

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS E INSTALACIÓN DE PLÁNTULAS EN BOSQUES PRIMARIOS Y APROVECHADOS DE *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser DESPUÉS DE LOS PRIMEROS AÑOS DESDE LA COSECHA

SEED PRODUCTION AND SEEDLING RECRUITMENT IN PRIMARY AND HARVESTED *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser FORESTS AFTER THE FIRST YEARS OF CUTTINGS

Ana D. Torres^{1*}; G.J. Martínez Pastur²; J.M. Cellini¹; M.V. Lencinas²; M.D. Barrera¹; R. Soler²; R. Díaz-Delgado³

¹Laboratorio de Investigaciones de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA-UNLP). Diagonal 113 n° 469 (1904) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

²Centro Austral de Investigaciones Científicas (CONICET). Houssay 200 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

³Laboratorio de SIG y Teledetección, Estación Biológica de Doñana (CSIC). Av. Américo Vespucio s/n (41092) Sevilla, España.

*Autor de correspondencia. Tel.: +54-221-4271442. E-mail: anadeliaats@gmail.com.

Resumen

Las propuestas de cosecha para *Nothofagus pumilio* proponen abrir el dosel para estimular la regeneración natural modificando la luz y humedad del suelo. La producción de semillas y plántulas instaladas definirán el éxito de la propuesta silvícola. El objetivo fue analizar la producción de semillas, cantidad de plántulas y eficiencia de instalación en bosques primarios y aprovechados mediante retención variable. Se utilizaron datos de las parcelas permanentes (n=72) (2007-2014) en Tierra del Fuego. Se caracterizó la estructura forestal y las semillas (2006-2013). Los resultados muestran que la estructura del bosque se modifica luego de la cosecha, influyendo sobre la producción de semillas y el establecimiento de plántulas. La producción de semillas y la cantidad de plántulas instaladas estuvo en relación a la cobertura de copas y a la lluvia de semillas, pero la eficiencia de instalación no se vio afectada por la cosecha.

Palabras claves: regeneración, manejo forestal, cobertura de copas, Tierra del Fuego.

Summary

Harvesting proposals for *Nothofagus pumilio* forests are based on canopy opening to stimulate natural seedlings modifying light and soil moisture. Seed production and established seedling will define the success of the harvesting proposal. The objective was to analyse seed production, seedling recruitment and establishment efficiency in primary and harvested forests through variable retention. Data of permanent plots was used (n=72) (2007-2014) located in Tierra del Fuego. Forest structure and seed production (2006-2013) were also measured. Results indicate that harvesting modify the forest structure, that influence over seed production and seedling recruitment. Seed production and quantity of seedlings were related to crown cover and seed production, however, establishment efficiency was not affected by the harvesting.

Key-words: regeneration, forest management, crown cover, Tierra del Fuego.

Introducción

Los bosques de *Nothofagus pumilio* se regeneran principalmente a partir de semillas, y eventualmente a partir de propagación agámica en condiciones extraordinarias, e.g. límite del bosque en las montañas (Ivancich *et al.*, 2012). La dinámica natural predominante en los bosques productivos previos a las intervenciones, se basan principalmente en la dinámica de claros (Rebertus y Veblen, 1993), donde la regeneración pre- y post-disturbio crece abundantemente donde se produjo la apertura del dosel arbóreo (Gutiérrez, 1994). Las prescripciones silvícolas de cosecha del bosque se basan en abrir el dosel para estimular la instalación y crecimiento de la regeneración natural modificando los niveles de disponibilidad de luz y humedad del suelo del bosque (MartínezPastur *et al.*, 2011a).

