

Efecto del manejo silvícola en la dinámica de la regeneración de *Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi* bajo diferentes condiciones ambientales

Mateo C¹, El Mujtar V², Dezzotti A³, Marchelli P², González Peñalba M⁴, Lara M⁴, Sbrancia R³, Attis Beltrán A³, Sola J⁵, Sola G⁶

Palabras Clave: cortas diseminatorias, Reserva Nacional Lanín, gradiente de precipitaciones.

Introducción

La regeneración de los bosques es la base de la renovación y la continuidad de las especies, lo que la convierte en uno de los procesos más importantes en el ciclo de vida de los árboles (Norden 2014). En la dinámica natural, los patrones de regeneración resultan de interacciones entre-especies, moduladas por gradientes ambientales, y el régimen de perturbaciones (Gholami et al. 2018). En bosques mixtos bajo manejo silvícola, la formación de claros produce cambios en los recursos y reguladores ambientales influyendo en la regeneración de las especies y en la estructura del ecosistema forestal (Dezzotti et al. 2003, Sola et al. 2015). Especies con diferentes requerimientos eco-fisiológicos serán más o menos afectadas por los tratamientos silvícolas, conduciendo a cambios en su composición y distribución entre pulsos de establecimiento. Por lo tanto, los gradientes ambientales y el manejo silvícola modelan ensamblajes biológicos a diferentes escalas espaciales y temporales, cuyo conocimiento es esencial para comprender los mecanismos que contribuyen a la continuidad de los bosques.

En la Argentina, el 72% de la superficie del bosque de *N. dombeyi* (coihue), *N. alpina* (raulí) y *N. obliqua* (roble pellín) se encuentra bajo jurisdicción del Parque Nacional Lanín (PNL). En esta área protegida se permiten actividades productivas no degradantes en la Reserva Nacional (195.010 ha, 47% del área total). Así, la extracción de madera es una actividad social y económicamente importante. El mismo esquema silvicultural basado en el sistema de aclareos sucesivos se aplica en toda la región, aunque el ecosistema se distribuye a lo largo de un intenso gradiente de preci-

pitación en dirección E-O. Estudios realizados en bosques mixtos del área han detectado modificaciones en la abundancia relativa de estas especies en la regeneración post-cosecha asociados a los cambios en las condiciones de luz (Dezzotti et al. 2003, Sola et al. 2020). Sin embargo, hasta el momento no hay estudios que evalúen la dinámica temporal de la regeneración de estas especies luego de las cortas, ni diferencias en el establecimiento de la regeneración entre áreas con y sin manejo a lo largo del gradiente de precipitación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto combinado de gradientes ambiental y silvícola sobre la dinámica de la regeneración de bosques mixtos de *Nothofagus*.

Materiales y métodos

Para este trabajo se seleccionaron dos sitios de bosque mixto de *Nothofagus*, localizados en la cuenca Lácar en el PNL: Chachín (CH, ≈ 2.700 mm año⁻¹) y Quililahue-Yuco alto (Q-Y, ≈ 1.800 mm año⁻¹). En cada sitio, desde 1988 y cada 5 años, se realiza el monitoreo continuo de al menos 6 parcelas permanentes sometidas a cortas diseminatorias. En el centro de cada parcela y en los cuatro puntos cardinales, se ubican 4 sub-parcelas de 4 m² donde se releva la regeneración arbórea.

Para el estudio de la **dinámica de la regeneración de *Nothofagus* en áreas con manejo**, se utilizó la información de estas parcelas para determinar la densidad de renovales (dap < 10 cm) por especie en tres períodos (10 años, entre 10 y 20 años y más de 20 años después de la corta) en ambos sitios. A su vez los renovales se clasificaron según su altura total en tres categorías (< 30 cm, 30-200 cm y > 200cm) y se obtuvieron distribuciones de frecuencia por tamaño para los tres periodos. Estas categorías se definieron

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Asentamiento Universitario San Martín de los Andes.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Grupo de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal, INTA Bariloche.

3 Asentamiento Universitario San Martín de los Andes.

4 Área Forestal, Departamento de Conservación y Manejo, Parque Nacional Lanín, APN.

