

## Efecto del manejo silvicultural sobre la regeneración de un bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* en la Reserva Nacional Lanín (Argentina)

Effect of silvicultural management on the *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* and *N. obliqua* forest regeneration within the Lanín Natural Reserve (Argentina)

Georgina Sola <sup>a,b,c,\*</sup>, Hernán Attis Beltrán <sup>a,c</sup>, Luis Chauchard <sup>c,d</sup>, Leonardo Gallo <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>b</sup> INTA, Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal, Bariloche, Argentina.

\*Autor de correspondencia: <sup>c</sup> Universidad Nacional del Comahue, Cátedra de Ordenación Forestal, Pasaje de La Paz 235, San Martín de Los Andes, Neuquén, Argentina, tel.: 54-02972-427618, solageor@yahoo.com.ar.

<sup>d</sup> Administración de Parques Nacionales, Parque Nacional Lanín, Neuquén, Argentina.

### SUMMARY

Management practices are important disturbance agents at local level and their incorrect implementation may affect the sustainability of natural forests. Usually, silviculture based on the shelterwood system was carried out in the mixed stands composed of *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* and *N. obliqua*, located at Lanín Natural Reserve (Neuquén Province, Argentina). However, the effect of this scheme on the composition and structure of natural regeneration is still rather unknown. In this study, composition, age, abundance and spatial pattern of adults and saplings of *Nothofagus* species were evaluated in a 3-ha plot logged in 1993. At pre-harvest period, adult density was 26 % for *N. dombeyi*, 38 % for *N. alpina* and 35 % for *N. obliqua*. Regeneration consisted mainly of *N. nervosa*. After logging, composition of adult trees was 20 %, 43 % and 37 % for *N. dombeyi*, *N. alpina*, *N. obliqua*, respectively; whereas regeneration was 45 % for *N. obliqua* and 42 % for *N. dombeyi*. Within species, no relationship was found between basal area of adult trees and density of saplings. For all tree species, age regeneration was larger in areas where tree canopy cover exhibited higher values. *N. alpina* was the last installed species. Preservation of the relative species composition after logging did not maintain the original abundance within regeneration. Consequently, it is necessary to adjust silvicultural practices, and particularly the level of canopy openings, in order to maintain species composition unaffected as a key indicator of sustainability at management unit scale.

*Key words:* silvicultural management, basal area, tree canopy, *Lophosonia*.

### RESUMEN

Las prácticas silviculturales constituyen un importante agente de disturbio y su inadecuada implementación afecta la sostenibilidad de los bosques naturales. En la Reserva Nacional Lanín, el manejo silvicultural del bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* se realiza tradicionalmente mediante aclareos sucesivos; y se desconoce su efecto sobre la composición y estructura de la regeneración natural. La cobertura del dosel, composición y área basal de los individuos adultos, y la composición, edad y distribución espacial de los renovales fue evaluada en una parcela de 3 ha intervenida en 1993 mediante una corta diseminatoria. La densidad de adultos antes de la corta fue 26 % para *N. dombeyi*, 38 % para *N. alpina* y 35 % para *N. obliqua*, y la remanente fue 20, 44 y 36 %, respectivamente. Previamente al aprovechamiento, el 92 % de la regeneración estaba constituida por *N. alpina*, y luego principalmente por *N. obliqua* (45 %) y *N. dombeyi* (42 %). Estos valores no se correlacionaron con el área basal de adultos. La edad de los renovales fue mayor en sitios con alta cobertura de dosel y *N. alpina* fue la especie que se instaló última. El aprovechamiento del bosque de *Nothofagus* no promovió el mantenimiento de la composición relativa original de la regeneración. El tiempo de colonización de las especies de *Nothofagus* disminuiría y una mayor cantidad de renovales de *N. alpina*, especie más tolerante a la sombra, se establecería si la cobertura remanente fuera superior a la recomendada en los planes de manejo.

*Palabras clave:* aclareos sucesivos, cobertura del dosel, área basal, *Lophozonia*.

### INTRODUCCIÓN

Las prácticas silviculturales constituyen un importante agente de disturbio y su inadecuada implementación afecta la sostenibilidad de los bosques naturales.

En los ecosistemas forestales, el disturbio es un componente clave que determina la composición y abundancia de las especies arbóreas. La escala, intensidad y el patrón espacial del disturbio define la composición de la vegetación subsecuente (Pollmann 2002). En el

manejo del bosque, el cambio en la abundancia relativa de las especies podría ocasionar modificaciones en la población efectiva que da origen a la regeneración (Barik *et al.* 1996). Es decir, el aprovechamiento silvicultural modifica la estructura forestal que puede implicar un impacto significativo sobre las variables bióticas y abióticas del bosque, y por ende sobre la composición de la regeneración (Martínez Pastur *et al.* 2002). Por lo tanto, el manejo forestal se debe llevar a cabo desde una perspectiva integral, manteniendo la variabilidad natural de los ecosistemas afectados. La silvicultura debe ser compatible con las estrategias de regeneración de las especies teniendo en cuenta el régimen de disturbios naturales para poder predecir y reducir los impactos en el ecosistema (Smith *et al.* 1997).

