

Herramientas disponibles para la construcción de un modelo de producción para la lenga (*Nothofagus pumilio*) bajo manejo en un gradiente de calidades de sitio

Available tools for the development of a yield model for lenga (*Nothofagus pumilio*) managed forests along a site quality range

GUILLERMO MARTINEZ PASTUR ¹, MARIA VANESSA LENCINAS ¹, JUAN MANUEL CELLINI ^{1, 2}, BORIS DIAZ ², PABLO PERI ^{3, 4}, RICARDO VUKASOVIC ⁵

¹ Centro Austral de Investigaciones Científicas, cc 92 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

² Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

³ Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

⁵ Consultora "Servicios Forestales", Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina.

E-mail: cadicforestal@arnet.com.ar; cadicforestal@gmx.net.

SUMMARY

Lenga forests are the main wood resource in southern Argentina and Chile. It is the most studied native species, with enough information of ecology, biometry and silviculture to define timber prediction and forest management models for regional forest planning. *General Forest Planning* is designed to achieve a continuous and sustainable supply of logs, but first it is necessary define the land use capability (*territorial planning*) and determine several timber production alternatives. Therefore, it is necessary to have reliable models that offer adequate information for timber prediction. The aim of this work was to develop a yield model for *Nothofagus pumilio* along a site quality range based on methodologies and models proposed previously in the literature. To fit a production model, five assumptions were defined (silvicultural system, objectives of forest management, forest growth, yields and livestock browsing), and methodologies and biometric models selected (height growth model, site index classification, *DBH* growth models, stand density index and thinning level diagrams, rotation length, total volume and timber production of the forest defined along a site quality range). From these models, a silvicultural management system was defined, and their outputs were analyzed from biological and practical use perspectives. This system has five intermediate practices (three thinning levels with secondary products and two thinning levels with timber products) and a final cut. The evolution of a stand without silviculture was also analyzed as control. Finally, the outputs of the forest production model (yields, growth and timber production), over time for different silviculture treatments are presented. The range of timber production varied from 435 m³/ha of logs without bark over 150 years in the best site class to 81 m³/ha over 213 years in a poorest site class.

Key words: sustainability, forest management, forest planning, biometric models, yield production, Patagonia.

RESUMEN

Los bosques de lenga representan el principal recurso forestal del sur de Argentina y Chile. Esta es la especie nativa mejor estudiada, habiéndose desarrollado la suficiente información ecológica, biométrica y silvícola, como para definir sistemas de predicción y manejo que ayuden a la planificación y la ordenación forestal. En un proyecto forestal a largo plazo, primero debe definirse la planificación territorial (uso del suelo) y diagramar las diferentes alternativas de producción. En las tierras destinadas a la producción forestal se debe realizar un *Plan General de Ordenación*, de modo de lograr un suministro continuo y sustentable de madera rolliza para las empresas involucradas. Para ello se

debe contar con modelos fehacientes que brinden simulaciones adecuadas para generar la información base de dicha planificación. Por lo que el objetivo de este trabajo fue construir un modelo de producción para un gradiente de sitios basado en las metodologías y modelos de la bibliografía. Se definieron cinco supuestos de trabajo (sistema silvícola, objetivos del manejo forestal, crecimientos, rendimientos y presencia de ganado), y se seleccionaron las metodologías y modelos biométricos a utilizar (crecimiento en altura y clasificaciones de sitio, modelos de crecimiento en diámetro, índice de densidad de rodales y diagramas de raleos, cálculo del turno, del volumen total y rendimientos del bosque, definidos a lo largo de un rango de clases de sitio). A partir de los modelos se definió un manejo silvícola y se analizaron sus alcances. El mismo quedó conformado por cinco intervenciones intermedias (tres raleos de productos secundarios y dos con productos aserrables) y una corta final. Por otra parte, se analizó la evolución de un rodal sin intervención silvícola, discutiéndose la significancia biológica y el alcance de los modelos utilizados. Finalmente, se presentan los resultados del modelo de producción de acuerdo a las diferentes clases de sitio, con los rendimientos e intervenciones silvícolas a lo largo del tiempo (desde 435 m³/ha de trozas aserrables para un turno de 150 años en una clase de sitio I, hasta 81 m³/ha para un turno de 213 años en una clase de sitio V).

Palabras claves: sustentabilidad, manejo forestal, planificación forestal, modelos biométricos, rendimiento, Patagonia.

INTRODUCCION

Los bosques de *Nothofagus pumilio* (lenga) representan la masa forestal más importante del sur de Argentina y Chile ([Garib 1996](#)), considerando la calidad de la madera y su extensión geográfica. Existen cerca de 215 mil hectáreas de bosques productivos en Tierra del Fuego (Argentina) ([Collado 1999](#)), estando definida la biometría de los mismos en el inventario forestal realizado por el Gobierno de la provincia de Tierra del Fuego (Argentina) ([Martínez Pastur 1999a](#)). Los valores de volumen total varían entre 300 y 1.300 m³/ha de acuerdo a la calidad de sitio, el grado de ocupación del rodal, la fase de crecimiento y el uso que el bosque ha recibido previamente ([Martínez Pastur et al. 1994](#)). Por otra parte, existe una categorización de los sitios clasificados en calidades que van desde el I al V ([Martínez Pastur et al. 1997a](#)), basada en el potencial de aprovechamiento de estos bosques en Patagonia Sur. La mayoría de los rodales que son aprovechados comercialmente se encuentran en una clase de sitio III (IS₆₀ = 13,1-16,5 m) y poseen una altura dominante de 20,5 a 24,0 m al llegar a la fase de envejecimiento, siguiendo la clasificación de fases de desarrollo (crecimiento óptimo inicial, final, envejecimiento y desmoronamiento) propuesta por [Schmidt y Urzúa \(1982\)](#).