Los primeros años después de la cosecha son determinantes para el establecimiento de la regeneración que va a recuperar la estructura forestal de los bosques aprovechados (Martínez Pastur *et al.*, 2011a; 2011b). Por otra parte, los patrones de producción de semillas son altamente variables entre años a escala de rodal ni de paisaje (Martínez Pastur *et al.*, 2013), habiéndose citado la presencia de ciclos para el género *Nothofagus* (Monk y Kelly, 2006) donde los niveles de variación entre años es de alta variabilidad (Kelly y Sork, 2002). Los niveles de disponibilidad de luz y humedad del suelo, así como el grado de protección que ofrece el dosel remanente en los bosques aprovechados, está determinado por el tipo de cortas a los que se ven sometidos los bosques (Martínez Pastur *et al.*, 2011a; 2011b). La diversidad de microambientes que ofrecen las cortas con retención variable, que combina retenciones agrupadas (agregados) con retención de árboles dispersos, influye sobre la regeneración, tanto en su establecimiento y supervivencia como en el crecimiento, al generar una influencia diferencial (positiva o negativa) de acuerdo con los micro-sitios que se consideren (e.g. dentro de los agregados de retención, dentro del área de influencia de los agregados o en sectores cosechados lejos de la influencia de los agregados) (Bloody Titus, 2010; Martínez Pastur *et al.*, 2012). El objetivo de este trabajo fue analizar la producción de semillas (SEM), la cantidad de plántulas que se instalan (INS) y la eficiencia de instalación (EF) (número de plántulas en relación a la lluvia de semillas) en bosques primarios y aprovechados mediante retención variable de *Nothofagus pumilio*, evaluando los primeros 10 años después de la corta. Con este estudio se intentan responder las siguientes preguntas sobre la producción de semillas, la instalación de plántulas y la eficiencia de instalación: (1) ¿existe una respuesta diferencial en los distintos ambientes generados por la cosecha mediante retención variable en comparación con un bosque primario sin intervención?; (2) ¿existe una variación relacionada a los años después de las intervenciones en los distintos ambientes generados por la cosecha mediante retención variable?; y (3) ¿la instalación de plántulas y la eficiencia de instalación varían con la magnitud de la lluvia de semillas?.

Materiales y métodos

La toma de datos se realizó en un bosque puro de *Nothofagus pumilio* localizado en la Isla Grande de Tierra del Fuego (Argentina), cosechado mediante el método de retención variable (MartínezPastur *et al.*, 2011b). Este método retiene parte de la estructura forestal original, dejando retenciones agrupadas (un agregado circular de 30 m de radio por hectárea) y árboles dominantes dispersos ($10-15 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ de área basal) distribuidos homogéneamente entre los agregados después de la cosecha. El bosque está localizado en la Estancia Los Cerros ($54^{\circ}18' \text{ S}$, $67^{\circ}49' \text{ O}$), y presenta una calidad de sitio media, con un volumen previo a la corta de $700-900 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y alturas dominantes que varían entre 22-24 m. Este bosque forma parte de una serie de estudios de largo plazo dentro de la red de parcelas permanentes de ecología y biodiversidad de ambientes naturales en Patagonia Austral (PEBANPA).

