

ARTICULOS

Estimación de volumen maderable en bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio*) en la región patagónica de Argentina

Net volume estimation of ‘Lenga’ (*Nothofagus pumilio*) forests in the Patagonian region of Argentina

FRANCISCO CARABELLI,^{1, 2} JOSE BAVA,^{1, 2} FABIAN MOMBERG,² VICENTE CORDONE²

¹Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), C.C. 14 (9200) Esquel, Chubut, Argentina, E-mail: fcarabelli@gefrag.com.ar, jbava@ciefap.cyt.edu.ar.

²Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Ruta 259 km 4 (9200), Esquel, Chubut, Argentina, E-mail: fmomberg@ciudad.com.ar, vicentejcordone@hotmail.com.

SUMMARY

An equation for the net volume estimation of ‘Lenga’ forests (*Nothofagus pumilio*, Poepp. et Endl. Krasser) was designed. This function gives highly consistent results and is based on a large number of sample trees obtained by a selective cutting method called ‘floreo,’ which is similar to the traditional method used by local woodsmen. The equation has been successfully employed to estimate the net volume of species for the Chubut Province native forest inventory.

Key words: Lenga net volume estimation, volume equation, traditional cutting.

RESUMEN

Se elaboró una ecuación para la estimación de volúmenes maderables en árboles con aptitud para aserrío (floreables) en inventarios de bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser). Esta función resulta muy consistente y se basa en una gran cantidad de árboles muestra extraídos por floreo, de acuerdo con los criterios tradicionales de selección que emplean los motosierristas de la región. La ecuación ha sido empleada exitosamente para estimar el volumen maderable de la especie en el Inventario del bosque nativo de la provincia del Chubut.

Palabras clave: lenga, estimación de volumen maderable, función de volumen, corta tradicional.

INTRODUCCION

Históricamente, la determinación de los volúmenes potenciales de productos maderables que pueden extraerse de los bosques de *Nothofagus pumilio* ha sido sumamente dificultosa (1). Entre las causas de esta problemática puede mencionarse la imposibilidad de establecer relaciones confiables entre el aspecto externo del árbol, única guía para realizar una estimación de la calidad volumétrica durante el inventario, y su estado sanitario en lo que respecta al grado de afectación

de la madera por hongos y otros agentes patógenos (2). Prácticamente, sin excepción, los aserraderos de toda la región patagónica han confiado la tarea de selección de las mejores plantas, es decir, las que tienen un elevado porcentaje de madera industrialmente apta, a motosierristas experimentados que, en general, son eficientes en dicho proceso.

Desde una perspectiva silvícola, sin embargo, es evidente que no puede demorarse la estimación del volumen de productos maderables hasta la instancia de la corta, sobre todo teniendo en cuenta

que la selección que realizan los motosierristas resulta en la práctica un floreo clásico que empondece gradualmente la calidad del bosque remanente y muchas veces está también ligado a modalidades de aprovechamiento poco deseables que afectan la ocurrencia y la calidad de la regeneración, lo cual dificulta cualquier intento posterior de manejo del bosque (3).

Afortunadamente, y para avanzar en la solución del problema que causaban –y aun lo hacen– las extracciones madereras sin criterios silvícolas, los organismos fiscalizadores han comenzado a exigir, desde hace ya algunos años, Planes de Manejo para intervenir los bosques nativos con fines industriales (4). Esta situación acentuó la necesidad de estimar los volúmenes maderables a través de inventarios con un grado aceptable de confiabilidad, para realizar a posteriori un cálculo relativamente preciso de la rentabilidad que podría tener el industrial.