La degradación del bosque puede ser causada por la extracción selectiva positiva, que consiste en la remoción de los árboles con mayor valor comercial y el mantenimiento de una masa residual compuesta por individuos de baja calidad maderera. Esto puede producir además un impacto en la estructura genética por una selección disgénica, con la consecuente disminución de la aptitud productiva del bosque (Finkeldey y Ziehe 2004). Esta práctica implica beneficios económicos a corto plazo pero no considera el impacto sobre la biodiversidad, la regeneración y el desarrollo del bosque (Donoso 2013).

Las principales variables que influyen sobre el establecimiento y crecimiento de los renovales son la disponibilidad de luz y humedad en el suelo, y la intervención silvicultural influye sobre estas variables debido principalmente a los cambios en la cobertura del dosel (Dezzotti *et al.* 2003, Promis *et al.* 2010). El cambio generado por la intervención forestal sobre el microclima del bosque puede generar efectos negativos en la respuesta de las diferentes especies.

En la Reserva Nacional Lanín (40° 9' S y 71° 21' O), desde fines de la década de 1980 se realiza el manejo silvicultural del bosque de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (coihue), *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. (raulí) y *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (roble pellín) (Nothofagaceae). En la Argentina, este tipo de vegetación ocupa 313.000 ha y se localiza entre los 39° 29' y 40° 22' S y los 71° 15' y 71° 40' O (Lara *et al.* 1999). El sistema silvicultural principalmente aplicado a este bosque mixto es el aclareo sucesivo, que a lo largo de una serie de cortas disminuye la cobertura del dosel hasta un 30 ó 40 %, y mantiene los árboles adultos remanentes homogéneamente distribuidos y con una composición relativa similar a la del rodal original<sup>1</sup>. El establecimiento de la regeneración se extiende aproximadamente 20 años durante el cual se realizan usualmente, dos cortas diseminatorias y una de liberación (Chauchard *et al.* 2001).

Los renovales de estas especies de *Nothofagus* recolonizan los sitios abiertos cuando la vegetación original es eliminada a través de disturbios periódicos y de gran escala (Veblen 1996). Se han observado diferencias entre las especies con relación a la sobrevivencia y el crecimiento de los renovales bajo diferentes regímenes de disturbios menores que afectan, entre otros factores ambientales, a la luminosidad (Read y Hill 1985, Grosse 1988, Ramírez *et al.* 1997, Weinberger y Ramírez 1999, Pollmann 2002, Pollmann y Veblen 2004). Las especies que componen el bosque mixto tienen diferentes respuestas a estos cambios; *N. alpina* es una especie semitolerante a la sombra mientras que *N. dombeyi* y *N. obliqua* demandan una intensidad de luz mayor (Weinberger y Ramírez 2001).

El objetivo del presente estudio es evaluar la densidad y estructura espacial de los renovales de *N. dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* y su relación con el estrato de árboles adultos luego de 20 años de la implementación del aclareo sucesivo, para contribuir a diseñar esquemas de manejo que promuevan la regeneración, mantengan la composición original y disminuyan el tiempo de establecimiento de estas especies.

## MÉTODOS

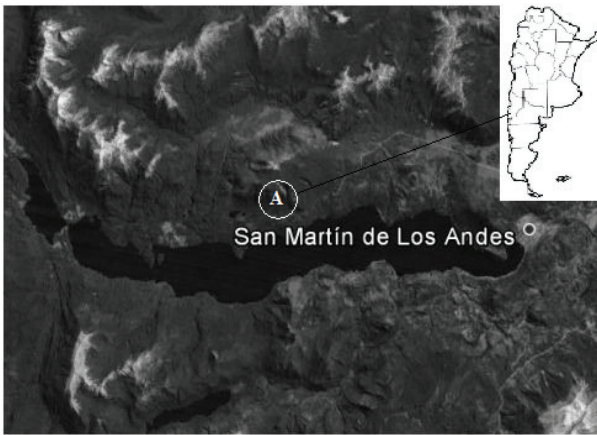
El área de estudio se localizó en la ladera Sur del cerro Quilánlahue (40° 8' S y 71° 28' O), en jurisdicción de la Reserva Nacional Lanín (provincia de Neuquén, Argentina) (figura 1). El clima es templado húmedo (temperatura media anual 9 °C y precipitación total anual 2.360 mm) y los vientos predominantes son del sector Oeste. El relieve es montañoso y los suelos de origen volcánico se clasifican como Andisoles (Ferrer *et al.* 1991).

En un bosque mixto compuesto por *N. dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* ubicado a 900 m s.n.m. se estableció una parcela de tres hectáreas. En 1993 se implementó una corta diseminatoria dentro de un esquema de aclareos sucesivos, y se alcanzó la meta de 30 a 40 % de cobertura del dosel por lo que no se realizó una segunda corta. La composición, el área basal y la cobertura del dosel superior del rodal previo a la implementación de la corta se obtuvieron del inventario realizado para elaborar el plan de manejo<sup>2</sup>.