Para este estudio se utilizaron datos de las parcelas permanentes de regeneración (500 x 20 cm) establecidas en bosques primarios sin intervención (BP) (n=18) como situación control, y bosques aprovechados mediante retención variable (n=54) en 2004. En los bosques aprovechados las parcelas cubren tres situaciones distintas de acuerdo con los diferentes grados de retención (ver Martínez Pastur *et al.*, 2011b): (i) dentro de los agregados de retención (RA) (n=18), (ii) en la retención dispersa pero bajo la influencia de la retención agregada (<20 m desde el borde de los agregados) (RDI) (n=18), y (iii) en la retención dispersa fuera de la influencia de la retención agregada (RD) (n=18). Durante la época estival (segunda quincena de enero) se realizaron conteos de instalación de plántulas desde 2007 a 2014. Asimismo, junto a cada parcela se colocó una trampa de semillas (50 x 30 cm), recolectando y realizando el conteo de las mismas durante el mes de mayo de cada año desde 2006 a 2013. La eficiencia de instalación (EF) se estimó como el número de plántulas establecidas en relación a la lluvia de semillas de cada parcela. Finalmente, en cada parcela se tomaron datos de altura dominante (AD) mediante un hipsómetro laser (Impulse Laser Rangefinder de Laser Technology, USA), y área basal (AB) mediante un dendrómetro laser (Criterion RD-1000 de Laser Technology, US) empleando un K que varió entre 1 y 6. El volumen total con corteza (VTCC) se estimó mediante fórmulas que utilizan al área basal y la calidad de sitio como variables independientes. Para la estimación de la cobertura de copas (CC) y el índice de área foliar relativo (IAFR) integrado sobre el zenit un ángulo entre 0° y 60°, se emplearon fotos hemiesféricas tomadas a 1 m de altura mediante el uso de un lente ojo de pescado marca Sigma (Japón) 8mm montado en un cuerpo de cámara digital de 35 mm marca Nikon (Japón). Para su análisis se empleó el software Gap Light Analyzerv.2.0. El programa fue suplementado con una proyección de la distorsión provista por el fabricante del lente, y una grilla de división del cielo compuesta por 20 azimuts y 4 regiones de cenit.

Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) simples considerando: (i) los distintos tipos de bosques (BP, RA, RDI, RD) para analizar las variables de estructura forestal y del dosel (AD, AB, VTCC, CC e IAFR); (ii) los distintos tipos de bosques (BP, RA, RDI, RD) para analizar los datos de semillas y regeneración (SEM, INS, EF); y (iii) los años después de la cosecha (3 a 10 años) para analizar los datos de semillas y regeneración (SEM, INS, EF). Se realizó un ANDEVA múltiple considerando los tipos de bosque (BP, RA, RDI, RD) y la producción relativa de semillas de acuerdo a la magnitud de caída (1=baja, 2=media, 3=alta) para analizar los datos de semillas y regeneración (SEM, INS, EF). Para detectar diferencias entre las medias se utilizó al test de Tukey ($p < 0,05$) para realizar las comparaciones.

Resultados

Se detectaron diferencias significativas en todas las variables analizadas (Tabla 1). La altura dominante fue levemente superior en los bosques aprovechados (aprox. 24,0 m) respecto que los bosques primarios sin intervención (22,2 m). El AB y el VTCC fueron mayores en los bosques primarios, intermedios en la RA y menores en los bosques aprovechados (RDI y RD) sin presentar diferencias significativas entre estos últimos. En el caso de la cobertura de copas, también se detectaron diferencias entre los bosques aprovechados, observándose un gradiente desde el interior de los agregados de retención hasta los lugares más alejados dentro de la retención dispersa. Finalmente, el índice de área foliar relativo no presentó diferencias entre BP y AR que fueron significativamente mayores que los bosques aprovechados (RDI y RD).

Al analizar todos los años en conjunto, se encontraron diferencias significativas en la producción de semillas para los distintos tipos de bosques (**Tabla 2**), donde los mayores valores se encontraron en el bosque primario respecto de la retención agregada respecto de los bosques cosechados (RDI y RD).

La instalación de plántulas también presentó diferencias significativas, diferenciándose el bosque primario del resto de los tratamientos (RA, RDI y RD). Finalmente, no se encontró diferencias en la eficiencia de instalación al considerar todos los años medidos en su conjunto (**Tabla 2**). Sin embargo, al considerar las variaciones interanuales para todos los tratamientos en su conjunto del bosque aprovechado (RA, RDI, RD) (**Tabla 3**) se detectaron diferencias significativas entre años para las tres variables analizadas. Estas diferencias no siguen un patrón uniforme, donde pueden observarse años de alta (e.g. año 4 después de la cosecha) o de baja (e.g. año 9 después de la cosecha) producción de semillas.