Aun cuando para la mayoría de tales Planes se utilizan ecuaciones de volumen maderable ya existentes, las estimaciones siguen siendo imprecisas, por la reducida consistencia de estas tablas, debido al escaso número de muestras empleadas en su construcción y a la enorme heterogeneidad sanitaria de los bosques de *Nothofagus pumilio* (4). Otra situación que se presenta como problemática es la concerniente al uso abusivo e incorrecto que se hace de una función de volumen maderable, pues es corriente emplearla para todos los árboles presentes en el área de inventario cuando, en rigor, muy pocos dan trozas maderables (1). Esta situación que se ha prolongado hasta el presente, evidencia claramente la necesidad de contar con ecuaciones de volumen maderable que disminuyan la gran incertidumbre que han caracterizado las estimaciones para esta especie. Avanzar en la solución de este problema representaría un gran paso, teniendo en cuenta que *Nothofagus pumilio* es la especie de mayor importancia industrial en los bosques nativos andino-patagónicos por la gran superficie que ocupa en su rango de distribución latitudinal, desde el norte de Neuquén hasta Tierra del Fuego (5). Sólo en la provincia del Chubut, la superficie que ocupa el bosque de lenga considerado potencialmente productivo es de 123.000 ha (6), de acuerdo con los resultados del Inventario del bosque nativo provincial, mientras que en Tierra del Fuego esa misma categoría de bosque ocupa aproximadamente 200.000 ha (7).

Los Planes de Manejo deben ser las herramientas indispensables para el manejo criterioso y responsable de los bosques nativos, pero deben mejorar la confiabilidad en la estimación de los volúmenes de madera, para que puedan traducirse en acciones silviculturales concretas, por un lado, y en una mayor seguridad en el cálculo de la rentabilidad empresarial, por el otro (4).

Este estudio presenta una ecuación para la estimación de volumen maderable disponible en trozas de tamaño convencional, en la población de árboles “floreables” del bosque, es decir, en aquellos árboles de los que un motosierrista espera obtener por lo menos una troza aserrable. Utiliza como variables predictoras el diámetro a la altura del pecho y el largo útil del fuste, considerando así la sumatoria de los rollizos maderables por árbol. Puede utilizarse para estimar la volumetría en inventarios, teniendo la precaución de estimar las longitudes útiles de fuste por árbol cuando estos pueden dar al menos un rollizo y de clasificar al mismo de acuerdo con criterios de calidad y uso previamente establecidos.

MATERIAL Y METODOS

Los bosques de lenga ocupan en Argentina una estrecha faja de unos 2.000 km de largo, desde las cercanías del Lago Moquehue en la provincia de Neuquén hasta el canal de Beagle en Tierra del Fuego e Isla de los Estados (8) (figura 1). La muestra fue obtenida en las provincias argentinas que concentran la mayor superficie de bosques productivos: Chubut y Tierra del Fuego. Los árboles fueron cubicados en el marco de la realización de floreos convencionales, que conllevan la extracción de los ejemplares maderables (9). La procedencia exacta de la información se presenta en el cuadro 1.

Elección de los árboles muestreados y cubicación: Los árboles fueron seleccionados por obreros forestales con los criterios tradicionales con que ellos seleccionan las plantas para el floreo. Estos criterios se orientan a la obtención de por lo menos una troza aserrable, a través del apeo de ejemplares sanos generalmente de mediano porte. Cada árbol elegido fue apeado y trozado con el objetivo de producir una troza aserrable convencional. Las dimensiones mínimas aceptadas, así como la tolerancia en relación a defectos de la

