

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego.

Martínez Pastur, Guillermo¹; Pablo Luis Peri²; Ricardo Vukasovic³; Juan Manuel Cellini⁴; Carlos Spagarino⁴; Douglas Sharpe⁴.

1 Centro Austral de Investigaciones Científicas (CONICET). 2 Universidad Nacional de la Patagonia Austral (Convenio UNPA-INTA-CAP). 3 Aserradero Los Castores. 4 Cucamonga - Fri - Cultura.
5 Correspondencia: CADIC. cc 92 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego - Argentina.

Resumen

Una tarea compleja y azarosa es estimar volúmenes útiles en pie en bosques de lenga, así como estimar el rendimiento de un aserradero en función de las trozas a aserrar. Los objetivos del presente trabajo fueron desarrollar un sistema de ecuaciones para estimar el rendimiento volumétrico de un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III a partir de variables de fácil obtención en árboles en pie, y estimar funciones de rendimiento de madera procesada para un aserradero mediano en Tierra del Fuego. Utilizando variables de uso corriente en inventarios (DAP, clase social, sanidad, forma y número de vigas) y durante la fiscalización del aprovechamiento (diámetro y largo de las trozas), se pudieron desarrollar modelos sencillos de fácil construcción que brindan parte de la información necesaria para una mejor planificación en el aprovechamiento de nuestro recurso forestal.

Palabras claves: volumen aserrable, rendimiento, aserradero, Tierra del Fuego, *Nothofagus pumilio*.

Abstract

A random and complex task is to estimate the timber volume to be harvested in a Lenga forest, or to predict the yield of the logs to be sawed in a sawmill. The aims of this work were: to develop an equation system to estimate the timber volume of a *Nothofagus pumilio* forest (site quality III) from easy measured variables on standing-trees, and to construct a function to predict the yield of a middle-production sawmill of Tierra del Fuego. Using forest survey current variables (DAP, crown classes, health, stem shape and number of logs) and yield measurements (diameter and length of logs), it is possible to construct easy models. These equations give some of the necessary information for a better planification in the management of our forest resouce.

Key words: timber volume, yield, sawmill, Tierra del Fuego, *Nothofagus pumilio*.

Introducción

Una de las tareas más complejas y azarosas al realizar un inventario forestal en bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser ("lenga"), es la estimación

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

del volumen de madera que va a ser aprovechado por una industria determinada. Usualmente se cuantifica el volumen total del bosque y se lo clasifica de acuerdo a diferentes parámetros (frecuencias diamétricas, fases de los árboles, clases de copa, forma y sanidad del fuste). A partir de estas clasificaciones se estima un "porcentaje de volumen aprovechable". Debido a la enorme variabilidad que se obtiene como resultado de esta metodología, los valores son poco confiables y poco utilizados. El carácter subjetivo, intrínseco a la calificación visual, convierte a esta última en un factor de distorsión en la evaluación de las existencias reales (Piterbarg, 1965).

En los últimos años se han desarrollado distintas metodologías tendientes a aumentar la precisión en la estimación de los volúmenes útiles a partir de árboles en pie (Chauchard y Carabelli, 1992; Chauchard y González Peñalba, 1993). Estos sistemas apuntan a eliminar la subjetividad del técnico forestal mediante una normativa de clasificación de volúmenes y asignación de descuentos a partir de códigos. Sin embargo, estas metodologías incluyen muchas estimaciones y clasificaciones árbol por árbol, lo que aumenta la complejidad y el costo del inventario. Por otra parte, el método necesita estimar el volumen de porciones del fuste en pie para realizar los descuentos, tarea de por sí engorrosa, imprecisa y subjetiva.