Tabla 1: Estructura forestal (AD = altura dominante, AB = área basal, VTCC = volumen total con corteza, CC = cobertura de copas, IAFR = índice de área foliar relativo) para el bosque primario sin intervención (BP) y los bosques aprovechados mediante retención variable (RA=retención agregada, RDI= retención dispersa con influencia de RA, RD= retención dispersa sin influencia de RA).

Table 1: Forest structure (AD = dominant height, AB = basal area, VTCC = total over bark volume, CC = crown cover, IAFR = relative leaf area index) for primary forests (BP) and harvesting forests with variable retention (RA=aggregated retention, RDI= dispersed retention with influence of RA, RD= dispersed retention without influence of RA).

	AD (m)	AB (m ² .ha ⁻¹)	VTCC (m ³ .ha ⁻¹)	CC (%)	IAFR
BP	22,2a	75,4c	857,1c	88,2d	2,51b
RA	23,9b	45,2b	597,6b	80,3c	2,30b
RDI	24,0b	12,3a	194,0a	51,2b	0,62a
RD	24,0b	8,5a	138,8a	44,5a	0,39a
<i>F(p)</i>	3,70(0,016)	107,23(<0,001)	79,31(<0,001)	231,85(<0,001)	275,60(<0,001)

F= test de Fisher; (p) = probabilidad. Letras diferentes indican diferencias a p <0,005 mediante el test de Tukey.

Tabla 2: ANDEVAs para la producción de semillas (SEM), cantidad de plántulas instaladas (INS) y eficiencia de instalación (EF) para el bosque control (BP) y los bosques aprovechados mediante retención variable (RA=retención agregada, RDI= retención dispersa con influencia de RA, RD= retención dispersa sin influencia de RA).

Table 2: ANOVAs analysing seed production (SEM), seedling recruitment (INS) and efficiency of establishment (EF) for primary forests (BP) and harvesting forests with variable retention (RA=aggregated retention, RDI= dispersed retention with influence of RA, RD= dispersed retention without influence of RA).

	SEM (mill.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	INS (n.m ² .año ⁻¹)	EF (%)
BP	10,98c	28,0b	1,46
RA	8,29b	13,2a	1,68
RDI	2,62a	3,3a	1,66
RD	1,47a	1,9a	1,39
<i>F(p)</i>	41,06(<0,001)	14,89(<0,001)	0,08(0,971)

F= test de Fisher; (p) = probabilidad. Letras diferentes indican diferencias a p <0,005 mediante el test de Tukey.

Al considerar las variables de regeneración (INS y EF) respecto de la producción relativa de semillas (en BP se consideró 1 = 0-3, 2 = 3-12, y 3 = >12 millones.ha⁻¹.año⁻¹; en RA se consideró 1 = 0-3, 2 = 3-10, y 3 = >10 millones.ha⁻¹.año⁻¹; en RDI se consideró 1 = 0-0,8, 2 = 0,8-2,5, y 3 = >2,5 millones.ha⁻¹.año⁻¹; en RD se consideró 1 = 0-0,5, 2 = 0,5-1,5, y 3 = >1,5 millones.ha⁻¹.año⁻¹) se detectaron diferencias significativas para ambas variables en BP, aumentando la INS y la EF a medida que la lluvia de semillas aumenta.

Tabla 3: ANDEVAs para la producción de semillas (SEM), cantidad de plántulas instaladas (INS) y eficiencia de instalación (EF) para los tratamientos de la retención variable de acuerdo a los años después de la corta (3 a 10 años).

Table 3: ANOVAs analysing seed production (SEM), seedling recruitment (INS) and efficiency of establishment (EF) for the treatments in the variable retention harvesting after cuttings (3 to 10 years).