En el 2013, a todos los árboles adultos (diámetro a la altura del pecho, DAP  $\geq$  10 cm) presentes en una parcela de 3 ha se les midió el DAP (cm) (cinta diamétrica) y la altura total (Ht, m) (clinómetro y cinta métrica). Posteriormente, se seleccionaron 20 individuos sanos y no excéntricos de cada especie que representaron el rango de diámetros presentes en la parcela, y se les extrajeron tarugos a la altura del pecho (barreno de Pressler). A estos individuos se les estimó la edad a través de la cuenta de los anillos de crecimiento (lupa 10X), a la cual se le sumó el tiempo que

<sup>1</sup> Chauchard L, M González Peñalba y L Maresca. 1998. Plan de ordenación forestal "Chachin", Reserva Nacional Lanín. Primera revisión ordinaria. Administración de Parques Nacionales. No publicado.

<sup>2</sup> Chauchard L. 1989. Plan de ordenación Quilánlahue. Municipalidad de Junín de los Andes-Administración de Parques Nacionales. No publicado.



**Figura 1.** A: Área de estudio. Quilanhue, Reserva Nacional Lanín, Neuquén, Argentina.

Study area. Quilanhue, Reserva Nacional Lanín, Neuquén, Argentina.

tardaron en alcanzar 1,3 m de altura y que se obtuvo de la función desarrollada para estimar la edad de los renovales (DAP < 10 cm) (cuadro 3).

A lo largo de 14 transectas ubicadas sistemáticamente cada 20 m se instalaron 80 subparcelas de 4 m<sup>2</sup> cada una, en las cuales se midió la altura (cinta métrica) y el diámetro (calibre) a la base de todos los renovales presentes. La comparación de la densidad de renovales por especie se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis ya que los datos no pudieron ser normalizados. La edad de los renovales (E, años) se estimó a partir de la medición de la Ht y el conteo de anillos a la altura del cuello (lupa 10x) de 60 individuos de cada especie que abarcaron el rango de Ht.

El tipo y la intensidad del patrón espacial de los renovales se estimó a través del Índice de Morisita (Morisita 1959), de acuerdo a:

$$I_{\delta} = q (\sum n_i (n_i - 1)) / N (N - 1) \quad [1]$$

Donde:  $I_{\delta}$  es el índice de Morisita, q es la cantidad de subparcelas en la que se dividió la parcela,  $n_i$  es la cantidad de individuos en la *i-ésima* subparcela y N es la cantidad total de individuos (=  $\sum n_i$ ). El índice  $I_{\delta}$  es igual a 1 cuando los individuos se dispersan aleatoriamente, es mayor a 1 cuando el patrón espacial es agrupado y es menor a 1 cuando es regular.

Luego se utilizó una prueba de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) para determinar si el  $I_{\delta}$  calculado fue estadísticamente diferente a 1, de acuerdo a:

$$X^2_{\text{calculado}} = I_{\delta} (N - 1) + q - N \quad [2]$$

Si  $X^2_{\text{calculado}} > X^2_{(q-1; 0,05)}$  el patrón es diferente al aleatorio  
 y si  $X^2_{\text{calculado}} \leq X^2_{(q-1; 0,05)}$  el patrón es aleatorio.

Para analizar si la densidad y proporción de especies de la regeneración dependían de los individuos adultos que la rodeaban, se relacionó dicha densidad con el área basal de los árboles adultos circundantes. Se utilizó el área basal porque está directa y fuertemente relacionada con el volumen y el tamaño de la copa (Chauchard y Sbrancia 2003). La misma se determinó por especie, en un radio de 25 m desde el centro de las subparcelas. Se utilizó esta distancia ya que la dispersión de semillas en los *Nothofagus* se ve limitada a la cercanía de los árboles padre (Veblen *et al.* 1996). Mediante un análisis de correspondencia canónica se analizó la relación entre el área basal por especie de los árboles circundantes y la cantidad de renovales de esa especie presentes en las subparcelas.

La influencia de dosel superior remanente sobre el establecimiento de la regeneración se evaluó a partir de la medición de la cobertura de copas, a través de fotografías hemisféricas tomadas en enero 2013 en el centro de cada subparcela a 1,2 m sobre el nivel del suelo y en días nublados para optimizar el contraste entre el follaje y el cielo. El equipo consistió en una cámara Nikon D80 provista de una lente hemisférica SIGMA 4,5 mm, montada sobre un trípode para mantener la lente en forma horizontal, con el cual se tomaron fotografías verticales cuyo norte magnético quedó en su parte superior. La apertura de la canopia se estimó con el programa Gap Light Analyzer 2.0 (Frazer *et al.* 2000). Estos valores se convirtieron a cobertura, la cual se clasificó en baja o alta en base al rango de valores actuales y el punto de corte fue el valor medio. Además, en cada subparcela se registró la pendiente, la exposición, el cénit, la altitud y las coordenadas geográficas (GPS). Con dicha información se realizaron análisis de la varianza (ANDEVA) multifactoriales para establecer si la edad de las especies difería con la cobertura y con el área basal de los individuos adultos circundantes de la misma especie. Para dicho análisis el área basal se clasificó en baja o alta, en función del rango de datos y teniendo en cuenta los valores utilizados en los planes de manejo. Finalmente, se elaboró un gráfico para cada cobertura con la densidad de renovales establecidos por especie divididos en dos clases (0 - 5 años y 5 - 10 años posteriores a la corta diseminatoria). Se consideraron renovales establecidos a aquellos que superaban la altura del sotobosque<sup>3</sup>.