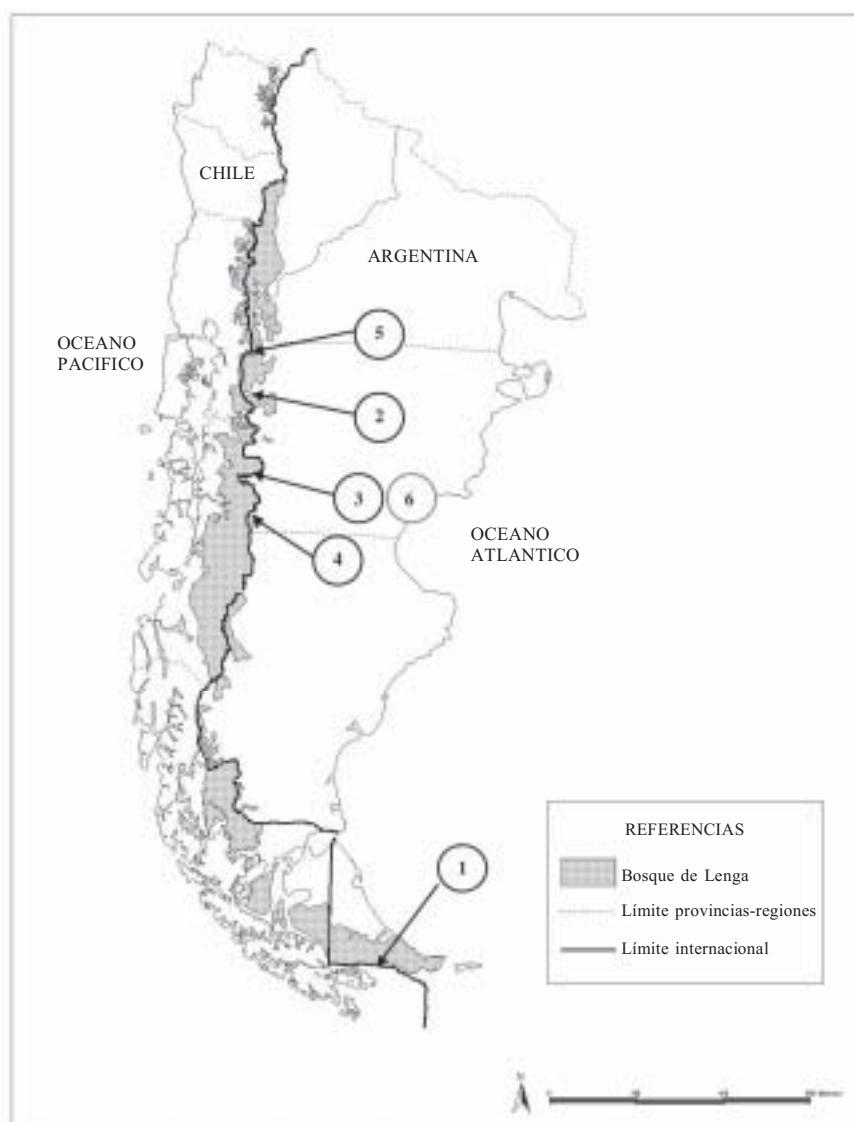


Figura 1. Ubicación de las zonas de muestreo. 1. Estancia Río Valdez; 2. Corcovado; 3. Lago La Plata; 4. El Triana; 5. Cholila; 6. Lago Fontana.

Location of the sample areas: 1. Estancia Río Valdez; 2. Corcovado; 3. Lago La Plata; 4. El Triana; 5. Cholila; 6. Lago Fontana.

troza varían entre los diferentes aserraderos, pero una orientación del tipo de troza producto del aprovechamiento usual se presenta en el cuadro 2.

Los árboles apeados fueron trozados para la obtención de trozas aserrables de las características descritas en el cuadro 2. La cubicación de las trozas se realizó en la mayoría de los casos mediante la fórmula de Huber, que adopta la siguiente expresión:

$$V = l \cdot g_{l/2} \quad [1]$$

donde V : volumen de la troza; l : largo de la sección fustal, y $g_{l/2}$: área de la sección a medio largo (10).

Mientras tanto para las zonas de Cholila y lago Fontana se empleó la fórmula de Smalian, que se expresa como:

$$V = (g_h + g_s) \cdot l/2 \quad [2]$$

Donde V : volumen de la troza; g_h : área de la sección transversal del extremo más grueso; g_s : área de la sección transversal del extremo más delgado y l : largo de la sección fustal (10).

El largo útil por árbol corresponde a la suma del largo de las trozas aserrables de cada planta.

Los datos se organizaron en clases diamétricas de 10 cm de amplitud, a efectos de conocer la representatividad de cada clase con respecto al total (figura 2).