	SEM (mill.ha⁻¹.año⁻¹)	INS (n.m².año⁻¹)	EF (%)
3	4,01ab	8,3ab	2,12ab
4	7,20b	19,2b	3,96b
5	3,09a	11,5ab	3,53ab
6	3,01a	2,2a	1,62ab
7	4,74ab	0,7a	0,18a
8	5,10ab	0,7a	0,06a
9	2,34a	0,3a	0,08ab
10	2,57ab	0,1a	0,02a
<i>F(p)</i>	<i>3,14(0,003)</i>	<i>3,91(<0,001)</i>	<i>3,24(0,002)</i>

F= test de Fisher; (p) = probabilidad. Letras diferentes indican diferencias a p <0,005 mediante el test de Tukey.

Tabla 4: ANDEVAs para la producción relativa de semillas (SEM) (1=alta, 2=media, 3=baja producción) en la cantidad de plántulas instaladas (INS) y la eficiencia de instalación (EF) para el bosque primario sin intervención (BP) y los bosques aprovechados mediante retención variable (RA=retención agregada, RDI=retención dispersa con influencia de RA, RD=retención dispersa sin influencia de RA).

Table 4: ANOVAs analysing relative seed production (SEM) (1=high, 2=middle, 3=low production) in the seedling recruitment (INS) and efficiency of establishment (EF) for primary forests (BP) and harvesting forests with variable retention (RA=aggregated retention, RDI= dispersed retention with influence of RA, RD= dispersed retention without influence of RA).

	SEM	INS (n.m².año⁻¹)	EF (%)
BP	1	0,6a	0,46a
	2	11,1a	1,44ab
	3	51,4b	2,34b
	<i>F(p)</i>	<i>20,52(<0,001)</i>	<i>5,63(0,004)</i>
RA	1	1,7	0,97
	2	15,1	2,58
	3	19,4	0,94
	<i>F(p)</i>	<i>1,77(0,175)</i>	<i>1,11(0,333)</i>
RDI	1	1,4	3,09
	2	1,2	0,86
	3	7,0	1,15
	<i>F(p)</i>	<i>2,95(0,056)</i>	<i>0,94(0,393)</i>
RD	1	0,2a	1,27
	2	1,5ab	1,30
	3	3,7b	1,60
	<i>F(p)</i>	<i>3,20(0,044)</i>	<i>0,07(0,929)</i>

F= test de Fisher; (p) = probabilidad. Letras diferentes indican diferencias a p <0,005 mediante el test de Tukey.

Resultados y discusión

La cosecha modifica significativamente la estructura forestal, y la magnitud de estos cambios depende del tipo de cortas implementado. En el caso de la retención variable, la cosecha genera un gradiente de situaciones que van desde el centro de los agregados, donde la estructura es más similar al bosque primario, hasta los sectores más alejados dentro de la retención dispersa (Martínez Pastur et al. 2011b). Los agregados de retención mantienen algunas de las características del bosque primario (e.g. IAFR) pero la mayoría adopta valores intermedios con los bosques cosechados.

Asimismo, los sectores cosechados bajo influencia de los agregados presentan mayores valores en las variables de estructura que los bosques aprovechados sin influencia de los agregados. Los niveles de retención están en directa relación con las condiciones microclimáticas que se generan en los bosques bajo manejo (Chen et al., 1993), e.g. influyendo sobre la cantidad de agua de lluvia que llega al suelo, la radiación, el viento y la temperatura (Richter y Frangi, 1992). Estos factores son determinantes para el crecimiento y la supervivencia de la regeneración en los bosques de *Nothofagus pumilio* (Heinemann et al., 2000; Martínez Pastur et al., 2011b). Sin embargo, la influencia de la estructura forestal no es lineal, e.g. niveles medios de cobertura (45-55%) son los que generan las mejores condiciones para el crecimiento de las plántulas (Martínez Pastur et al., 2011a). Asimismo, bajos niveles de cobertura generan alta disponibilidad de luz, pero también pueden generar elevada humedad en el suelo debido a la mayor cantidad de lluvia que llega al mismo, afectando las condiciones fisiológicas y de biomasa en las plántulas de *N. pumilio* (Martínez Pastur et al., 2007).