## RESULTADOS

Previamente al aprovechamiento silvicultural, la densidad de adultos de *N. dombeyi* fue 26 %, la de *N. alpina* 38 % y la de *N. obliqua* 35 %, *N. alpina* presentó la mayor área basal (cuadro 1). La cobertura promedio fue 85 %<sup>4</sup>. Posteriormente, la densidad de *N. alpina* fue 44 %, mien-

<sup>3</sup> Ver nota 2.

<sup>4</sup> Ver nota 2.

**Cuadro 1.** Parámetros estructurales de los árboles adultos del bosque mixto de *Nothofagus*.

Characterization of the forest structure.

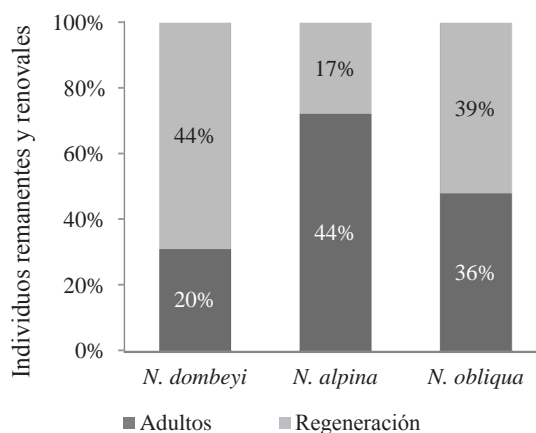
Especie	Pre-aprovechamiento		Post-aprovechamiento					
	Densidad árboles ha <sup>-1</sup> (%)	Área basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> (%)	n	Densidad árboles ha <sup>-1</sup> (%)	Área basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> (%)	Altura (m) $\bar{X} \pm EE$	Diámetro (cm) $\bar{X} \pm EE$	Edad (años) $\bar{X} \pm EE$
<i>N. dombeyi</i>	45 (26)	10 (22)	51	17 (20)	11 (30)	27 ± 9	81 ± 56	178 ± 96
<i>N. alpina</i>	65 (38)	22 (46)	113	38 (44)	11 (30)	23 ± 8	53 ± 32	136 ± 86
<i>N. obliqua</i>	60 (35)	16 (32)	95	32 (36)	15 (40)	31 ± 7	74 ± 22	187 ± 81
Total	170 (100)	48 (100)	259	86 (100)	37 (100)	-	-	-
Promedio	-	-	-	-	-	27 ± 9	66 ± 37	167 ± 89

tras que la de *N. obliqua* se mantuvo en 36 % y la de *N. dombeyi* disminuyó a 20 % (cuadro 1). Sin embargo, la participación en área basal fue homogénea, con una leve supremacía de *N. obliqua*. El 92 % los individuos con DAP entre 10 y 20 cm correspondieron a *N. alpina* y sólo el 2 % a *N. obliqua*, cuya edad promedio fue 54 ± 20 años y no existieron individuos con menos de 20 años (cuadro 1).

Los renovales se localizaron en el 65 % de las subparcelas, exhibieron un índice de Morisita de 9,9 para *N. dombeyi*, 2,8 para *N. alpina* y 3,3 para *N. obliqua* y estos valores difirieron significativamente de 1 (prueba de  $X^2$ ,  $P \leq 0,05$ ). La densidad relativa de renovales de *N. dombeyi* (44 %) respecto de *N. alpina* (17 %) fue inversa a la de los adultos, mientras que la de *N. obliqua* se mantuvo semejante (cuadro 2, figura 2). El área basal de los árboles adultos circundantes a las parcelas y la cantidad de renovales por especie no estuvo correlacionado (Análisis de correspondencias canónicas,  $P > 0,05$ ).

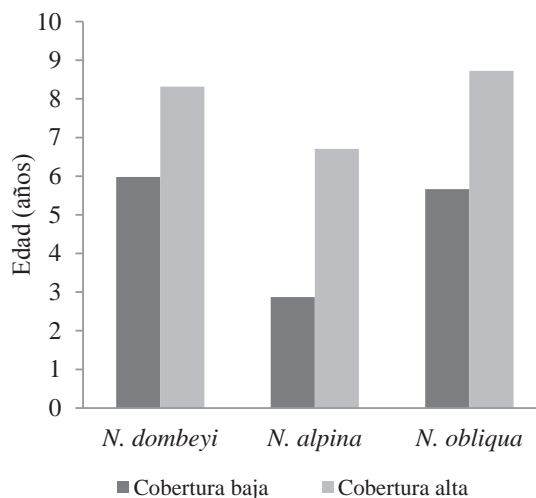
El modelo para estimar la edad en función de la altura obtuvo estadísticos de ajustes satisfactorios y sus residuales no mostraron tendencias en su dispersión (cuadro 3). *N. alpina*, a pesar de ser la especie dominante en el dosel superior, presentó un menor número de renovales (prueba de Kruskal-Wallis,  $P = 0,0014$ ), siendo estos los más jóvenes (cuadro 4, figura 3).

