura 1). Sobre cada rodal se instaló un promedio de dos parcelas cuadradas de 2500m² de superficie, totalizando 60 parcelas de medición.



Figura 1. Ubicación de las 60 unidades de muestreo. Cada punto negro indica una parcela de 2500 m² donde fueron seleccionados los individuos a medir

Obtención de los datos

En cada parcela se seleccionaron al azar cuatro árboles de cada clase diamétrica de 10 cm de amplitud, en total 7 clases. A cada árbol se le midió con cinta diamétrica el diámetro a la altura del pecho (d) y en la base del fuste (d_h), a una altura variable entre los 10 cm y los 70 cm de altura (h). La cantidad final de árboles medidos por parcela varió entre 6 y 26 en función de la estructura del rodal, sumando en total 973 individuos medidos. Por lo tanto, se obtuvieron 973 ternas independientes de datos (d ; d_h ; h) tomadas sobre árboles diferentes. Además se determinó la aptitud maderable de los individuos medidos en dos clases: apto o no apto para el aserrío utilizando los criterios sugeridos por Cordone (1997); la calidad de sitio del rodal en función de la altura dominante y la estructura original del bosque en tres clases: irregular, biestratificado y regular en función de la distribución de frecuencias diamétricas.

Análisis

Se utilizaron análisis de regresión lineal para definir una función que prediga d , en función de las dimensiones del tocón y del Índice de Sitio (Martínez Pastur *et al.* 1997). Con la base de datos obtenida se construyó un listado de variables independientes, sobre las cuales se realizó una selección para definir el modelo predictor. Para la selección de las variables se utilizó el método de los pasos sucesivos o “stepwise” (Ramsey y Schafer 1996). Este método utiliza dos criterios para la selección de variables: en primer lugar selecciona sólo aquellas variables que contribuyen de manera significativa al ajuste del modelo contrastando la hipótesis de independencia entre la variable candidata y la variable dependiente, a partir del coeficiente de correlación parcial (se utilizó una probabilidad de $f = 0,05$ para la entrada y $0,10$ para la salida). En segundo lugar utiliza el criterio de tolerancia, definida como la diferencia entre 1 y el coeficiente de determinación (R^2) que resulta de regresar esa variable sobre el resto de las variables independientes, lo que da una idea de la colinealidad entre las variables (el límite mínimo de tolerancia fue definido en $0,0001$).

Tabla 1. Listado de variables sobre las que se aplicó el método de pasos sucesivos para la selección del modelo de regresión

Variable	Descripción
d	Diámetro a la altura del pecho
h	Altura del tocón
d_h	Diámetro a la altura del tocón
$d_h * h$	Producto d_h por h
d_h / h	Cociente d_h sobre h
$\left(\frac{130-h}{130}\right)^{1.5}$	Transformación de la altura en base a la ecuación de un neiloide
s	Calidad de sitio según Martínez Pastur <i>et al.</i> (1997)

Sobre el modelo seleccionado se verificaron los supuestos que validan la regresión, observándose un alto grado de heterocedasticidad, por lo que se repitió la misma metodología utilizando las mismas variables transformadas logarítmicamente. En los modelos así obtenidos se analizó la normalidad a través del histograma de los residuos estandarizados superpuestos a una curva normal, la homocedasticidad a partir del gráfico de dispersión de residuales estandarizados y la linealidad mediante el análisis de regresiones parciales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la muestra

La muestra incorporó una amplia gama de estructuras originales, con una proporción muy similar entre estructuras regulares, irregulares y biestratificadas. En cuanto a los diámetros de los árboles medidos, la muestra abarcó individuos desde 10 hasta 94 cm de DAP, aunque las clases intermedias presentaron mayor número de árboles (figura 2).

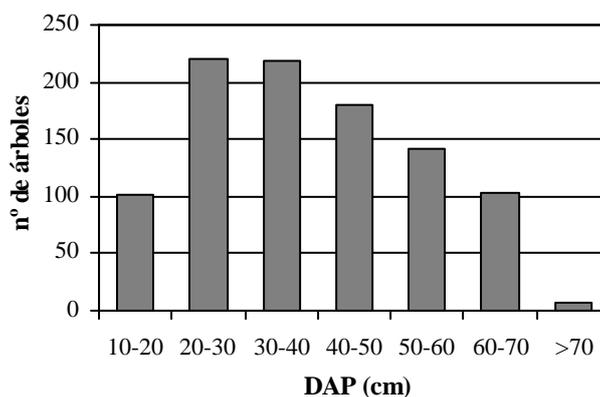


Figura 2. Distribución de la muestra en clases de DAP.