Los bosques de Tierra del Fuego han sido históricamente explotados mediante un *floreo* selectivo, que extraía los mejores ejemplares. Este sistema es incompatible con un manejo sustentable del bosque de lenga ([Mosqueda 1995](#)), ya que poco a poco degrada económicamente al recurso. Debido a ello se promueve la optimización del manejo forestal a través de un mejor aprovechamiento de los volúmenes de cosecha ([Martínez Pastur et al. 2000](#)), y la aplicación de diferentes métodos de regeneración que sean económicamente rentables y que posean cualidades de conservación de la biodiversidad propias del ecosistema forestal fueguino ([Fernández et al. 1998](#), [Spagarino et al. 2001](#), [Deferrari et al. 2001](#), [Lencinas et al. 2001a](#), [2001b](#), [Martínez Pastur et al. 2002](#)).

La producción de madera en Tierra del Fuego es usada principalmente (70%) por el mercado interno para material de construcción, principalmente encofrados y carpintería (tablones, tablas y tirantes), siendo requeridas para tal fin trozas de gran tamaño. Para ello es necesario hacer una alta selección de rollizos en el bosque, prefiriéndose trozas de 4-6 m de largo, diámetros superiores a los 35 cm y de buena sanidad. El resto de la producción, mayormente de madera corta, es destinada a la industria local de la mueblería, de escaso desarrollo en Tierra del Fuego, o para la producción de listones, tableros, finger-joint y/o parquets. La industria del *chip* puede utilizar la madera de menor calidad en volúmenes muy grandes ([Mosqueda 1995](#)), pero dicha actividad comercial no se ha llevado a cabo en Tierra del Fuego debido a que la ley N° 202 restringe la exportación de madera sin procesar.

La lenga es una especie de tolerancia media a la sombra ([Rusch 1992](#)) que posee ciclos de regeneración en bosquetes debido a la mortalidad natural de los árboles ([Rebertus y Veblen 1993](#)) y que produce una estructura irregular heterogénea que dificulta la planificación del manejo forestal. El sistema de regeneración que simula esta dinámica natural es el sistema de *Cortas de Protección*, que abre lo suficiente el dosel como para permitir el desarrollo de la regeneración natural. Esta práctica, junto con la aplicación de tratamientos intermedios, transforma el bosque natural en un sistema regular

bajo manejo, obteniendo mejores tasas de crecimiento, sanidad y calidad de madera que, a su vez, producen mejores índices de aprovechamiento y eficiencia en el aserrado ([Schmidt y Urzúa 1982](#)).

El primer paso dentro de la planificación territorial es la definición del uso del suelo. Esta categorización de las tierras define las alternativas de uso que son posibles de realizar en determinados predios (producción forestal, ganadería, turismo, caza, pesca o recreación) y de esa manera poder diagramar las diferentes alternativas de producción. En las tierras destinadas a la producción forestal debe realizarse un *Plan General de Ordenación*, de modo de lograr un suministro continuo y sustentable de madera rolliza para aquellos aserraderos que poseen permisos de aprovechamiento en bosques fiscales o bien para el manejo de los bosques propios pertenecientes a empresas privadas. Para ello se debe contar con modelos fehacientes que brinden información adecuada para generar la base de dicha planificación. En el caso del *N. pumilio* se puede afirmar que es la especie nativa mejor estudiada, habiéndose desarrollado la suficiente información sobre ecología, biometría y silvicultura como para definir sistemas de predicción y manejo que ayuden a la planificación y la ordenación forestal. Por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar las herramientas disponibles sobre ecología, biometría y silvicultura y ensamblarlas para construir un modelo de producción para *Nothofagus pumilio* en un gradiente de calidades de sitio, bajo un manejo silvícola basado en un sistema de cortas de protección y raleos intensos por lo bajo.

MATERIALES Y METODOS

Supuestos del modelo de producción. Antes de desarrollar el modelo de producción se definió una serie de supuestos en los que se basó el presente trabajo:

a. Que los bosques serían manejados bajo un criterio silvícola que maximizara la producción forestal de madera aserrada. El sistema silvícola seleccionado combina Cortas de Protección ([Schmidt y Urzúa 1982](#)) con Raleos por lo bajo ([Martínez Pastur et al. 2001](#)). Este supuesto considera la ejecución de la Corta Final del tratamiento de la corta de protección, que no se implementa en la actualidad, pero que probablemente ocurra en el corto plazo debido a la escasez de materia prima que hoy se observa en el mercado. Como consecuencia, se consideró que los bosques futuros serían mayormente regulares y se aprovecharían dentro de la fase de crecimiento óptimo final (clases de sitio I y II) o apenas ingresados en una fase de envejecimiento (clases de sitio IV y V) usando como criterio de corta diámetros aserrables para la industria instalada. Por lo tanto, los bosques del modelo de producción pertenecerían a rodales de segundo crecimiento, puros y regulares, formados a partir de la regeneración de una corta de protección.

b. Que los árboles promedio a obtener durante el aprovechamiento serían de 40-45 cm al DAP (diámetro normal a 1,3 m), debido a que los diámetros de trozas más comunes de observar en los aprovechamientos forestales de Tierra del Fuego varían entre 30 y 45 cm ([Martínez Pastur 1999b](#)), con un diámetro mínimo de extracción de 20 cm como limitante tecnológica de las maquinarias instaladas en los aserraderos de Tierra del Fuego.

c. Que los crecimientos diamétricos utilizados corresponderían a árboles dominantes de rodales puros coetáneos de *N. pumilio* ([Martínez Pastur y Lencinas 2000](#)) desarrollados bajo una dinámica natural. Estos crecimientos son inferiores a los esperables en árboles desarrollados bajo un manejo silvícola intensivo, por lo que podrían considerarse como conservadores y mínimos esperables.

d. Que los rendimientos utilizados para los diferentes raleos a lo largo del gradiente de calidades de sitios serían constantes y proporcionales a las tasas de extracción de trozas a lo largo del turno, basados en los resultados de [Martínez Pastur et al. \(2000\)](#) que se desarrollaron en bosques vírgenes. Los rendimientos esperables en bosques manejados deberían ser mucho mayores, por lo que los resultados deben considerarse como conservadores.

e. Que los bosques bajo manejo silvícola no poseerían presión por parte del ganado ni de las poblaciones naturales de *Lama guanicoe*, lo cual no ocurre en la actualidad, ya que en la mayoría de los bosques de Tierra del Fuego existe una presión importante y significativa de ramoneo ([Pulido et al. 2000](#)).