La cantidad de semillas producidas y la cantidad de plántulas que se instalan se encuentra en relación directa con la cobertura del bosque (Parker et al., 2013), pero no la eficiencia de la instalación. Algunos trabajos sugieren que las nuevas condiciones de la cosecha generan una situación adversa para la instalación de la regeneración (Collado et al., 2008), mientras que otros trabajos sugieren que dichas condiciones son más favorables (Rosenfeld et al., 2006). Si bien no se detectaron diferencias significativas en la eficiencia de instalación, sí se obtuvieron menores valores en los extremos de cobertura (1,39% y 1,46% en RD y BP) que en sectores con coberturas intermedias. Esto podría estar indicando mejores condiciones para el establecimiento, al igual que mejores condiciones de crecimiento en altura y respuestas ecofisiológicas en las plantas ya establecidas (Martínez Pastur et al., 2007; 2011a). Nuestros resultados indican que la producción de semillas es variable con los años, observándose la ocurrencia de máximos extraordinarios (e.g. años 4 y 8 después de la cosecha). Esta producción cíclica de semillas ha sido citada para muchas especies forestales (Koenig y Knops, 2000) y especialmente en bosques de *Nothofagus* (Monks y Kelly, 2006) debido a que los niveles de variación entre años es especialmente alta (Kelly y Sork, 2002). En el caso de la instalación y la eficiencia de instalación, los valores decrecen con el paso de los años. Esta variación podría deberse a cambios en los factores bióticos o abióticos de los bosques con el paso de los años desde la cosecha. Entre los cambios bióticos podría estar influyendo la dinámica del sotobosque (e.g. Lencinas et al., 2011), el uso del bosque como sitio de alimentación por parte de grandes herbívoros (Soler et al., 2012), entre otros. Y entre los cambios abióticos pueden considerarse los eventos climáticos extraordinarios o cambios en el clima (e.g. Curran et al., 1999). Sin embargo, la cantidad y eficiencia de la instalación de las plántulas podría estar relacionada mayormente con la magnitud de la lluvia de semillas que con otros factores (e.g. producción de flores, forrajeo, variación espacial de los rodales, etc.) (Martínez Pastur et al. 2013).

Conclusiones

La cosecha forestal modifica la estructura del bosque, pero la retención variable a diferencia de otras propuestas silvícolas, genera una gran diversidad de tipos de bosque o condiciones de rodal que influyen sobre la producción de semillas y el establecimiento de plántulas de *Nothofaguspumilio*. La producción de semillas y la cantidad de plántulas instaladas está en relación a la cobertura de copas y a la lluvia de semillas, pero la eficiencia de instalación (número de plántulas en relación al número de semillas) no se ve afectada por la cosecha.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PICT2011-0180 (AN-PCyT) “Dinámica de la regeneración del bosque de *Nothofaguspumilio* bajo manejo forestal con retención variable: influencia de los microambientes, variables bióticas y abióticas”.