El establecimiento de la regeneración difirió entre sitios con bajas y altas coberturas y entre las especies de *Nothofagus* (cuadro 4, figura 3). Las tres especies tendieron a instalarse antes en los sitios con mayores coberturas, mientras que en aquellos con coberturas menores a 68 % el reclutamiento más tardío fue el de *N. alpina*. El establecimiento de *N. dombeyi* se produjo antes en los sitios donde el área basal de los árboles adultos circundantes fue mayor (cuadro 5, figura 4). Además, la densidad de los renovales establecidos que corresponden a aquellos que superaron la altura del sotobosque, fue superior en sitios con alta cobertura. El establecimiento de la regeneración comenzó luego de 5 años de realizadas las cortas donde la cobertura del dosel fue menor, mientras que en el resto se inició casi inmediatamente (figura 5).



**Figura 2.** Proporción de individuos adultos remanentes y renovales de las especies de *Nothofagus* (%).

Adults and regeneration frequencies (%).



**Figura 3.** Edad promedio por especie para dos niveles de cobertura (ANDEVA multifactorial,  $p < 0,05$ ,  $n = 408$ ).

Average age for two levels of canopy tree (Multiple-way ANOVA,  $P < 0.05$ ;  $n = 407$ ).

**Cuadro 2.** Parámetros de la regeneración posterior al aprovechamiento silvicultural.  $\bar{X}$ : media, EE: error estándar.

Characterization of post-harvest regeneration.

Especie	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> ) (%)	Altura (m) $\bar{X} \pm EE$	Diámetro (cm) $\bar{X} \pm EE$	Edad (años) $\bar{X} \pm EE$	n
<i>N. dombeyi</i>	5.593,75 (44)	1,74 ± 1,25	1,77 ± 1,76	7,13 ± 3,20	179
<i>N. alpina</i>	2.218,75 (17)	0,66 ± 1,22	0,50 ± 1,09	3,57 ± 3,36	71
<i>N. obliqua</i>	4.938,00 (39)	1,65 ± 1,53	1,32 ± 1,54	6,46 ± 3,61	158
Total	12.781,25 (100)	-	-	-	408
Promedio	-	1,52 ± 1,42	1,77 ± 1,64	6,25 ± 3,61	-

**Cuadro 3.** Parámetros del modelo lineal ( $E = a + b Ht$ ) para los renovales de las especies de *Nothofagus*. Se indica el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de la media (EE) y el tamaño de la muestra (n).

Age-height model for the three species.

Especie	a	b	R <sup>2</sup>	EE	n
<i>N. dombeyi</i>	4,46	1,73	0,64	1,21	60
<i>N. alpina</i>	3,70	1,64	0,61	1,44	60
<i>N. obliqua</i>	3,78	1,64	0,58	1,20	60

**Cuadro 4.** ANDEVA multifactorial para la edad de los renovales de *Nothofagus* en función de la cobertura remanente (Baja: 55 - 68 % y Alta: 68 - 80 %). Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Bonferroni,  $P < 0,05$ ,  $n = 408$ ). Nivel de significancia: \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$  y ns = no significativo.

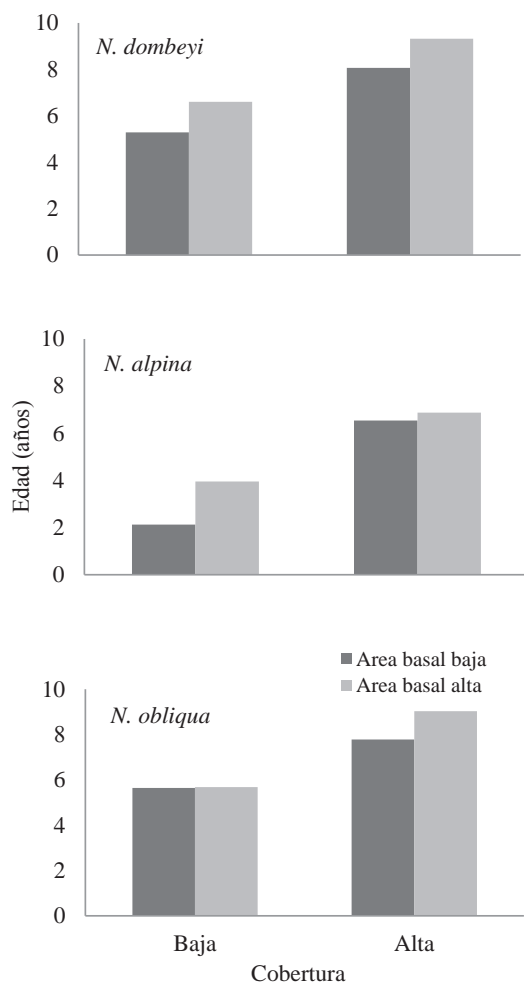
Multiple factor ANOVAs performed on saplings age ( $n = 408$ ) considering after logging tree cover (low: 55-68 % and high: 68-80 %) and species as main factors.