Metodologías y modelos utilizados. En la elaboración y propuesta del modelo de producción se utilizaron las siguientes metodologías y modelos de la bibliografía ([cuadro 1](#)):

a. Clases de sitio y crecimiento en altura. Se utilizó el modelo propuesto por [Martínez Pastur et al. \(1997a\)](#), basado en la ecuación forzada de Weibull, propuesta por [Payandeh y Wang \(1994\)](#). Esta ecuación también fue utilizada para el cálculo del crecimiento de la altura de los árboles dominantes a

lo largo de las edades de los rodales en diferentes calidades de sitio. Por otra parte, para caracterizar los rodales por medio de un Índice de Productividad, y para la aplicación del sitio en los modelos biométricos de volumen y de crecimiento se utilizó la clasificación (de I a V, del mejor al peor sitio) propuesta en el mismo trabajo.

b. Crecimiento en diámetro. Se basó en las simulaciones propuestas por [Martínez Pastur y Lencinas \(2000\)](#), que utilizaron bases de datos provenientes de trabajos previos en crecimiento de lenga ([Piriz Carrillo et al. 1996](#), [Peri y Martínez Pastur 1996](#), [Díaz et al. 1998](#)). Las mismas están realizadas en base a crecimientos de 100 árboles dominantes, propios de masas puras de rodales coetáneos a lo largo de las cinco calidades de sitio.

c. Índice de densidad de rodales (IDR). Se siguieron las ecuaciones y clasificaciones propuestas en el trabajo de [Fernández et al. \(1997\)](#). La ecuación utilizada es la propuesta por [Reineke \(1933\)](#), que relaciona el número de árboles por hectárea con el diámetro medio, pero que ha sido adaptada a los bosques de lenga, siendo una eficaz herramienta para estimar el número de árboles de un rodal creciendo bajo una dinámica natural.

d. Diagramación de niveles de raleo. Se utilizaron las propuestas de [Fernández et al. \(1997\)](#), basadas en intervenciones fuertes por lo bajo. La metodología seguida corresponde a la presentada por [McCarter y Long \(1986\)](#), de acuerdo a los resultados experimentales presentados en [Schmidt y Caldentey \(1994\)](#) y [Schmidt et al. \(1995\)](#), siendo concordantes a lo observado experimentalmente por [Martínez Pastur et al. \(2001\)](#). Mediante esta propuesta fue factible modelar el bosque meta bajo manejo.

e. Cálculo del turno. Se siguió la metodología planteada por [Martínez Pastur \(1999c\)](#), y modificado por [Martínez Pastur y Lencinas \(2000\)](#), donde el turno se divide en etapas: establecimiento, crecimiento inicial y crecimiento en diámetro, cuya duración varía de acuerdo a las intervenciones silvícolas y los supuestos considerados.

f. Cálculo del volumen total con corteza (VTCC). Se utilizó el modelo de ecuación estándar no tradicional propuesta por [Peri et al. \(1997\)](#), que utiliza como variables predictoras al DAP y la altura total de los individuos. Este volumen se calculó considerando una punta fina de 5 cm e incluye al tocón, aplicándose a un rango de diámetros de 5 a 120 cm y a un gradiente de clases de sitios de I a V.

g. Cálculo del volumen de trozas sin corteza (VTSC). Se utilizaron los resultados y proporciones presentados por [Martínez Pastur et al. \(1997b, 2000\)](#), obtenidos a lo largo de un gradiente de calidades de sitio, mediante un sistema de aprovechamiento de fustes completos, propuesto por [Cellini et al. \(1998\)](#) en bosques productivos de *N. pumilio* de Tierra del Fuego.

CUADRO 1

Ecuaciones biométricas extractadas de la bibliografía para la construcción del modelo de producción.

Biometric models extracted from the literature for the construction of the yield model.

Modelo	Fórmula o gráfico	Parámetros	Fuente
Índice de sitio y crecimiento en altura	$H = (p(1 - e^{-at_i^{MS-1.3f}}) + 1.3)$ <p>donde, $p = \frac{(S - 1.3)}{1 - e^{-at_i^{MS-1.3f}}}$</p>	a = 0,00496552 b = 0,93289942 c = 0,12327662	Martínez Pastur <i>et al.</i> (1997b)
Crecimiento en diámetro			Peri y Martínez Pastur (1996) Díaz <i>et al.</i> (1998) Martínez Pastur y Lencinas (2000)
Índice de densidad de rodales	$N = a DCM^b$	a = 1.245.403,0 b = -2,11164	Fernández <i>et al.</i> (1997)
Niveles de raleo	$N = a DCM^b$	<i>Máximo</i> a = 447.674,3 b = -2,11164 <i>Mínimo</i> a = 262.917,9 b = -2,11164	Fernández <i>et al.</i> (1997)
Cálculo del turno forestal	(1) etapa de establecimiento (2) etapa de crecimiento inicial (3) etapa de crecimiento en diámetro		Martínez Pastur (1999c) Martínez Pastur y Lencinas (2000)
Volumen total con corteza	$VTCC = a \times DAP^b \times H^c$	a = 0,00002221 b = 2,14278783 c = 1,01207102	Peri <i>et al.</i> (1997)
Volumen de trozas	$VTSC = M \times I$ <p>donde,</p> $M = \frac{a}{10.000} \times (6 - S)^b \times DAP^c$ <p>$I = \text{discriminante } (0 \text{ o } 1)$</p>	a = 6,32744755 b = 0,58438789 c = 1,79753582	Martínez Pastur <i>et al.</i> (1997b) Martínez Pastur y Lencinas (2000)
Rendimiento de trozas según calidades			Martínez Pastur <i>et al.</i> (2000)

H = altura dominante (m); e = base de los logaritmos naturales; t = edad del rodal (años); t_i = edad base (años); S = índice de sitio (m); DAP = diámetro normal a 1,3 m (cm); DCM = diámetro cuadrático medio (cm); N = número de árboles (n/ha); VTCC=volumen total con corteza (m³); VTSC = volumen de trozas sin corteza (m³); a, b, c = parámetros de las ecuaciones. Clases de sitio según [Martínez Pastur *et al.* \(1997a\)](#).