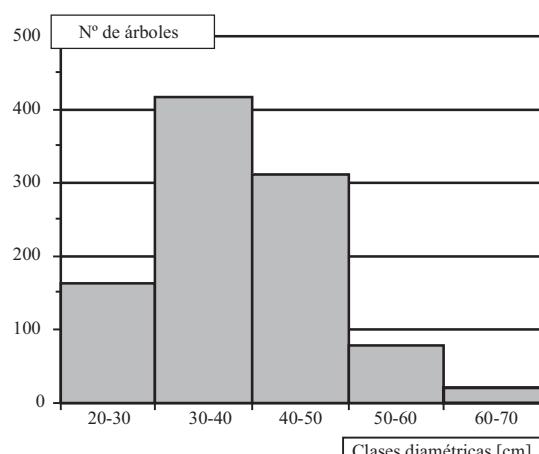


Figura 2. Distribución de los árboles muestra por clase diamétrica.

Diameter classification distribution of the sampled trees.

CUADRO 1

Origen de los árboles cubicados.

Source of the measured trees.

Provincia	Nº de plantas	Origen
Tierra del Fuego		
Fuego	766	Floreo Estancia Valdez
Chubut	67	Floreo Corcovado
Chubut	64	Floreo Lago La Plata
Chubut	46	Floreo El Triana
Chubut	28	Floreo Cholila
Chubut	22	Floreo Lago Fontana
TOTAL	993	

Luego, se establecieron las variables independientes y combinaciones lineales y cuadráticas en alguno de sus términos, de las mismas. Las variables simples elegidas fueron:

- Diámetro a la altura del pecho (DAP)
- Área Basal (AB)
- Sumatoria de los largos de troza (H): corresponde a la suma de las secciones útiles del fuste sobre el árbol en pie.

CUADRO 2

Medidas promedio de trozas producidas en diferentes floreos.
Mean measurements of logs produced by different traditional cutting methods.

Diámetro medio	Largo (cm)	Volumen (m)	N (m ³)	Ubicación
28,6	4,36	0,30	229	**Floreo en Cuartel Río Claro (T. del F.)
33,3	3,94	0,36	157	**Floreo en Río Valdez (T. Del F.).
39,3	3,72	0,45	67	*Floreo en Corcovado (Ch.)
36,1	4,86	0,50	370	*Floreo en Ea. Valdez (T. del F.)
42,5	4,04	0,60	259	**Floreo en Cuartel Bombilla (T. del F.).
38,0	3,75	0,43	122	*Floreo en Lago La Plata (Ch.)
34,2	3,44	0,33	95	*Floreo en El Triana (Ch.)
35,9	4,2	0,45	1.299	Valores promedio ①

Fuente: *Datos CIEFAP. **Datos Dir. Gen. Rec. Nat. Tierra del Fuego (Bava, 1999).

① Sumatoria de los valores.

Las variables combinadas fueron las siguientes:

- DAP²
- DAP*H
- DAP²*H

Con estas variables se ensayaron varios modelos que se ajustaron mediante técnicas de regresión lineal simple y múltiple. Para la elección del modelo más apropiado, la evaluación estadística se basó en el coeficiente de determinación (R^2), el error estándar de la estimación (ESE), la prueba de t de Student, la prueba de F y el análisis de los residuales (ANARE) de la regresión. Se presentan los tipos de modelos preseleccionados –de un total de 30 ensayados– que están dentro de la misma clase de modelo, de tipo polinómico, con una de las variables predictoras, simple o combinada, elevada a la primera y segunda potencia.

CUADRO 3

Tipos de modelos genéricos preseleccionados para la estimación de volumen maderable en *Nothofagus pumilio*.

Generic model types selected for the *Nothofagus pumilio* net volume estimation.

Tipo de Modelo
$V = D + b DH + c H$
$V = D + b DH$
$V = D + b (DH)^2 + c H$
$V = D + b AB + c H + d DH$
$V = a + b D + c DH + d AB$
$V = a + b D + c D^2 + d D^2H + e H$
$V = D + b D^2 + c DH + d D^2H$

V: Volumen neto en m^3 .

D: Diámetro a la altura del pecho en cm.

H: Largo útil, sumatoria de trozas maderables, en m.