Usualmente, en los aserraderos se calcula el rendimiento a partir de un cociente entre una estimación del volumen de rollizos que ingresa y el producto de madera aserrada. Este porcentaje (como un valor constante) se utiliza posteriormente para la planificación y análisis económico de la empresa. Sin embargo, el diámetro, el largo y sanidad de las trozas, la fase del árbol de donde provinieron y la posición de la troza en el fuste, influyen diferencialmente sobre el rendimiento del aserradero (Donoso y Caldentey, 1995). Esto significa que obtendremos diferentes rendimientos de acuerdo a los distintos tipos de trozas que el aserradero vaya a procesar.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) desarrollar un sistema de ecuaciones para estimar el rendimiento volumétrico de un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III a partir de variables de fácil obtención en árboles en pie, y 2) estimar funciones de rendimiento de madera procesada para un aserradero mediano en Tierra del Fuego.

Materiales y Métodos

a) *Toma de la muestra:* Se trabajó en las instalaciones del aserradero Los Castores y en un bosque puro de *N. pumilio* de la Ea San Justo (Tierra del Fuego) (54° 06' LS, 68°

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

37' LO). Esta empresa realiza el aprovechamiento de los bosques de acuerdo a la reglamentación forestal vigente (Ley 145 de la provincia de Tierra del Fuego), utilizando como método de reproducción al monte alto bajo cubierta protectora. Para ello realiza una corta de protección, dejando en pie el 40% del área basal inicial, con distancias entre árboles de hasta aproximadamente 10 metros.

Se seleccionó una hectárea dentro de un rodal representativo para la zona y cuya descripción se presenta en la Tabla 1. Este rodal es de calidad III de acuerdo a la clasificación de Índice de Sitio propuesta por Martínez Pastur *et al.* (1997). Se realizó un inventario total de los individuos y la marcación de los árboles a dejar en pie. Cada árbol fue numerado para su posterior identificación. En el volteo se apeó la totalidad de los individuos que no estaban marcados. Luego del corte se cuantificó el volumen de vigas a pie de astilla, quedando discriminada la muestra tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1. Estructura del bosque muestra.

	En pie	Volteado	Total
n/ha	90	321	411
AB (m ² /ha)	24,16	35,53	59,69
DCM (cm)	58,47	37,54	43,00
VTCC (m ³ /ha)	315,23	411,31	726,54

AB = área basal; DCM = diámetro cuadrático medio; VTCC = volumen total con corteza.

Tabla 2. Distribución de los árboles muestra obtenidos en la parcela.

DAP (cm)	Número de árboles (n)		Total
	VV = 0	VV > 0	
0,0-10,0	31	0	31
10,1-20,0	71	0	71
20,1-30,0	45	2	47
30,1-40,0	26	22	48
40,1-50,0	13	31	44
50,1-60,0	15	18	33
60,1-70,0	12	7	19
70,1-80,0	5	2	7
80,1-90,0	2	0	2
90,0-100,0	0	1	1
Total	220	83	303

VV = volumen de vigas.

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

b) *Estimación en pie del volumen aprovechable*: La variable a estimar es el volumen de vigas cuyo destino final es el aserradero. Las mismas fueron faenadas a pie de astilla por una cuadrilla de motosierristas y rastreadas por un skidder mediante lingas hasta un canchón de acopio. Para ser aceptadas las vigas faenadas debían tener de 3 a 7 metros de largo, no menos de 20 cm de diámetro en punta fina, pudrición no mayor a un tercio en la peor cara, grano recto y no presentar una flecha excesiva.

La estimación del volumen de vigas aprovechable en árboles en pie se obtuvo mediante el siguiente modelo:

$$VV = M * I \quad (1)$$

donde M es una regresión no lineal de volumen de vigas en función del DAP y la clase social (CS), e I es un índice de discriminación (valor 0 o 1) construido en base a estimaciones visuales (de 3 ó 4 frecuencias) que usualmente se realizan en los inventarios forestales. Se utilizó a la CS (suprimido, intermedio, codominante y dominante), número de vigas de posible obtención (NV) (0 a 3) (Piterbarg, 1965), fase del árbol (COI, COF, E y Dm), forma del árbol (0 para fuste retorcido, 1 para un valor intermedio y 2 para un árbol recto), sanidad (0 para defectos generalizados, 1 para defectos localizados y 2 para un árbol sin defectos) y frecuencias del DAP.