H = dominant height (m); e = base of the natural logarithm; t = stand age (years); t_i = base age (years); S = site index (m); DAP = normal diameter at 1.3 m (cm); DCM = average quadratic diameter (cm); N = number of trees (n/ha); VTCC = total over bark volume (m³); VTSC = log inside bark volume (m³); a, b, c = parameters of the equations. Site index classes according to [Martínez Pastur *et al.* \(1997a\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSION

Definición y evolución del modelo silvícola propuesto. El modelo silvícola que se obtiene a partir de los modelos seleccionados de la bibliografía se presenta en la figura 1. El primer raleo (*corta de mejoramiento*) se realiza cuando el rodal alcanza un diámetro medio de 10 cm de DAP, dejando un 21% de los individuos del rodal (de 9.600 se seleccionan 2.000 ind/ha). El raleo fuerte permite una correcta selección de los individuos con características sobresalientes dentro del rodal regenerado. Posteriormente, se realizan dos raleos fuertes no comerciales (a los 13 y 17 cm de DAP) ([cuadro 2](#) y [figura 1](#)), donde también se elimina un porcentaje importante de los árboles (un 43% en cada intervención). Estas intervenciones fuertes son consistentes con los resultados presentados por [Martínez Pastur et al. \(2000\)](#), que fueron realizadas en forma temprana, pero que deberían ser acompañadas de podas que conduzcan el crecimiento de la copa de los individuos seleccionados. En estas intervenciones se pueden obtener productos de aprovechamiento secundarios, como ser postes y varas, o bien ser empleados en la construcción de tableros, tal como lo sugieren [Peredo et al. \(1993\)](#). Posteriormente, se plantea la realización de tres raleos por lo bajo, a los 22, 28 y 36 cm de DAP (extrayendo casi un 40% de los individuos cada vez), y una corta final al arribar a un diámetro de 46 cm, donde se regenera nuevamente el rodal por medio de las prácticas planteadas ([cuadro 2](#) y [figura 1](#)).

CUADRO 2

Evolución del número de árboles para las intervenciones silvícolas propuestas en el modelo de producción.
Tree number evolution for the silvicultural interventions as proposed in the yield model.

DAP (cm)	Antes del Raleo (n/ha)	Después del Raleo (n/ha)
0	100.000	100.000
5	41.623	41.623
10	9.631	2.033
13	2.033	1.168
17	1.168	663
22	663	385
28	385	231
36	231	136
46	136	0

DAP = diámetro normal a 1,3 m.
DAP = normal diameter at 1.3 m.

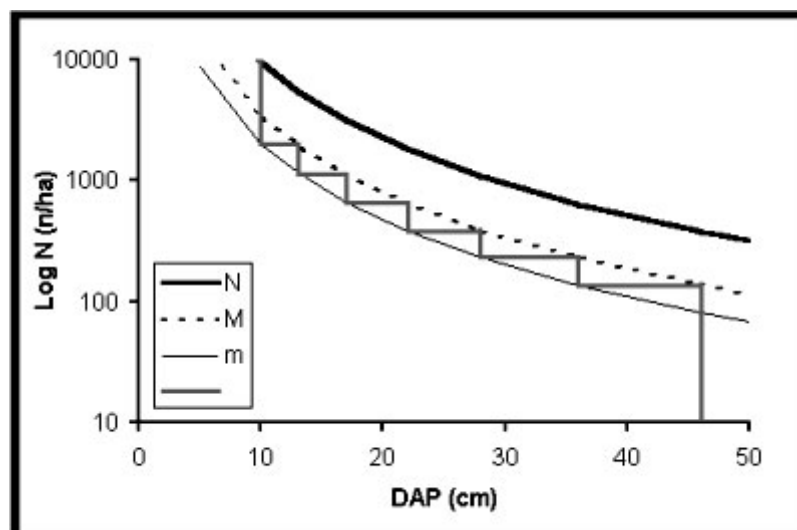


Figura 1. Evolución de las intervenciones silvícolas

propuestas en el modelo de producción. N=número de árboles para un rodal sin intervención; M = línea máxima de raleo; m = línea mínima de raleo.

Variation of the silvicultural interventions proposed for the yield model. N = number of trees for an unthinned stand; M=maximum thinning density; m = minimum thinning density.

Evolución del rodal sin intervención silvícola. Los volúmenes a los que arriban los rodales sin intervención silvícola variaron entre 550 y 1.000 m³/ha, de acuerdo a la calidad de sitio, considerando una ocupación completa (un área basal promedio de 65 m²/ha) ([cuadro 3](#)). Estos valores son consistentes de acuerdo a los resultados presentados en trabajos previos de estructura forestal ([Martínez Pastur et al. 1994, 2000](#)). Por otra parte, se observa que a medida que la calidad de sitio disminuye, es necesario que pase más tiempo para que un individuo alcance un diámetro determinado. Así, por ejemplo, en las simulaciones, un árbol que se desarrolla en una clase de sitio I tarda 136 años (edad al DAP) para alcanzar un diámetro de 45 cm, mientras que en una clase de sitio V tarda 211 años. Por otra parte, se observa una disminución paulatina del área basal que ocurre a medida que los bosques secundarios van madurando, debido a la formación de *gaps*.