5 Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

6 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Asentamiento Universitario San Martín de los Andes. Contacto: solageor@yahoo.com.ar.

en base al potencial de supervivencia que pueden tener los renovales de *Nothofagus* (i.e. alturas mayores a 2 metros indican renovales establecidos). Para evaluar el efecto del sitio y el tiempo transcurrido luego de la corta sobre la densidad de renovales (total, establecidos y por especie) se utilizaron modelos mixtos generalizados del software R (librería glmmTMB, R v3.6.1). Ambos modelos incluyeron a las variables sitio y tiempo pos-corta (anidada en el sitio) como variables explicativas de efectos fijos, y a la variable parcela como aleatoria.

Por otro lado, para evaluar el **impacto del manejo forestal sobre la regeneración luego de más de 20 años del aprovechamiento**, se seleccionaron 4 parcelas con manejo por sitio y se instalaron 3 parcelas en áreas sin manejo (4+3=7 en cada sitio, 14 en total). En cada una de las parcelas, durante el 2022, se analizó la regeneración en 12 sub-parcelas de 3 m² para determinar la densidad de renovales, su composición y altura promedio. Para analizar la variabilidad de la densidad de renovales (total y establecidos), en áreas con y sin manejo en ambos sitios, también fueron utilizados modelos mixtos generalizados. Los modelos incluyeron al sitio, al manejo y a la interacción como variables explicativas de efectos fijos, y a la parcela como variable aleatoria. Para ambos análisis, las distribuciones de las variables respuestas fueron analizadas con DHARMA y testDispersion, seleccionándose la distribución tweedie (link=log) para todos los modelos por AIC. Además, la distribución normal de los residuos de la variable aleatoria parcela fue constatada con shapiro.test. Finalmente, se realizaron comparaciones entre los grupos significativamente diferentes con emmeans.

Resultados: Dinámica de la regeneración de *Nothofagus* en áreas con manejo

La densidad de renovales de Q-Y en los tres periodos posteriores a la corta representó el 16, 4 y 25% de la regeneración de CH. Sin embargo, la densidad de renovales de CH sólo fue significativamente superior a la de Q-Y a los 10-20 años luego de la corta ($p < 0.05$, Fig. 1a y 2). Luego de los 20 años hay un fuerte descenso en la densidad de renovales de CH, no así en la densidad de renovales de Q-Y (Fig. 1a). La regeneración establecida, en CH alcanza el valor máximo a los 10-20 años de ocurrido el aprovechamiento y luego comienza a descender, en cambio en Q-Y sigue aumentando (Fig. 1b). En ambos sitios *N. dombeyi* es la especie dominante en la regeneración (representa el

64, 89 y 69% de la regeneración total de cada periodo en CH y el 72, 73 y 68% en Q-Y) (Fig. 1 a y b). En el caso de *N. alpina* y *N. obliqua* la dominancia es inversa entre los sitios, con dominancia en CH de *N. alpina* sobre *N. obliqua* (Fig. 1a). La distribución de clases de altura en el tiempo muestra un patrón similar entre sitios (Fig. 2), dándose la dominancia de la clase de altura > 200 cm luego de los 20 años de la corta en ambos sitios. En CH, el reclutamiento (instalación de individuos de las clases más chicas) ocurre sin embargo en un período de tiempo más largo que en Y-Q (Fig. 2).

En CH la diferencia en la densidad de renovales se dio entre los dos últimos períodos, tanto para la regeneración total como para la de *N. alpina* y *N. dombeyi* ($p < 0.05$, Fig. 2). En Q-Y no hubo diferencias en la densidad de renovales a lo largo del tiempo ($p > 0.05$). La regeneración establecida, en ambos sitios, fue menor para el primer período después de la corta ($p < 0.05$, Fig. 2).