Tabla 3. Muestra de vigas seleccionadas para la construcción de la función de rendimiento del aserradero.

Diámetro (cm)	Pudrición	Largo (m)			Total
		3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	
20,1-30,0	<i>sí</i>	1	0	0	1
	<i>no</i>	4	7	0	11
30,1-40,0	<i>sí</i>	1	2	3	6
	<i>no</i>	1	3	0	4
40,1-60,0	<i>sí</i>	0	0	1	1
	<i>no</i>	1	2	0	3
Total		8	14	4	26

c) *Estimación del rendimiento de trozas en el aserradero*: Se seleccionaron trozas de las canchas de acopio con diferentes diámetros, largos, presencia de flecha y

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

porcentajes de pudrición (Tabla 3). Las mismas se procesaron en las instalaciones del aserradero en una línea continua compuesta de una sierra principal Primultini, una reaserradora Primultini y una despuntadora de sierra circular Denning. El aserrado de las trozas se realizó priorizando la obtención de tablas para madera de exportación (una cara sin defectos y 36 mm de ancho) y madera larga (más de 6,1 pies o 1,90 m de largo). Las tablas para madera de exportación se procesaban de tal manera que permitiesen la obtención de listones de 75,0 mm de ancho, 25,4 mm de espesor y un largo de 0,5 a 1,5 m. El producto de cada troza se mantuvo individualizado, realizando posteriormente una regresión no-lineal a partir de parámetros de fácil medición en las trozas.

Tabla 4. Modelo de estimación del volumen aprovechable en pie (1).

Componente M

parámetros		estadísticos	
Vigas con corteza			
a	0,00000707	r-cuadrado	0,768431
b	0,33267746	residual medio	0,046349
c	2,91799702	RSD	0,396345
Vigas sin corteza			
a	0,00000446	r-cuadrado	0,772759
b	0,33237649	residual medio	0,045322
c	3,00062082	RSD	0,355529

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasović; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

Componente I

C S	S									<i>I</i> =0		
	I	N	0								<i>I</i> =0	
			V	1-2	Fase	1-2	San	0-1			<i>I</i> =0	
		2								<i>I</i> =1		
		3				<i>I</i> =1						
		C-D	N V	0	Fase	1-2	F	0				<i>I</i> =0
	1							San	0			<i>I</i> =0
									1-2	DAP	<30 >60	<i>I</i> =0
	30 a 60							<i>I</i> =1				
	2							San	0			<i>I</i> =0
									1-2			<i>I</i> =1
	3					<i>I</i> =0						
	1-2			San	0-1	F	1	DAP	>45			<i>I</i> =0
									<45			<i>I</i> =1
							2	DAP	<30 >60			<i>I</i> =0
									30 a 60			<i>I</i> =1
					2			<i>I</i> =1				
	3					<i>I</i> =1						

CS= clase social; NV= número de vigas; F= forma de fuste; San= sanidad.

Resultados y Discusión

a) *Estimación en pie del volumen aprovechable*: El primer componente (*M*) del modelo (1) quedó definido como:

$$M = a * CS^b * DAP^c$$

donde CS es la clase social (1 para los suprimidos, 2 para los intermedios, 3 para los codominantes y 4 para los dominantes), DAP es el diámetro a la altura del pecho (5 a 110 cm) y *abc* los parámetros a estimar.

Este modelo se construyó a partir de los árboles que efectivamente brindaron volúmenes aserrables (n = 83). Los parámetros y estadísticos obtenidos fueron altamente satisfactorios (Tabla 4).

El segundo componente (*I*) del modelo (1) quedó definido por una clave de discriminantes que se presenta en la Tabla 4. Este componente elimina aquellos

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

individuos que no aportan volumen útil (Figura 1) durante el aprovechamiento. Este discriminante fue muy satisfactorio (Tabla 5), con un error de selección de individuos de -3,6 % (279/303 individuos tuvieron una predicción acertada, mientras que el resto se compensó dentro de los niveles de error presentados).