La dinámica de crecimiento en volumen del rodal es consistente con la biología que se esperaría encontrar en bosques naturales, de acuerdo a los resultados presentados de crecimiento en *N. pumilio* de Patagonia sur ([Peri y Martínez Pastur 1996, Díaz et al. 1998](#)). En la [figura 2](#) se presenta la dinámica de crecimiento en volumen para rodales creciendo en distintas calidades de sitio. En la misma se puede observar que el volumen de un rodal en una clase de sitio alta se alcanza rápidamente, mientras que en una clase de sitio baja la acumulación se realiza durante períodos más largos de tiempo. Esto está relacionado principalmente al crecimiento en altura del rodal. Cuando un rodal arriba al volumen máximo del sitio, ya tiene el 80% de la altura total dominante ([Piriz Carrillo et al. 1996, Martínez Pastur et al. 1997a](#)), culminando la fase exponencial de crecimiento que afecta en forma directa al volumen de los individuos y del rodal.

CUADRO 3

Evolución del volumen total con corteza (VTCC) (m³/ha) para rodales sin intervención silvícola en bosques de *Nothofagus pumilio* a lo largo de un gradiente de calidades de sitio.

Variation of the total over bark volume (VTCC) (m³/ha) simulated for non managed stands for different site quality gradient in *N. pumilio* forest.

DAP (cm)	N (n/ha)	D (m)	AB (m ² /ha)	VTCC (m ³ /ha)				
				Sitio V	Sitio IV	Sitio III	Sitio II	Sitio I
0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
5	41.623	0,5	81,7	223	299	377	457	540
10	9.631	1,0	75,6	314	422	530	637	745
15	4.091	1,6	72,3	378	503	625	742	856
20	2.228	2,1	70,0	426	561	687	807	921
25	1.391	2,7	68,3	466	605	731	849	960
30	947	3,3	66,9	500	638	762	877	984
35	684	3,8	65,8	525	661	781	892	997
40	516	4,4	64,8	544	677	793	902	1.004
45	402	5,0	63,9	558	687	801	907	1.009

DAP = diámetro normal a 1,3 m; N = número de árboles; D = distancia media entre árboles; AB = área basal. Clases de sitio según [Martínez Pastur et al. \(1997a\)](#).

DAP = normal diameter at 1.3 m; N = number of trees; D = average distance between trees; AB = basal area. Site quality classes according to [Martínez Pastur et al. \(1997a\)](#).

Resultados obtenidos en un rango de calidades de sitio a partir del modelo de producción propuesto. En el [cuadro 4](#) se presentan los resultados del modelo de producción para tres calidades de sitio (baja, media y alta) a través de la evolución del volumen total con corteza (antes y después de cada intervención), del volumen de corta y del volumen aserrable, analizando el patrón de modificación a lo largo del tiempo y el crecimiento potencial obtenido. El año cero es el momento en que el rodal bajo intervención comienza a regenerarse, representando el primer evento de tiempo a la edad en que las plantas alcanzan una altura de 1,3 m, la que varía de acuerdo a la calidad de sitio (entre 9 y 15 años). El esquema de raleos planteado en la [figura 1](#) generó densidades de ocupación que variaron entre los 15 y los 25 m²/ha, constante para todas las clases de sitio. Este grado de ocupación podría variar según la clase de sitio, pero su análisis excede los alcances del presente trabajo. Estas densidades no son muy diferentes a las presentadas por otros autores para plantaciones y rodales manejados de *Nothofagus* de Argentina y Chile ([Groose 1987](#), [Donoso 1988](#), [Donoso et al. 1993](#), [Martínez Pastur et al. 2001](#)).

Las tres primeras intervenciones no permiten la extracción de madera potencialmente aserrable con la tecnología instalada en la actualidad, pero sí de cantidades crecientes de productos secundarios (postes, varas, y eventualmente postes cabañeros y trineos) que varían desde volúmenes despreciables hasta más de 100 m³/ha por intervención (datos no publicados), de acuerdo a la calidad de sitio y al raleo practicado. El volumen de producto generado no posee un mercado potencial actual y es uno de los grandes inconvenientes para la factibilidad de aplicación de la silvicultura propuesta.

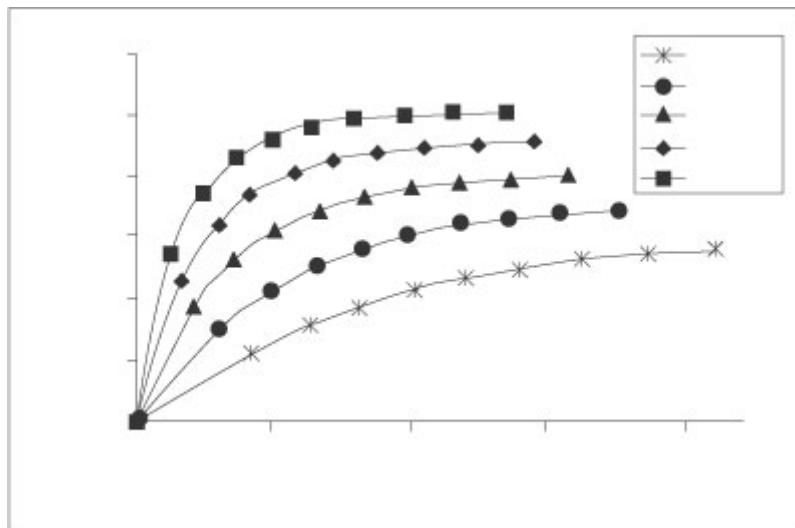


Figura 2. Evolución del volumen total con corteza (VTCC) (m³/ha) de rodales sin intervención silvícola en un gradiente de calidades de sitio. Clases de sitio según [Martínez Pastur et al. \(1997a\)](#).

Evolution of the total over bark volume (VTCC) (m³/ha) simulated for an unthinned stand along different site quality gradients. Site quality classes according to [Martínez Pastur et al. \(1997a\)](#).