AB: área basal en m^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado principal es la ecuación de estimación del volumen maderable en función del diámetro a la altura del pecho y del largo útil del fuste en árboles floreables. El largo útil del fuste es, en la muestra, la suma de todas las trozas

obtenidas por cada árbol apeado, en el campo, durante el inventario. Ello debe considerarse como la suma de las alturas de las secciones de cada fuste preclasificado como maderable. Varios modelos mostraron un buen comportamiento de los indicadores estadísticos, por lo que para la selección definitiva se hizo prevalecer el análisis de los residuales y el ajuste gráfico de la función. En el cuadro 4 se muestran las funciones ajustadas para el volumen maderable que presentaron los mejores estadísticos.

Finalmente el modelo seleccionado fue el siguiente:

$$VM = 0,002629D + 0,004345DH - 0,089345H \quad [3]$$

Estadísticamente, la función seleccionada para predecir el volumen maderable es robusta, vale decir, que se comprobó que no se violasen los supuestos básicos de la regresión. Ello se debe principalmente a la cantidad y calidad de los datos de que se dispuso. El volumen promedio de fuste útil de la muestra es de $0,63 m^3$, el DAP promedio es de 39 cm y el largo promedio de fuste útil es de 6,4 m. La magnitud del error estándar de la función seleccionada es de 21% con respecto al valor promedio de volumen de la muestra.

En la figura 3 puede observarse que los residuales de los valores predichos se concentran en torno al valor cero –donde la mayor congregación se aprecia entre $+0,2 m^3$ y $-0,2 m^3$ –, con una tendencia a tomar una forma acampanada, que en teoría indica que se está violando el supuesto de homoscedasticidad de varianzas. Sin embargo, pueden hacerse dos consideraciones importantes: una de ellas es que la tendencia es muy leve y la mayor parte de los valores predichos se distribuye en forma bastante uniforme. En segunda instancia, en la práctica los ajustes de funciones a través de técnicas de regresión cumplen sólo excepcionalmente con este supuesto.

Las escasas funciones existentes para la estimación de volumen maderable (11-12-13-14-15) han resultado poco efectivas en la práctica, principalmente por su pequeño tamaño muestral. La baja intensidad muestral disminuye enormemente la utilidad de estas ecuaciones debido a la gran heterogeneidad sanitaria y de forma que es característica de los bosques de lenga. En este sentido, la función aquí se presenta está exenta de los

CUADRO 4

Funciones de volumen maderable ajustadas y sus estadísticos.
Net volume functions and their statistics.

Función ajustada	R ²	ESE	F	Autor
VM = 0,002629 D + 0,004345 DH - 0,089345 H	0,9678	0,1331	9.941	
VM = 0,001409 D + 0,002364 DH	0,9409	0,1804	257	
VM = 0,010876 D + 0,00000342529 (DH) ² - 0,008679 H	0,9523	0,1621	173	
VM = -0,00398 D + 1,86444 AB - 0,05277 H + 0,00351 DH	0,9688	0,1312	426	
VM = 0,21293 - 0,022438 D + 0,002332 DH + 5,594069 AB	0,8840	0,1339	2.520	
VM = 0,027738 + 0,001547 D + 0,000011 D ² + 0,004504 DH - 0,000002934456 D ² H - 0,091587 H	0,8855	0,133	1.534	Meyer
VM = 0,002426 D - 0,000022 D ² + 0,002571 DH - 0,00000634113 D ² H	0,9457	0,1728	4.324	Meyer mod.

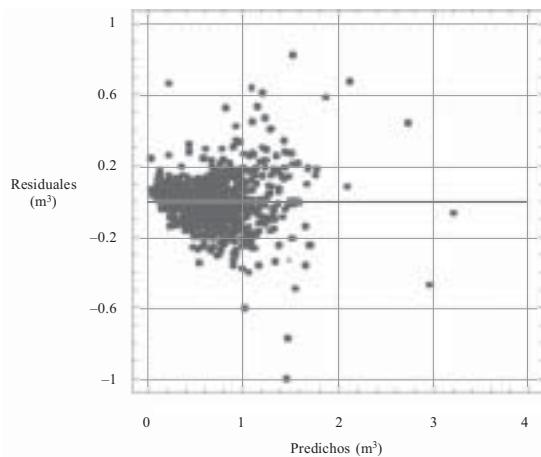


Figura 3. Distribución de los residuales para los valores predichos de la función de volumen maderable seleccionada.