Bibliografía

- Blood, L.E., Titus, J.H., 2010. Microsite effects on forest regeneration in a bottomland swamp in western New York. *J. Torrey Bot. Soc.* 137, 88-102.
- Chen, J., Franklin, J.F., Spies, T.A., 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agric. For. Meteorol.* 63, 219-237.
- Collado, L., Farina, S., Jaras, F., Vargas, H., 2008. Monitoreo del estado de intervención y de la regeneración de *Nothofaguspumilio* en un plan de manejo forestal en el ecotono estepa-bosque de Tierra del Fuego, Argentina. *Bosque* 29(1), 85-90.
- Curran, L.M., Caniago, I., Paoli, G.D., Astianti, D., Kusneti, M., Leighton, M., Nirarita, C.E., Haerurnan, H., 1999. Impact of El Niño and logging on canopy tree recruitment. *Science* 286, 2184-2188.
- Gutiérrez, E., 1994. Els boscos de *Nothofagus* de la Terra del Foc com a paradigma de dinàmica successional del no-equilibri. *Treballs de la SCB.* 45, 93-121.
- Kelly, D., Sork, V.L., 2002. Mast seeding in perennial plants: why, how, where? *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 33, 427-47.
- Koenig, W.D., Knops, J.M., 2000. Patterns of annual seed production by northern hemisphere trees: a global perspective. *Am. Nat.* 155, 59-69.
- Heinemann, K., Kitzberger, Th., Veblen, Th., 2000. Influences of gap microheterogeneity on the regeneration of *Nothofaguspumilio* in a xeric old-growth forest of northwestern Patagonia, Argentina. *Can. J. For. Res.* 30(1), 25-31.
- Ivancich, H., MartínezPastur, G., Roig, F.A., Barrera, M., Pulido, F., 2012. Changes in height growth patterns in the upper tree-line forests of Tierra del Fuego in relation to climate change. *Bosque* 33(3), 267-270.
- Lencinas, M.V., Martínez Pastur, G., Gallo, E., Cellini, J.M., 2011. Alternative silvicultural practices with variable retention to improve understory plant diversity conservation in southern Patagonian forests. *For. Ecol. Manage.* 262, 1236-1250.
- MartínezPastur, G., Lencinas, M.V., Peri, P., Arena, M., 2007. Photosynthetic plasticity of *Nothofaguspumilio* seedlings to light intensity and soil moisture. *For. Ecol. Manage.* 243(2), 274-282.
- MartínezPastur, G., Peri, P.L., Cellini, J.M., Lencinas, M.V., Barrera, M., Ivancich, H., 2011a. Canopy structure analysis for estimating forest regeneration dynamics and growth in *Nothofaguspumilio* forests. *Ann. For. Sci.* 68, 587-594.
- MartínezPastur, G., Cellini, J.M., Lencinas, M.V., Barrera, M., Peri, P.L., 2011b. Environmental variables influencing regeneration of *Nothofaguspumilio* in a system with combined aggregated and dispersed retention. *For. Ecol. Manage.* 261, 178-186.
- MartínezPastur, G., Jordán, C., Lencinas, M.V., Soler Esteban, R., Ivancich, H., Kreps, G., 2012. Landscape and micro-environmental conditions influence over regeneration dynamics in old-growth *Nothofagusbetuloides* Southern Patagonian forests. *PlantBiosyst.* 146(1), 201-213.
- Martínez Pastur, G., Soler Esteban, R., Pulido, F., Lencinas, M.V., 2013. Variable retention harvesting influences biotic and abiotic drivers along the reproductive cycle in southern Patagonian forests. *For. Ecol. Manage.* 289(1), 106-114.
- Monks, A., Kelly, D., 2006. Testing the resource-matching hypothesis in the mast seeding tree *Nothofagustruncata* (Fagaceae). *Austral Ecol.* 31, 366-375.
- Parker, W.C., Noland, T., Morneau, A., 2013. Comparative mast seed production in unmanaged and shelterwood white pine (*Pinusstrobus* L.) stands in central Ontario. *New Forests* 44, 613-628.
- Rebertus, A.J., Veblen, T., 1993. Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *J. Veg. Sci.* 4(5), 641-654.
- Richter, L., Frangi, J., 1992. Bases ecológicas para el manejo del bosque de *Nothofaguspumilio* de Tierra del Fuego. *Rev. Fac. Agron. de La Plata* 68, 35-52.
- Rosenfeld, J.M., Navarro Cerrillo, R.M., Guzmán Alvarez, J.R., 2006. Regeneration of *Nothofaguspumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser forests after five years of seed tree cutting. *J. Environ. Manage.* 78(1), 44-51.
- Soler, R., Martínez Pastur, G., Lencinas, M.V., Borrelli, L., 2012. Differential forage use between native and domestic herbivores in southern Patagonian *Nothofagus* forests. *Agrofor. Syst.* 85(3), 397-409.