Sin embargo, existen alternativas que pueden absorber este tipo de materia prima transformándolos en productos de alto valor comercial, tal como lo planteó [Peredo et al. \(1993\)](#). Por otra parte, es factible utilizar nuevas tecnologías de aserrado que disminuyan los diámetros mínimos de trozas, permitiendo obtener mayores rendimientos de madera aserrable por hectárea y aumentando la rentabilidad de las intervenciones tempranas que se propusieron llevar a cabo. Los resultados del inventario forestal realizado en Tierra del Fuego (Argentina) ([Collado 1999](#)) han puesto en evidencia la baja disponibilidad de bosque aprovechable, la que ha disminuido sustancialmente en los últimos años, y que ha motivado a varias empresas forestales a tratar de incorporar nuevas tecnologías que les permitan procesar trozas de menor diámetro y calidad.

Clases de sitio	Tiempo (años)	Volumen inicial (m ³ /ha)	Volumen final (m ³ /ha)	Volumen de corta (m ³ /ha)	Crecimiento (m ³ /ha.año)	Volumen de trozas sin corteza (m ³ /ha)
I	9	0	0	—	0,0	—
	22	173	173	—	13,3	—
	33	328	69	259	14,1	Postes y Varas
	40	156	90	66	12,4	Postes y Varas
	50	204	116	88	11,5	Postes y Varas
	64	252	146	106	9,7	65
	82	290	174	116	8,0	71
	109	336	197	138	6,0	84
	150	353	0	353	0,0	215
			TOTAL	713	TOTAL	435
III	12	0	0	—	0,0	—
	33	201	201	—	9,6	—
	49	345	73	273	9,0	Postes y Varas
	58	154	88	65	9,0	Postes y Varas
	70	187	106	81	8,2	Postes y Varas
	85	214	124	90	7,2	50
	105	236	142	94	5,6	53
	133	266	157	110	4,4	61
	176	279	0	279	0,0	156
			TOTAL	573	TOTAL	321
V	15	0	0	—	0,0	—
	54	210	210	—	5,4	—
	76	303	64	239	4,2	Postes y Varas
	86	125	72	53	6,1	Postes y Varas
	101	144	82	62	4,8	Postes y Varas
	120	159	92	67	4,0	13
	142	168	101	67	3,5	13
	172	187	110	77	2,8	15
	213	196	0	196	0,0	39
			TOTAL	406	TOTAL	81

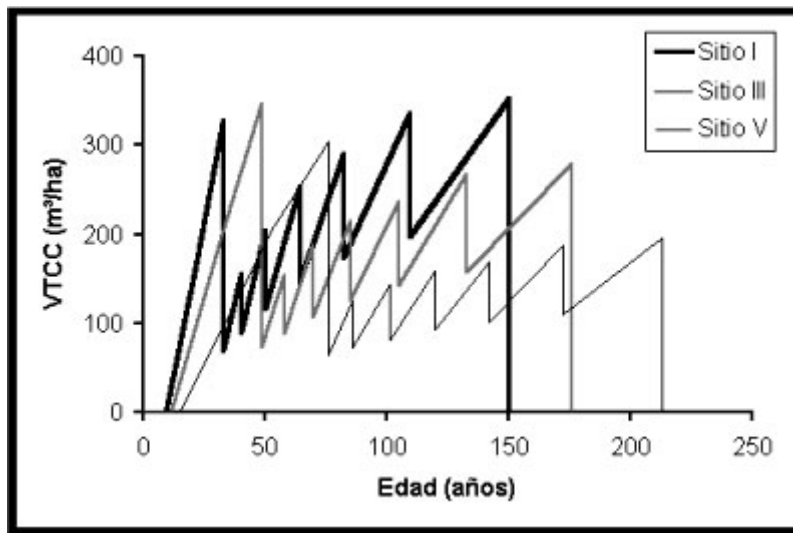


Figura 3. Evolución del volumen total con corteza (VTCC) (m^3/ha) debido a las intervenciones silvícolas en rodales manejados a lo largo de un gradiente de sitios.

Evolution of total over bark volume (VTCC) (m^3/ha) due to silvicultural interventions simulated for managed stands along a site quality gradient.

En la [figura 4](#) se presentan los niveles de cosecha de trozas sin corteza que pueden obtenerse luego de cada intervención silvícola para el gradiente de calidades de sitio. Los volúmenes útiles de aprovechamiento disminuyen y tardan más tiempo en generarse a medida que disminuye la calidad de sitio. Estas diferencias de tiempo y rendimiento entre sitios son muy significativas, y necesitan ser analizadas por separado al modelar los bosques de *N. pumilio*. La necesidad de incluir la calidad de sitio en los estudios forestales que incorporan a la estructura y al rendimiento se ha sugerido desde principios del siglo pasado, y ha sido estudiada en forma reciente para *N. pumilio* ([Martínez Pastur et al. 1997a](#)). Pese a ello son muy pocos los trabajos que tienen en cuenta a esta variable, que influye en forma extremadamente significativa sobre la estructura forestal y el rendimiento, y consecuentemente sobre los análisis económicos que se desprenden de ellos.

Tal como se presenta en el [cuadro 4](#), los volúmenes de trozas pueden variar entre $435 \text{ m}^3/\text{ha.turno}$ para una calidad de sitio I y $81 \text{ m}^3/\text{ha.turno}$ para una clase de sitio V. Por otra parte, los turnos de cosecha van desde 150 años hasta los 213 años ([cuadro 4](#) y [figuras 3](#) y [4](#)). Sin embargo, hay que considerar que los sitios de alta calidad (sitios I y II) representan un 15% de los bosques productivos de Tierra del Fuego ([Martínez Pastur 1999b](#)), y un porcentaje aún menor en Chile y el resto de la Patagonia argentina. Los sitios más comunes son los de calidad de sitio III y IV que ocupan más del 50% de la superficie, cuyos volúmenes útiles varían entre 244 y $321 \text{ m}^3/\text{ha.turno}$ de madera aserrada.