Distribution of residuals for predicted values of the selected net volume function.

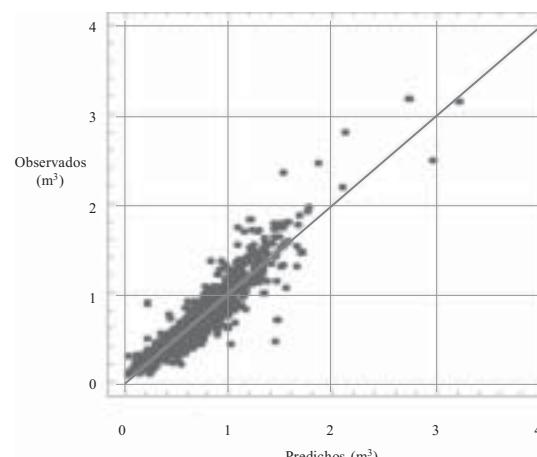


Figura 4. Ajuste de los valores observados y predichos a la función de regresión obtenida para el volumen maderable.

Fit of the observed and predicted values obtained for the net volume to the regression equation.

problemas que se derivan de cualquier selección teórica errónea de árboles con aptitud industrial que pudiera hacerse durante el inventario, pues se trata de árboles que fueron apeados porque rendían al menos una troza maderable. Esto no significa necesariamente una ventaja, pues se pretende que la función pueda emplearse para estimar los volúmenes maderables *antes* de la corte, cuando el profesional que elabora el Plan de Manejo debe diseñar el Plan de Cortas para un período deter-

minado. Por lo tanto, esta ecuación para la estimación de volúmenes maderables para lenga puede aplicarse a todos aquellos árboles medidos en un inventario con fines productivos, que por su aptitud industrial potencial satisfagan las exigencias del aserradero. Es condición necesaria que el análisis de calidad del fuste en terreno que se haga sobre tales árboles sea muy riguroso, evaluando la presencia de muñones de ramas, grietas, rajaduras, agallas y todo signo externo que pueda

ser indicador de anomalías internas. Esta apreciación debe hacerse sobre todo en el fuste y desde todos los ángulos. También es condición necesaria que se estime el largo de fuste útil.