Impacto del manejo forestal sobre la regeneración luego de 20 años del aprovechamiento

En las áreas con manejo la densidad de renovales fue 60% superior en CH que en Q-Y (Tabla 1). La regeneración establecida fue un 55% de la regeneración total de CH (12152 ind/ha) y un 63% de la de Q-Y (5554 ind/ha), siendo la altura media 3.34 ± 0.85 m en CH y 3.03 ± 0.72 m en Q-Y. En las áreas sin manejo, la densidad de renovales de CH fue de 12500 ind/ha (Tabla 1), aunque solo un 2% constituyó regeneración establecida; la altura media fue de 0.32 m. En Q-Y la densidad de renovales fue de 1019 ind/ha, con un 54% de regeneración establecida y una altura media de 2.13 m. El MLG indica que, luego de 20 años del manejo, el sitio no explica la variación en la densidad de renovales totales y establecidos ($p > 0.05$) siendo el manejo la única variable explicativa ($p < 0.05$). La regeneración total de las áreas sin manejo representa el 56 y 12% de la regeneración de las áreas con manejo, sin embargo, ésta es más balanceada en cuanto a la proporción de especies con una menor dominancia de *N. dombeyi* respecto a las áreas con manejo (Tabla 1).

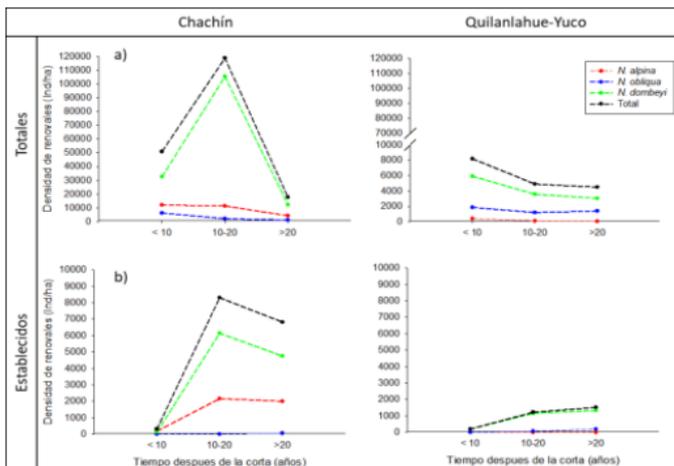


Figura 1. Densidad de renovales totales y establecidos en Chachín y Quilánlahue-Yuco luego de 10, 10-20 y más de 20 años luego de la corta.

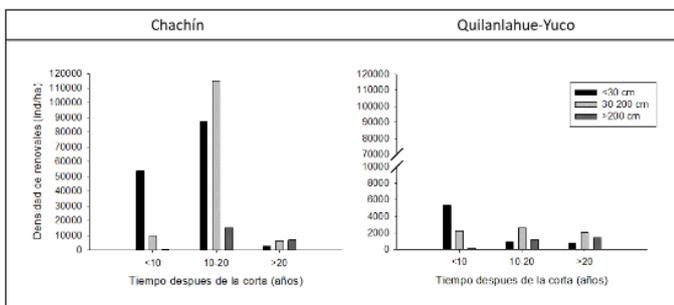


Figura 2. Densidad de renovales por clases de altura (<30cm, 30-200 cm y >200 cm) en Chachín y Quilánlahue-Yuco luego de 10, 10-20 y más de 20 años luego de la corta.

Tabla 1. Densidad de renovales por especie en individuos/ha (%) para los sitios Chachín y Quilánlahue-Yuco, en áreas con y sin manejo.

		<i>N. alpina</i>	<i>N. obliqua</i>	<i>N. dombeyi</i>	Total
Chachín	con manejo	4980 (22%)	4583 (21%)	12638 (57%)	22201
	sin manejo	6390 (51%)	2037 (16%)	4074 (33%)	12501
Quilánlahue-Yuco	con manejo	416 (5%)	971 (11%)	7430 (84%)	8817
	sin manejo	463 (46%)	278 (27%)	278 (27%)	1019

Discusión

Este trabajo comprobó que el manejo silvícola de los bosques mixtos de *Nothofagus* favorece el establecimiento de la regeneración. Dentro de las áreas con manejo, el sitio con mayor nivel de precipitación presentó una mayor densidad de renovales que se instalaron a lo largo de un mayor periodo de tiempo y alcanzaron mayores niveles de establecimiento. Sin embargo, luego de 20 años de realizada la corta la diferencia entre sitios ya no es tan marcada. Este patrón podría deberse a la alta competencia registrada en el sitio con mayor precipitación y la consecuente mortalidad

asociada. La tendencia a una distribución diferencial de especies en el gradiente corrobora lo previamente reportado; mientras que *N. alpina* se restringe a condiciones de moderado estrés hídrico, *N. obliqua* tolera mayor variación (Weinberger & Ramírez 2001, Sola et al. 2020) y, *N. dombeyi* se distribuye a lo largo de un rango amplio de condiciones ecológicas (Veblen et al. 1996; Pollmann 2004, Sola et al. 2020). Cabe mencionar que *N. dombeyi* fue la especie dominante a pesar de que en el dosel adulto la proporción de individuos era balanceada (44% *N. alpina*, 26% *N. obliqua* y 30% *N. dombeyi*).