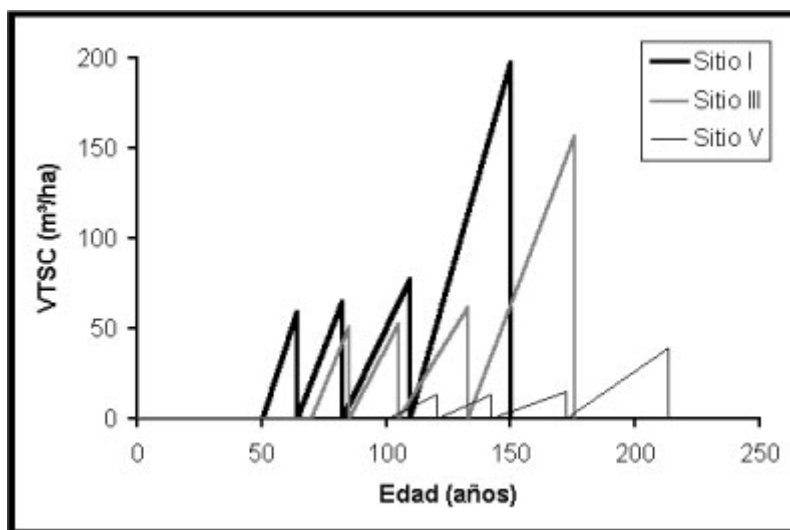


Figura 4. Evolución del volumen de trozas sin corteza (VTSC) (m^3/ha) debido a las intervenciones silvícolas en rodales manejados a lo largo de un gradiente de sitios.
Evolution of log inside bark volume (VTSC) (m^3/ha) due to silvicultural interventions simulated for managed stands along a site quality gradient.

CONCLUSIONES

El modelo de producción de *N. pumilio* presentado integra modelos sencillos que fueron extraídos de la bibliografía y se basa en propuestas silvícolas simples, generalizadas para los bosques nativos de Argentina y Chile, y para bosques comerciales de otros países. A través del mismo es posible obtener los parámetros indispensables para ejecutar una planificación a mediano o largo plazo dentro de una empresa o en una comarca forestal. En este trabajo se analizó una única propuesta silvícola, pero siguiendo la misma metodología se pueden ensayar diferentes alternativas y supuestos para definir la rentabilidad a lo largo del turno forestal planteado para un rodal determinado.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Bosques de la provincia de Tierra del Fuego y al Aserradero "Los Cóndores" SRL por el apoyo prestado durante al elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

CELLINI, J., C. SPAGARINO, G. MARTINEZ PASTUR, P. PERI, R. VUKASOVIC. 1998. Rendimiento de distintos sistemas de aprovechamiento en la corta de protección de un bosque de lenga. CD de Actas Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO. Valdivia (Chile), 22-28 noviembre.

COLLADO, L. 1999. Informe de avance: estratificación de los bosques fiscales de Tierra del Fuego mediante análisis de imágenes satelitales e inventario forestal de la Provincia. Dirección de Bosques de Tierra del Fuego. 26 pp. y 9 mapas.

DEFERRARI, G., C. CAMILION, G. MARTINEZ PASTUR, P. PERI. 2001. "Changes in *Nothofagus pumilio* forest biodiversity during the forest management cycle: Birds", *Biodiversity and Conservation* 10 (12): 2093-2108.

DIAZ, B., P. PERI, G. MARTINEZ PASTUR. 1998. Crecimiento diamétrico en bosques de lenga en sitios de calidad IV de Patagonia Sur. CD de Actas Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO. Valdivia (Chile), 22-28 noviembre.

DONOSO, P. 1988. "Caracterización y proposiciones silviculturales para renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) en el área de protección 'Radal Siete Tazas'", *Bosque* 9(2): 103-114.

- DONOSO, P., T. MONFIL, L. OTERO, L. BARRALES. 1993. "Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales manejados de especies nativas en el área andina de las provincias de Cautín y Valdivia", *Ciencia e Investigación Forestal* 7 (2): 253-287.
- FERNANDEZ, C., G. MARTINEZ PASTUR, P. PERI, R. VUKASOVIC. 1997. Thinning schedules for *Nothofagus pumilio* forest in Patagonia, Argentina. CD de Actas del XI Congreso Forestal Mundial. Volumen 3: D. Función productiva de los bosques. Antalya (Turquía). 13-22 octubre.
- FERNANDEZ, C., G. STAFFIERI, G. MARTINEZ PASTUR, P. PERI. 1998. Cambios en la biodiversidad del sotobosque a lo largo del ciclo del manejo forestal de la lenga. CD de Actas Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO. Valdivia (Chile), 22-28 noviembre.
- GARIB, I. A. 1996. Rendimientos volumétricos en bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) sometidos a cortas de protección. Provincia de Tierra del Fuego, XII Región. Tesis de grado. Universidad de Chile, Santiago (Chile). 55 p.
- GROOSE, H. 1987. "Desarrollo de renovales de raulí raleados", *Ciencia e Investigación Forestal* 1 (2): 31-43.
- LENCINAS, M. V., G. MARTINEZ PASTUR, C. BUSSO, O. BRAVO. 2001a. "Relaciones entre bosques asociados y productivos en Tierra del Fuego mediante análisis del sotobosque", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 36: 95.
- LENCINAS, M.V., G. MARTINEZ PASTUR, C. BUSSO. 2001b. Diversidad de lepidópteros en ambientes asociados al bosque productivo de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego. CD de Actas V Congreso Latinoamericano de Ecología. Jujuy. 15-19 octubre.
- McCARTER, J., J. LONG. 1986. "A lodgepole pine density management diagram", *Western Journal of Applied Forestry* 1: 6-11.
- MARTINEZ PASTUR, G., C. FERNANDEZ, P. PERI. 1994. "Variación de parámetros estructurales y de composición del sotobosque para bosques de *Nothofagus pumilio* en relación a gradientes ambientales indirectos", *Ciencias Forestales* 9 (1-2): 11-22.
- MARTINEZ PASTUR, G., P. PERI, R. VUKASOVIC, S. VACCARO, V. PIRIZ CARILLO. 1997a. "Site index equation for *Nothofagus pumilio* Patagonian forest", *Phyton* 6 (1/2): 55-60.
- MARTINEZ PASTUR, G., P. PERI, R. VUKASOVIC, J. CELLINI, C. SPAGARINO, D. SHARPE. 1997b. Funciones de rendimiento volumétrico para un bosque de *Nothofagus pumilio* de calidad III y un aserradero mediano en Tierra del Fuego. Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Tomo Industria y Comercio. 123-132 p. Posadas. 13-15 agosto.
- MARTINEZ PASTUR, G. 1999a. Biometría del inventario forestal de la provincia de Tierra del Fuego-Campaña 1996-1997. Dirección de Bosques Subsecretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano Gobierno de Tierra del Fuego. 25 p. + 120 tablas. 10 de marzo.
- MARTINEZ PASTUR, G. 1999b. Optimización del aprovechamiento del bosque de lenga: análisis biométrico de las trozas y su implicancia en el aserradero Campañas 1995-1998. Dirección de Bosques Subsecretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano Gobierno de Tierra del Fuego. 15 p. 18 de marzo.
- MARTINEZ PASTUR, G. 1999c. Definición del turno de corta y cálculo de la posibilidad para bosques de lenga con y sin manejo silvícola (con y sin presión del ganado). Dirección de Bosques Subsecretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano Gobierno de Tierra del Fuego. 19 p. + 8 cuadros. 18 de mayo.
- MARTINEZ PASTUR, G., J. CELLINI, P. PERI, R. VUKASOVIC, C. FERNANDEZ. 2000. "Timber production of *Nothofagus pumilio* forests by a shelterwood system in Tierra del Fuego (Argentina)", *Journal of Forest Ecology and Management* 134 (1-2): 153-162.
- MARTINEZ PASTUR, G., V. LENCINAS. 2000. Crecimiento del bosque de lenga: análisis de la calidad de sitio, la fase del bosque, la clase social y los efectos de la silvicultura en Tierra del Fuego. Informe de Avance presentado a la consultora "Servicios Forestales". LPPV - CADIC - CONICET. 49 p. 26 de noviembre.