Factor	Nivel	Edad (años)
A: Cobertura	Baja	4,84 a
	Alta	7,92 b
	F(*)	54,79 (***)
B: Especie	<i>N. dombeyi</i>	7,14 a
	<i>N. alpina</i>	4,79 b
	<i>N. obliqua</i>	7,19 a
	F(*)	9,97 (***)
A x B	F(*)	1,11 (ns)

**Cuadro 5.** ANDEVA multifactorial para la edad de los renovales de *Nothofagus* con relación a la cobertura remanente (Baja: 55-68 % y Alta: 68-80 %) y el área basal de los individuos adultos circundantes (Baja: 0-15 m<sup>2</sup>/ha y Alta: > 15 m<sup>2</sup>/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Bonferroni,  $P < 0,05$ ). Nivel de significancia: \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; ns = no significativo.

Multiple factor ANOVAs performed on saplings age considering after logging tree canopy (low: 55-68 % and high: 68-80 %) and basal area of surrounding adult trees (low: 0-15 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> and high: >15 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) as main factors.

Especie	Factor	Nivel	Edad (años)
<i>N. dombeyi</i> (n= 179)	A: Cobertura	Baja	5,94 a
		Alta	8,69 b
		F(*)	26,63 (***)
	B: Área basal	Baja	6,67 a
		Alta	7,96 b
		F(*)	5,82 (*)
A x B	F(*)	0,00 (ns)	
<i>N. alpina</i> (n= 71)	A: Cobertura	Baja	3,04 a
		Alta	6,70 b
		F(*)	14,54 (***)
	B: Área basal	Baja	5,41 a
		Alta	4,33 a
		F(*)	1,27 (ns)
A x B	F(*)	0,60 (ns)	
<i>N. obliqua</i> (n= 158)	A: Cobertura	Baja	5,66 a
		Alta	8,41 b
		F(*)	15,70 (***)
	B: Área basal	Baja	7,36 a
		Alta	6,71 a
		F(*)	0,86 (ns)
A x B	F(*)	0,77 (ns)	



**Figura 4.** Edad promedio de los renovales con relación al nivel de cobertura y de área basal de árboles adultos de *Nothofagus* spp. (ANDEVA multifactorial,  $P < 0,05$ ).

Average age for two levels of canopy tree and basal area of adult trees (Multiple-way ANOVA).

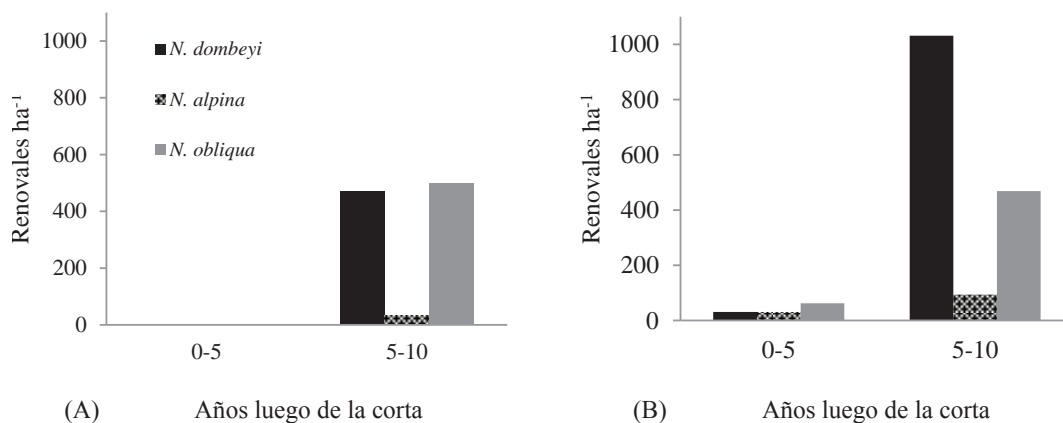
## DISCUSIÓN

Previamente a la implementación del aclareo sucesivo, el bosque estaba representado por un fustal-okedal cuyos árboles adultos y renovales estaban compuestos principalmente por *N. alpina*. Sin embargo, luego de la corta la regeneración estuvo conformada principalmente por *N. dombeyi* y *N. obliqua*. Estos renovales fueron los de mayor tamaño, mientras que los de *N. alpina* presentaron la menor edad y se localizaron principalmente en sitios con bajas coberturas de dosel. En los sitios con cobertura de dosel mayor, el reclutamiento de las tres especies se inició antes en comparación con el de los sitios más abiertos. La abertura del dosel arbóreo determinó la distribución espacial agrupada de la regeneración en las tres especies, probablemente asociada al aumento de la intensidad y calidad de la luz y al temperamento heliófilo del género *Nothofagus*. El valor mayor de  $I_0$  calculado para *N. dombeyi* sería una consecuencia de su mayor densidad.

La mayor tolerancia a la sombra de *N. alpina*, basada en la comparativa menor tasa de respiración oscura y punto de compensación de luz, habría permitido su establecimiento debajo de las altas coberturas de dosel que caracterizaban al bosque antes de la implementación de las cortas reproductoras<sup>5</sup> (Pollmann y Veblen 2004, Dezzotti 2008). Esta regeneración avanzada habría sido luego liberada con la creación de aperturas en el dosel, teniendo en cuenta que las de pequeña escala, causadas por la caída de árboles individuales o como consecuencia de cortas selectivas, tienen profundos efectos positivos sobre la regeneración de esta especie (Pollmann 2002, Pollmann 2004).