Se analizó el ajuste y comportamiento de todo el modelo (M^*I) mediante el coeficiente de variación de los residuos ($syx\%$) (Friedl *et al.*, 1991) (para individuos con $VV > 0$), una autovalidación del volumen neto obtenido en la hectárea y un análisis de los residuales en función del DAP (Tabla 6 y Figura 2). El error de estimación volumétrico fue de aproximadamente 6% ($n=303$), valores algo menores a los obtenidos por Chauchard y Carabelli (1992) (9%) para 12 árboles. El análisis de los residuales discriminados según clases de DAP nos presenta un desvío porcentual (en función del volumen de viga promedio de la clase) que ronda el 20%. Para individuos mayores de 70 cm de DAP el error porcentual aumenta notablemente (50%), debido a la gran variabilidad de las respuestas (en nuestra muestra hubo un individuo que aportó 6 m^3 de VV y cuya participación en el error fue definitoria para la clase). Los errores absolutos variaron entre un 40-60% para todas las clases diamétricas. Debemos tener en cuenta que la variable a estimar no tiene una proporcionalidad constante pudiendo tener un comportamiento divergente (es decir que a mayor DAP no siempre encontramos un mayor VV) (Figura 1). De esta manera al ser la variable dependiente un parámetro discontinuo, los sesgos lógicos de todo modelo se potencian, elevando los valores del error a niveles más altos que los de la heterogeneidad de la muestra. Sin embargo, los errores totales volumétricos por hectárea, dado por un efecto compensatorio dentro de la estimación del discriminante, son altamente satisfactorios.

Tabla 5. Análisis de Chi-cuadrado para el discriminante I de la ecuación (1).

DAP (cm)	n	Estimado V = 0 (%)	Real V = 0 (%)	Chi (significancia)
< 20,0	100	100,0a	100,0a	----- (1,000)
20,1 a 40,0	98	68,7a	75,8a	1,23357 (0,266)
40,1 a 60,0	76	32,5a	36,4a	0,25892 (0,611)
> 60,1	29	72,4a	65,5a	0,32222 (0,570)
Total	303	70,2a	72,8a	0,51460 (0,473)

Letras iguales en una misma fila no presentan diferencias significativas a $P < 0,05$.

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

Tabla 6. Ajuste y comportamiento del modelo (1).

	Estimado		Real	
	VVCC	VVSC	VVCC	VVSC
Volumen (m ³)	75,596	66,066	80,362	71,002
Error (%)	5,9305	6,9510		
desvío promedio	0,0156	0,0161		
desvío absoluto	0,1665	0,1485		
syx%	2,94 %	2,82 %		

VVCC = volumen de vigas con corteza; VVSC = volumen de vigas sin corteza.

b) *Estimación del rendimiento de trozas en el aserradero:* Se modelizó el rendimiento obtenido para la muestra de trozas frente al diámetro promedio, el largo, la presencia de flecha, pudrición promedio de ambas caras y pudrición de la peor cara. Se realizó una regresión paso a paso, siendo el diámetro y el largo los únicos parámetros significativos. Con dichos parámetros se construyó el modelo de la Tabla 7, obteniendo los estadísticos presentados a partir de una regresión no lineal.

Tabla 7. Modelo de rendimiento de trozas en el aserradero.

Modelo	$VM = a * D^b * L^c$		
	donde VM (m ³) = volumen de madera procesada.		
	D (cm) = diámetro promedio de la troza.		
	L (m) = largo de la troza.		
parámetros	estadísticos		
a	0,00004804	r-cuadrado	0,907601
b	1,90758730	residual medio	0,006842
c	1,06841818	RSD	0,080932

El modelo se aplicó a las trozas obtenidas en la parcela (n = 120), obteniendo un volumen de madera aserrada de 38,4584 m³. Dicho volumen representa un rendimiento del 47,85 %, que se corresponde aproximadamente a lo que obtuvo el aserradero en una jornada de trabajo (45,0 %) a partir de trozas de un rodal de características similares.