- MARTINEZ PASTUR, G., J. M. CELLINI, M. V. LENCINAS, R. VUKASOVIC, R. VICENTE, F. BERTOLAMI, J. GIUNCHI. 2001. "Modificación del crecimiento y de la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser", *Ecología Austral* 11: 95-104.
- MARTINEZ PASTUR, G., M.V. LENCINAS, J.M. CELLINI, R. VUKASOVIC. 2002. Informe: Campaña Forestal enero y febrero de 2002: Proyectos de "Biometría y Producción Forestal" e "Implicancias del Manejo Forestal en la Biodiversidad". LPPV - CADIC - CONICET. 24 p. 28 de febrero.
- MOSQUEDA, C. 1995. Rendimientos volumétricos en el raleo de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) en la XII Región. Tesis de grado. Universidad de Chile, Santiago (Chile). 68p.
- PAYANDEH, B., Y. WANG. 1994. "Modified site index equations for major Canadian timber species", *Forest Ecology and Management* 64: 97-101.
- PEREDO, M., H. POBLETE, L. NAVEILLAN. 1993. "Utilización de renovales de Roble y Raulí en la fabricación de tableros de partículas", *Ciencia e Investigación Forestal* 7 (2): 215-240.
- PERI, P., G. MARTINEZ PASTUR. 1996. "Crecimiento diamétrico de *Nothofagus pumilio* para dos condiciones de copa en un sitio de calidad media en Santa Cruz, Argentina", *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 5 (2): 201-212.
- PERI, P., G. MARTINEZ PASTUR, B. DIAZ, F. FUCARACCIO. 1997. Uso del índice de sitio para la construcción de ecuaciones estándar de volumen total de fuste para lenga (*Nothofagus pumilio*) en Patagonia Austral. Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Tomo Bosques Nativos y Protección Ambiental. 309-316 p. Posadas. 13-15 agosto.
- PIRIZ CARRILLO, V., S. VACCARO, G. MARTINEZ PASTUR. 1996. Informe técnico: Funciones de volumen total y crecimiento diamétrico para bosques de segundo crecimiento de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego. LPPV-CADIC. 13p.
- PULIDO, F., B. DIAZ, G. MARTINEZ PASTUR. 2000. "Incidencia del ramoneo del guanaco (*Lama guanicoe*) sobre la regeneración de lenga (*Nothofagus pumilio*) en bosques de Tierra del Fuego, Argentina", *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 9 (2): 381-394.
- REBERTUS, A., T. VEBLEN. 1993. "Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina", *J. of Vegetation Science* 4: 641-654.
- REINEKE, L. 1933. "Perfecting a stand-density index for even-aged forests", *Journal of Agricultural Research* 16 (7): 627-638.
- RUSCH, V. 1992. Principales limitantes para la regeneración de la lenga en la zona NE de su área de distribución: variables ambientales en claros del bosque. CIEFAP. Publicación técnica N8. 61-73 p.
- SCHMIDT, H., A. URZUA. 1982. Transformación y manejo de los bosques de lenga en Magallanes. Ciencias Agrícolas N11. Universidad de Chile. 62 pp.
- SCHMIDT, H., J. CALDENTEY. 1994. Tercer curso de silvicultura de los bosques de lenga. CONAF - CORMA Austral - Universidad de Chile. Punta Arenas. 12-22 enero.
- SCHMIDT, H., J. CALDENTEY, S. DONOSO. 1995. Informe: Investigación sobre el manejo de la lenga, XII Región. Universidad de Chile - CONAF. 40 p.
- SPAGARINO, C., G. MARTINEZ PASTUR, P. PERI. 2001. "Changes in *Nothofagus pumilio* forest biodiversity during the forest management cycle: insects", *Biodiversity and Conservation* 10 (12): 2077-2092.

Recibido: 14.11.2000