Luego de la corta diseminatoria, *N. dombeyi* y *N. obliqua* exhibieron un mayor reclutamiento, probablemente asociado a los cambios en el régimen de luz. Estas espe-

<sup>5</sup> Ver nota 2.



**Figura 5.** Densidad de renovales de *Nothofagus* spp. establecidos durante dos períodos posteriores a la corta diseminatoria y para las clases de cobertura baja (55- 68 %) (A) y alta (68- 80 %) (B).

Saplings frequency in two periods after harvest and for two levels of canopy trees (A) low, 55-68 % and (B) high, 68-80 %.

cies poseen una mayor exigencia lumínica que *N. alpina* (Weinberger y Ramírez 1999, 2001, Dezzotti *et al.* 2003, 2008) y, en consecuencia, la densidad de renovales de estas especies más intolerantes a la sombra es generalmente mayor en sitios recientemente perturbados (Pollmann y Veblen 2004). La apertura del dosel provocada por las intervenciones silviculturales de mayor escala brindan la oportunidad a *N. dombeyi* y *N. obliqua* de colonizar los espacios en los que se han liberado recursos. En áreas similares a la de este estudio, luego de 14 años de ocurrido el aprovechamiento la regeneración de *N. dombeyi* representó el 90 % (Chauchard *et al.* 1998).

Las acciones de manejo forestal deben tener en cuenta no sólo la cantidad sino también la posibilidad de supervivencia de los renovales que colonizan las áreas abiertas (Chauchard *et al.* 2001). En los sitios con menor apertura de dosel, los renovales presentaron una mayor edad y, por lo tanto, una mayor cantidad de plantas establecidas. En consecuencia, las condiciones y recursos necesarios para la colonización, principalmente asociados a la luz y humedad, se manifestaron antes en comparación con sitios más abiertos. Estas plantas superaron los 4 m de altura y por lo tanto presentan una alta probabilidad de conformar el dosel superior. *Nothofagus dombeyi* y *N. obliqua* fueron las especies con mayor densidad de renovales de mayor tamaño en la regeneración post-aprovechamiento, corroborándose nuevamente su comportamiento más heliófilo en comparación con *N. alpina*. Este fenómeno fue más marcado en áreas con baja cobertura, donde los renovales de *N. alpina* presentaron la menor edad debido a la gran cantidad de plántulas que se instalaron luego de 15 años de realizadas las prácticas silviculturales.

El área basal de los árboles adultos no mostró relación con la densidad ni con la proporción de especies de renovales. La independencia entre la composición específica de adultos y renovales de *Nothofagus* spp. en claros formados por cortas de selección en bosque fue citada previamente (Dezzotti 2003). Además, los renovales de *N. dombeyi* se instalaron antes cuando la cantidad de árboles adultos de esta especie fue mayor. Cabe destacar que los individuos adultos de *N. dombeyi* fueron los de menor densidad con respecto al total de árboles padre, mientras que la regeneración de esta especie fue una de las mayoritarias. *N. dombeyi* produce una cantidad significativamente mayor de semillas por individuo con un tamaño y peso significativamente menor en comparación con *N. obliqua* y *N. nervosa* (Burschel *et al.* 1976), lo que conduciría a una mayor capacidad de dispersión anemócora (Dezzotti 2003).

Considerando que *N. dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* poseen distintos requerimientos lumínicos, es necesario diseñar prácticas silviculturales que combinen adecuadamente la protección de la canopia y la disponibilidad de luz para lograr el establecimiento y desarrollo de las plántulas en las proporciones originales (Donoso *et al.* 2013). Sin embargo, se debería verificar el grado de influencia de las distintas variables ambientales que son modificadas

por la intervención silviculturales y que podrían afectar el establecimiento de los renovales. Además, es necesario estudiar el crecimiento y la sobrevivencia de la regeneración para conocer la composición y estructura del rodal adulto. En este sentido, el desbalance en la proporción de especies podría ser compensado por la capacidad de rebrote de *N. alpina* y *N. obliqua*, aunque el crecimiento y la xilotecología de estos árboles no se ha estudiado aún.

El mantenimiento de la composición específica de árboles adultos del bosque original, que se lleva a cabo en la actualidad en el aclareo sucesivo, no asegura la misma proporción de especies en la regeneración, al menos durante la etapa post-intervención temprana. La retención de una cobertura superior a la prescrita no sólo acortaría el periodo de establecimiento de los renovales de *Nothofagus* en general, sino también favorecería la instalación de *N. alpina* en particular. Además es vital la protección de la regeneración avanzada, particularmente dominada por *N. alpina*, ya que exhibirá mayores ventajas en el crecimiento al liberarse mediante la creación de huecos en el dosel. La disminución eventual de los beneficios económicos, asociados al mantenimiento de una mayor cobertura, podría compensarse a través del manejo de la regeneración instalada post-aprovechamiento, promoviendo la liberación de los individuos con mayor capacidad de crecimiento y el establecimiento de la especie económicamente más valiosa *N. alpina*.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Departamento Forestal del Parque Nacional Lanín, de la cátedra de Ordenación Forestal de la Universidad Nacional del Comahue y del Grupo de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal del INTA Bariloche. La investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Proyecto PNFOR 044001 “Domesticación de especies forestales nativas”) y por la Universidad Nacional del Comahue (Proyecto 04/S016 “Ecología y manejo del bosque mixto de *Nothofagus*: un avance hacia la conservación”). Finalmente, un particular agradecimiento a los evaluadores, cuyos comentarios y recomendaciones mejoraron sustancialmente la calidad del trabajo.