Selección del modelo

Los modelos ajustados con las variables sin transformar fueron descartados por incumplir el supuesto de homocedasticidad. A partir de las variables transformadas se obtuvieron ajustes satisfactorios (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los tres modelos seleccionados con sus respectivos estadísticos y coeficientes.

	Modelo	R ² *	EEE**	a	b	c	e
1	$\log d = a + b \log d_h$	0,951	0,0419	0,03003	0,93516		
2	$\log d = a + b \log d_h + c \log \frac{d_h}{h}$	0,971	0,0324	-0,11552	1,03896	-0,10506	
3	$\log d = a + b \log d_h + c \log \frac{d_h}{h} + e \log s$	0,971	0,0323	-0,10100	1,03987	-0,10521	-0,03221

* Coeficiente de determinación corregido

** Error estándar de la estimación en unidades logarítmicas

Si bien la calidad de sitio realiza un aporte estadísticamente significativo, la disminución del error es tan pequeña que no justifica su utilización. Por lo tanto el modelo seleccionado es el número 2. Para este modelo se verificaron los supuestos de homocedasticidad, linealidad, independencia y normalidad, sin que se encuentren indicadores negativos.

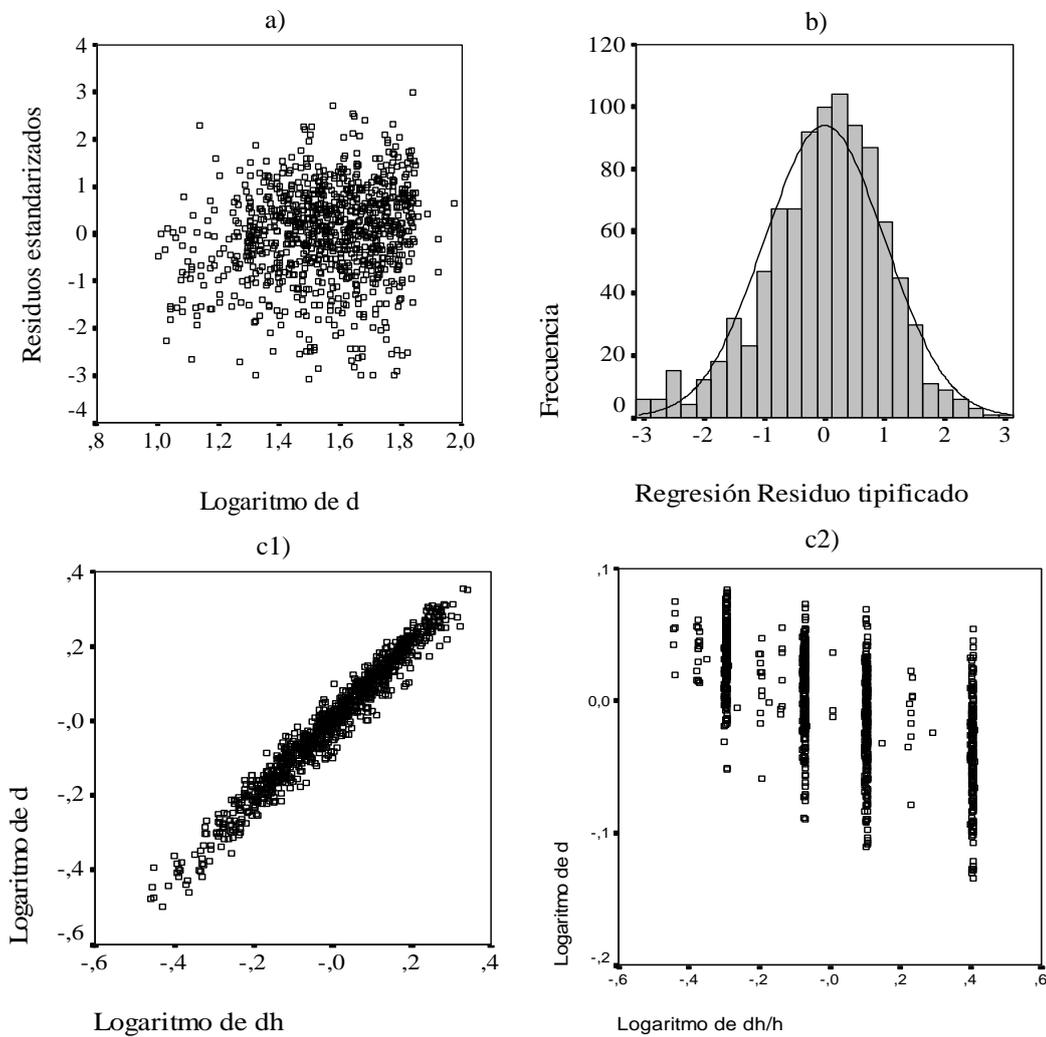


Figura 3. a) Residuales estandarizados del modelo 2, b) Histograma de residuos estandarizados y c) Gráficos de regresiones parciales de d_h y d_h/h .

4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron modelos con buenos ajustes que permiten estimar el diámetro a la altura del pecho de árboles apeados a partir del diámetro y la altura del tocón. Dada la heterocedasticidad en la relación entre d y d_h el error de la estimación de d aumenta en los diámetros mayores. Para el valor medio de d observado en esta muestra, de 38,4 cm, el error estándar estimado es de 3 cm; y para un valor de d de 45 cm, que corresponde a un promedio frecuente para árboles aprovechados en bosques de lenga (Bava 1999), el error estándar es de 3,5 cm, es decir que permitirían establecer a qué clase diamétrica pertenecía cada individuo.

El modelo seleccionado incorpora las variables diámetro y altura de tocón, que son medidas fáciles de tomar en el campo. Si bien la calidad de sitio realiza aportes significativos al modelo, se consideró que éstos son muy pequeños y no justifican su incorporación. No obstante se brindan los datos necesarios para su utilización cuando se la considerara necesaria.