La función presentada fue usada para la estimación del volumen maderable del Inventario del bosque nativo de la provincia del Chubut, cuya finalidad principal fue generar información cuantitativa y cualitativa básica para planificar la ordenación regional del recurso forestal potencialmente productivo o comercial (16). Paralelamente, se realizó la estimación mediante un simulador de trozado que compone un módulo de un Sistema de Procesamiento de Inventarios que fue desarrollado por la firma Infora Estudios de Santiago de Chile (17). El simulador de trozado consideró únicamente los árboles del inventario que habían sido clasificados como individuos con alta calidad –100% y 50% de aptitud industrial potencial– y uso para aserrado y los seccionó de acuerdo a largos de productos rollizos preestablecidos de acuerdo con especificaciones de las industrias locales. Luego, calculó el volumen de cada sección mediante una función de ahusamiento o modelo fustal. Los resultados finales promedio de uno y otro sistema de estimación fueron 24,8 m³/ha con la función de volumen y 23,4 m³/ha con el simulador de trozado. Dado que se trataba de dos procedimientos completamente diferentes, la apreciación más importante que se desprende de esta comparación es que la función demostró una alta consistencia. Al mismo tiempo, y teniendo en cuenta las prácticas tradicionales de extracción de madera en bosques de lenga, los valores obtenidos por ambos procedimientos están dentro de niveles sumamente aceptables.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CHAUCHARD, L., F. CARABELLI. Sistema de clasificación de árboles en pie para la estimación de volúmenes útiles. En: Actas del Seminario "Manejo Forestal de la Lenga y Aspectos Ecológicos Relacionados", Esquel, Chubut: CIEFAP, 1992, p. 160-164.
- (2) CARABELLI, F. *Estudio Bibliográfico sobre Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) con énfasis en Aspectos de Dinámica y Manejo del Bosque*. Argentina: Centro de Investigaciones Forestales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 1992, 32 p.
- (3) BAVA, J. Los bosques de lenga en Argentina. En: DONOSO, C. LARA, A. (eds.). *Silvicultura de los bosques nativos chilenos*, 1999, p. 273-296.
- (4) CARABELLI, F. A., J. FERRANDO. Análisis de la eficacia de los planes de manejo de bosque nativo en la Provincia de Chubut, Argentina. *Bosque (Chile)*, 2004, vol. 25, N° 1, p. 3-13.
- (5) LOPEZ BERNAL, P., J. BAVA, S. ANTEQUERA. Regeneración en un Bosque de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser) Sometido a un Manejo de Selección en Grupos. *Bosque (Chile)*, 2003, vol. 24, N° 2, p. 13-21.
- (6) CARABELLI, F. A. *Inventario Forestal del Bosque Nativo de la Provincia del Chubut. Actas de las IV Jornadas Forestales Patagónicas*, 1995, Tomo I, p. 160-169.
- (7) DIRECCION DE BOSQUES DE TIERRA DEL FUEGO. El bosque de Tierra del Fuego. Informe técnico inédito, 1996, 21 p.
- (8) HILDEBRAND VOGEL, R., R. GODOY, A. VOGEL. Subantarctic-Andean *Nothofagus pumilio* forests. Distribution area and synsystematic overview; vegetation and soils as demonstrated by an example of a South Chilean stand, 1990. *Vegetatio*, vol. 89, p. 55-68.
- (9) BAVA, J. Aportes ecológicos y silviculturales a la transformación de bosques vírgenes de lenga en bosques manejados en el sector argentino de Tierra del Fuego. Publicación técnica N° 29. CIEFAP, 1999, 138 p.
- (10) PRODAN, M., R. PETERS, F. COX, P. REAL. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible, IICA-BMZ-GTZ, p. 62.
- (11) DIRECCION DE BOSQUES Y PARQUES DEL CHUBUT. Estimación de un modelo lineal en los parámetros para predicción de volúmenes sin corteza de *Nothofagus pumilio* (lenga) en el Río Greda, Provincia del Chubut, 1985, Inédito, 13 p.
- (12) ORFILA, E. Tabla local de cubicación para *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser, en la margen sur del Lago Gral. Vintter, en la provincia del Chubut. República Argentina, *Revista de la Facultad de Agronomía*, 1988, vol. 63, p. 62-68.
- (13) CHAUCHARD, L., G. LOGUERCIO. Plan de ordenación del cuartel Lomadas de Cholila. Proyecto de Desarrollo Forestal del Área Cordillerana. Consejo Federal de Inversiones, 1990, Inédito, 93 p.
- (14) CHAUCHARD, L. Familia de funciones de volumen de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser). *Actas VI Jornadas Técnicas: Inventarios-Modelos de Producción y Crecimientos Forestales*, 1991, p. 26-39.
- (15) CARABELLI, F. Aplicación del sistema de muestreo 3P sobre parcelas de área fija en un bosque de *Nothofagus pumilio* en la provincia del Chubut. *Bosque (Chile)*, 1993, vol. 14, N° 2, p. 3-9.
- (16) COX, Z. F., F. A. CARABELLI, H. H. CLAVERIE. Manual de Instrucciones de Campo del Inventario de Bosque Nativo de la Provincia de Chubut. Dirección General de Bosques y Parques, 1995, Inédito, 56 p.
- (17) COX, Z. F. Sistema Procesador de Inventarios para el Inventario Forestal del Bosque Nativo de la Provincia del Chubut. Manual de Operaciones, 1995, Inédito, 85 p.

Recibido: 16.10.02

Aceptado: 31.05.04