## REFERENCIAS

- Barik S, R Tripathi, H Pandey, P Rao. 1996. Tree regeneration in a subtropical humid forest: effect of cultural disturbance on seed production, dispersal and germination. *Journal of Applied Ecology* 33: 1551-1560.
- Burschel P, C Gallegos, O Martínez, W Moll. 1976. Composición y dinámica regenerativa de un bosque virgen mixto de raulí y coigüe. *Bosque* 1: 55-74.
- Chauchard L, L Maresca, M González Peñalba. 2001. Método para evaluar el estado regenerativo de un rodal y su aplicación al manejo del bosque mixto de *Nothofagus*. *Quebracho* 9: 29-42.

- Chauchard L y R Sbrancia. 2003. Modelos de crecimiento diamétrico para *Nothofagus obliqua*. *Bosque* 24(3): 3-16.
- Dezzotti A. 2008. Acumulación y asignación de biomasa en renovales de tres especies de *Nothofagus* en los extremos de un gradiente de luz en claros de un bosque subantártico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(1): 18-30.
- Dezzotti A, R Sbrancia, M Rodríguez-Arias, D Roat, A Parisi. 2003. Regeneración de un bosque mixto de *Nothofagus* (Nothofagaceae) después de una corta selectiva. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 591-602.
- Donoso P, D Soto, R Coopman, S Rodríguez-Bertos. 2013. Early performance of planted *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus alpina* in response to light availability and gap size in a high-graded forest in the south-central Andes of Chile. *Bosque* 34(1): 23-32.
- Ferrer J, J Irizarri, J Mendía. 1991. Estudio regional de suelos de la provincia de Neuquén. Consejo Federal de Inversiones- Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo de Neuquén 1: 1-159.
- Finkeldey R y M Ziehe. 2004. Genetic implications of silvicultural regimes. *Forest Ecology and Management* 197: 231-244.
- Frazer G, C Canham, K Lertzman. 2000. Gap Light Analyser-version 2.0. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81: 191-197.
- Grosse H. 1988. Crecimiento de plantaciones de raulí y roble bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización. *Ciencia e Investigación Forestal* 2(5): 13-30.
- Martínez Pastur G, P Peri, C Fernández, G Staffieri, M Lencinas. 2002. Changes in understory species diversity during the *Nothofagus pumilio* forest management cycle. *Journal of Forest Research* 7(3): 165-174.
- Morisita M. 1959. Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. In Memory Faculty of Science Kyushu University. Fukukoa, Japón. Serie E (Biology) 2. p. 215-235.
- Pollmann W. 2002. Effects of natural disturbance and selective logging on *Nothofagus* forests in south-central Chile. *Journal of Biogeography* 29: 955-970.
- Pollmann W. 2004. Regeneration dynamics and life history differences in southern Chilean *Nothofagus* forests: a synthesis. *Plant Ecology* 174: 353-369.
- Pollmann W y T Veblen. 2004. *Nothofagus* regeneration dynamics in south-central Chile: a test of a general model. *Ecological Monographs* 74(4): 615-634.
- Promis A, J Caledentey, M Ibarra. 2010. Microclima en el interior de un bosque de *Nothofagus pumilio* y el efecto de una corta de regeneración. *Bosque* 31(2): 129-139.
- Ramírez C, C San Martín, A Oyarzún, H Figueroa. 1997. Morpho-ecological study of the South American species of the genus *Nothofagus*. *Plant Ecology* 130: 101-109.
- Read J y R Hill. 1985. Photosynthetic responses to light of Australian and Chilean species of *Nothofagus* and their relevance to the rain forest dynamics. *New Phytologist* 101: 731-743.
- Smith D, B Larson, M Kelty y P Ashton. 1997. The practice of silviculture: applied forest ecology. New York, USA. John Wiley & Sons. 537 p.
- Veblen T, C Donoso, T Kitzberger, A Rebertus. 1996. Ecology of southern Chilean and Argentinian *Nothofagus* forests. In Veblen T, R Hill S, J Read eds. The ecology and biogeography of *Nothofagus* forests. Yale New Haven, CT, USA. University Press. p. 293-353.
- Weinberger P y C Ramírez. 1999. Sinecología de la regeneración natural del raulí (*Nothofagus alpina*). *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 337-351.
- Weinberger P y C Ramírez. 2001. Microclima y regeneración natural de raulí, roble y coigüe (*Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi*). *Bosque* 22(1): 11-26.

Recibido: 26.09.14

Aceptado: 20.01.15