Resultados similares de cambio en la composición específica luego de la implementación de cortas fueron previamente reportados (Dezzotti et al 2003, Sola et al. 2020). Por lo tanto, si el mismo sistema de manejo se continúa aplicando, en los sitios más húmedos sería recomendable manejar la regeneración. El raleo de renovales evitaría la pérdida de crecimiento por competencia y favorecería las especies minoritarias. En sitios de precipitación intermedia el menor reclutamiento y el desbalance en la composición de especies sugieren que deberían probarse menores intensidades de corta. Weinberger & Ramírez (1999) demostraron que cuando los niveles de precipitación son bajos (≈ 1200 mm año⁻¹) *N. alpina* sólo se establece en condiciones de mayor cobertura (> 40%). Eso mismo se observó en nuestro estudio donde en las áreas sin manejo *N. alpina* representó el 46% de la regeneración. Atendiendo a las especificidades de ambos sitios, las prácticas silvícolas deberían diversificarse para lograr una mayor participación de *N. obliqua* y *N. alpina* y alcanzar los 2500 renovales /ha establecidos como meta en los planes de manejo para el periodo de regeneración (Chauchard et al. 2012). Atendiendo a estos resultados, es clave estudiar el efecto de la interacción entre los distintos niveles de precipitación y cobertura en el establecimiento de la regeneración de *Nothofagus*.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos es importante destacar el efecto positivo que tienen las cortas diseminatorias en el establecimiento de la regeneración. Sin embargo, deberían estudiarse modificaciones del sistema aplicado en función de las condiciones del sitio y de los requerimientos de las especies para permitir un mayor y más balanceado reclutamiento de las tres especies de *Nothofagus*.

Bibliografía Citada

- Chauchard L, Bava J, Castañeda S, et al. 2012. Manual para las buenas prácticas forestales en bosques nativos de Nordpatagonia. Ministerio de Agricultura, ganadería y Pesca. 250 pp.
- Dezzotti A, Sbrancia R, Rodríguez-Arias M, et al. 2003. Regeneración de un bosque mixto de *Nothofagus* (*Nothofagaceae*) después de una corta selectiva. *Rev. Chil. His. Nat.* 76: 591–602.
- Gholami S, Saadat L, Sayad E. 2018. Different microhabitats have contrasting effects on the spatial distribution of tree regeneration density and diversity. *Journal of Arid Environments* 148: 1-5.
- Norden N. 2014. Del porqué la regeneración natural es tan importante para la coexistencia de especies en los bosques tropicales. *Colombia Forestal*, 17(2): 247-261.
- Pollmann W, Veblen T. 2004. *Nothofagus* regeneration dynamics in south-central Chile: a test of a general model. *Ecol. monogr.* 74(4): 615–634.
- Sola G, Attis Beltrán H, Chauchard L, Gallo L. 2015. Effect of silvicultural management on the *N. dombeyi*, *N. alpina* and *N. obliqua* forest regeneration within the Lanín National Reserve. *Bosque* 36 (1): 111–118.
- Sola G, El Mujtar V, AttisBeltrán H, Chauchard L, Gallo L. 2020. Mixed *Nothofagus* forest management: a crucial link between regeneration, site and microsite conditions. *New Forests* 51: 435–452.
- Veblen T, Donoso C, Kitzberger T, Rebertus A. 1996. Ecology of southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forests. In: Veblen TT, Hill RS, Read J (eds) *The ecology of biogeography of Nothofagus forests*. Yale University Press, New Haven, pp 293–353
- Weinberger P, Ramirez C. 1999. Sinecología de la regeneración natural del Raulí (*Nothofagus alpina*) *Rev. Chil Hist Nat* 72:337–351
- Weinberger P, Ramírez C. 2001. Microclima y regeneración natural de Raulí, Roble y Coigüe. *Bosque* 22:11–26.