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

Conclusiones

El modelo de estimación de volúmenes útiles en pie es una herramienta de uso sencillo, con parámetros de fácil y usual obtención en los inventarios forestales de bosques de Lenga. Este modelo fue generado para un solo sitio. El factor M debería incluir a la variable sitio (en mejores sitios es de esperar mayores volúmenes útiles para un DAP determinado), esperando un comportamiento constante para el factor I , salvo el DAP (es de esperar que en mejores sitios los valores de los rangos de DAP sean mayores). Sin embargo, es necesario desarrollar esta metodología en una gran gama de sitios y ambientes antes de generalizar su uso en inventarios a gran escala.

El modelo de rendimiento del aserradero permite estimar el producto de volumen útil a obtener. Las variables que necesita el modelo se miden usualmente cuando se fiscaliza el aprovechamiento forestal, y que posteriormente podrían utilizarse para estimar la producción del establecimiento. Sin embargo, la muestra de nuestro modelo fue muy pequeña (razón que podría explicar la no significancia de la pudrición y la flecha), debiéndose incluir en una futura construcción, rangos más extremos de las variables independientes.

Estos modelos son ejemplos de herramientas sencillas de fácil construcción, que deberían desarrollarse comúnmente en nuestro ámbito, y que brindan parte de la información necesaria para una mejor planificación en el aprovechamiento de nuestro recurso forestal.

Agradecimientos: Al aserradero Los Castores, al INTA EEA-Santa Cruz y la UNPA por el apoyo financiero para la realización de este trabajo. A Cecilia Fernández por revisar el manuscrito. A Guillermina Dalla Salda, Boris Díaz, Francisco Fucaraccio, Sabrina Vaccaro, el Colo, Verónica Piriz Carrillo, Victoria Skrt, Paula Ferrere, Gabriela Staffieri, quienes participaron en los trabajos de campo.

Bibliografía citada

Chauchard, L; F Carabelli, 1992. Sistema de clasificación de árboles en pie para la estimación de volúmenes útiles. Actas del Seminario de Manejo Forestal de la Lenga y aspectos ecológicos asociados. Pag 160-164. Esquel, 23-24 de Junio. CIEFAP, publicación técnica n° 8.

Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovič; J. M. Cellini; C. Spagarino; D. Sharpe. 1997. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. II° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13 al 15 de Agosto de 1997. Pág 123-132.

Chauchard, L; M González Peñalba, 1993. Sistema de clasificación de árboles en pie para la estimación de volúmenes aserrables. Primera convalidación. Actas de las VII Jornadas Técnicas. Ecosistemas forestales nativos: uso, manejo y conservación. Pag 225-234. Eldorado, 10-12 de Noviembre. ISIF - Universidad de Misiones.

Donoso, S; J Caldentey, 1995. Rendimiento de lenga (*Nothofagus pumilio*) en el aserrado y su relación con las características silvícolas de los árboles. Actas de las IV Jornadas Forestales Patagánicas. Pag 439-453. San Martín de los Andes, 24-27 de Octubre. AUSMA.

Friedl, RA; R Costas; D Maiocco; L Grance; J Palavecino, 1991. Construcción de tablas de volumen estándares para *Araucaria angustifolia*. Actas de las VI Jornadas Técnicas. Inventarios, modelos de producción y crecimiento forestales. Pag 57-68. Eldorado, 9-12 de Octubre. ISIF - Universidad de Misiones.

Martínez Pastur, G; P Peri; R Vukasovic; S Vaccaro; V Piriz Carrillo, 1997. Site index equation for *Nothofagus pumilio* forests. Phytion. 10 pp. *En prensa*.

Piterbarg, R, 1965. Inventario y ordenación de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego, y primeros resultados de su explotación. Revista Forestal Argentina IX(4): 105-113.

Figura 1. Distribución de los valores observados (DAP-VV).

Figura 2. Análisis de los residuales (observados - calculados) en función de las clases diamétricas.