Agradecimientos:

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a aquellas personas que posibilitaron la ejecución del presente trabajo: Ing. Luis Colombo por su invaluable ayuda en la ubicación de las parcelas, al Ing. R. Hlopec por sus comentarios, al Ing. R. Roveta, S. Pérez, V. Albarracín, L. Collado, H. Vargas y P. Velásquez por la colaboración en las tareas de campo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Bava, J. 1999. Los bosques de lenga en Argentina. (9):273-296. En: Donoso, C.; Lara, A. Silvicultura de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 421 p.
- Bava, J. O., L. Collado, L. Colombo, S. Farina, S. Favoretti, F. Jaras, R. Hlopec, P. López Bernal, N. Urquía. 2005. Historia y perspectivas del aprovechamiento forestal en tierras fiscales en Tierra del Fuego. Enviado y aceptado por el Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano a realizarse los días 6 a 9 de septiembre de 2005.
- Collado, L. 2001. Los bosques de Tierra del Fuego. Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la provincia. *Multequina* 10: 01-16.
- Cordone, V. J. 1997. Clasificación de madera en rollo de lenga. Manual de instrucciones. CIEFAP. Esquel, Argentina. 24 p.
- Gea Izquierdo, G., G. Martínez Pastur, J. M. Cellini, M. V. Lencinas, I. Mundo, S. Burns, J. Bozzi. 2003. Modelos de diámetro para la fiscalización de bosques aprovechados de lenga (*Nothofagus pumilio*). Actas de las 10^o Jornadas Forestales y Ambientales, Eldorado, Misiones.
- Martinez Pastur, G., P. Peri, R. Vukasovic, S. Vaccaro, V. Piriz Carrillo. 1997. Site index equation for *Nothofagus pumilio* forests. *Phyton* 6: 55-60.
- Philip, M. S. 1994. *Mesasuring trees and forests*. Second edition. Ed. CAB International. 310 p.
- Ramsey, F. L., Schafer, D.W., 1996. *The statistical sleuth. A course in methods of data analysis*. Duxbury Press, USA.
- Yapura, P. 1999. Evaluación del Estado de cuarteles forestales aprovechados y sus áreas de influencia – Primera etapa- Provincia de Tierra del Fuego. Informe Final Consejo Federal de Inversiones. 64 p.
- Yapura, P. 2001. Evaluación del Estado de cuarteles forestales aprovechados y sus áreas de influencia –segunda etapa- Provincia de Tierra del Fuego. Informe Final Consejo Federal de Inversiones. 73 p.

