

# ¿Cómo modifica el uso silvopastoril la estructura y la dinámica poblacional de los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue?

M. M. Amoroso<sup>1,2</sup>, V. Chillo<sup>1,2</sup>, V. M. Alcalá<sup>3</sup>, C. A. Rezzano<sup>1</sup>, D. Arpigiani<sup>1,2</sup>, E. Villacide<sup>1</sup>

(1) Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD), Sede Andina Universidad Nacional de Río Negro, Onelli 3017, Río Negro, Argentina

(2) Centro Científico Tecnológico Patagonia Norte, Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Av. De los Pioneros 2350, Río Negro, Argentina

(3) Universidad del Aconcagua, Catamarca 147, Mendoza, Argentina

\*Autor de correspondencia: M.M. Amoroso [[mamoroso@unn.edu.ar](mailto:mamoroso@unn.edu.ar)].

> Recibido el 22 de septiembre de 2017 - Aceptado el 24 de diciembre de 2017

**Amoroso, M. M., Chillo, V., Alcalá, V. M., Rezzano, C. A., Arpigiani, D., Villacide, E. 2018. ¿Cómo modifica el uso silvopastoril la estructura y la dinámica poblacional de los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue? *Ecosistemas* 27(3):33-40. Doi.: 10.7818/ECOS.1502**

Los bosques mixtos de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) del noroeste de la Patagonia están influenciados por fuertes presiones antrópicas como el uso silvopastoril, y en los cuales no existe una planificación sostenible. Los efectos de esta actividad son diversos y pueden producir impactos negativos a través de cambios en la composición y la dinámica del ecosistema. El objetivo fue caracterizar la estructura y composición de la comunidad vegetal de dosel y del sotobosque en bosques mixtos de ciprés y coihue bajo diferentes intensidades de uso silvopastoril, para inferir el impacto de ésta actividad sobre la dinámica poblacional del bosque. Se trabajó en tres establecimientos ganaderos con bosque bajo dos niveles de uso silvopastoril en un diseño de muestreo apareado. La comunidad del sotobosque fue afectada por la intensidad de uso, mostrando una mayor heterogeneidad y complejidad de la vegetación en zonas con alta intensidad, y una modificación en la arquitectura de los renovales de las principales especies del dosel por la mayor severidad del ramoneo. Estos cambios en el sotobosque potencialmente pueden generar cambios en los patrones de desarrollo de los renovales. Sin embargo, la intensidad de uso no tuvo un efecto significativo sobre la estructura demográfica de las poblaciones para las principales especies forestales, indicando que los establecimientos estudiados y la intensidad de uso silvopastoril no afectarían de manera diferencial la dinámica de la comunidad vegetal de dosel forestal.

**Palabras clave:** clases diamétricas; intensidad; pastoreo; Patagonia; regeneración

**Amoroso, M. M., Chillo, V., Alcalá, V. M., Rezzano, C. A., Arpigiani, D., Villacide, E. 2018. How does the silvopastoral use modify the structure and population dynamics of mixed cypress and coihue forests? *Ecosistemas* 27(3):33-40. Doi.: 10.7818/ECOS.1502**

The mixed cypress (*Austrocedrus chilensis*) and coihue (*Nothofagus dombeyi*) forests of northwestern Patagonia are influenced by strong anthropic pressures such as silvopastoral, where sustainable management were not applied. The effects of this activity are diverse and can result in negative impacts through changes in the composition and dynamics of the plant community. The objective was to characterize the structure and composition of the canopy and understory vegetation of mixed cypress and coihue forests, under different intensities of silvopastoral use, to infer the impact of this activity on the population dynamics. We worked in three farms with livestock activity with forests under two use intensity levels (high and low) in a paired sampling design. The understory community was affected by the intensity of use, showing greater heterogeneity and complexity of the vegetation in areas of high intensity use and a modification in the architecture of the seedlings of the main canopy species due to the greater browsing severity. The changes found in the understory have the potential to cause changes in the developmental patterns of regeneration. However, the use intensity did not have a significant effect on the demographic structure of the populations of the major species indicating the studied farms and the different intensities of silvopastoral use that result, would not affect in a differential way the dynamics of the canopy community.

**Key words:** diameter classes; grazing; intensity; Patagonia; regeneration

## Introducción

Los bosques nativos generan muchos de los productos demandados por poblaciones locales. En estos sistemas los recursos maderero y leñero han sido los más importantes históricamente, y su extracción representa una de las acciones antrópicas de mayor im-

portancia en la pérdida mundial de biodiversidad (Sala et al. 2000). En los últimos años, la cría de ganado se ha sumado como una de las alternativas económicas de mayor importancia, y en consecuencia el manejo silvopastoril pasa a ser una práctica ventajosa para la producción de diferentes bienes y la conservación de la biodiversidad (Soler et al. 2013).

En el noroeste de la Patagonia el uso pastoril del bosque es una práctica histórica (Veblen et al. 2004; Cobelo y Cardozo 2011). En particular, los bosques mixtos de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) de la provincia de Río Negro (Argentina) dan lugar a la producción ganadera bovina con un manejo extensivo, con escasas pautas de manejo del rodeo y baja inversión en infraestructura. Este consiste en el uso de los bosques mixtos, mallines y pastizales en las zonas bajas durante los meses de otoño-invierno (invernada) y áreas de pastoreo en el piso altitudinal de los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) entre noviembre y mayo (veranadas) (Cobelo y Cardozo 2011). Acompañando el ingreso del rodeo en las zonas bajas, se realizan en general aperturas localizadas para crear zonas de pastaje y corrales. En los alrededores de estas aperturas se realiza a su vez una paulatina extracción de árboles muertos en pie y caídos para madera y leña con el objetivo de abrir el dosel y aumentar la disponibilidad de forraje para el ganado en estos bosques siempreverde. Esto determina un uso combinado del recurso forestal y ganadero del bosque, un uso silvopastoril. La dinámica de este uso silvopastoril genera por lo tanto, durante la invernada, una mayor presión de uso (pastoreo y extracción de madera) en las áreas bajas y los bosques inmediatamente aledaños (zona de alto uso silvopastoril), y un menor impacto en las zonas de tránsito dentro de estos mismos bosques cuando los animales son llevados a las zonas más altas para la veranada (zona de bajo uso silvopastoril). De esta manera se generan dos intensidades de uso silvopastoril contrastantes en un mismo tipo de bosque con similar estructura, composición, historia de uso reciente e historia de disturbios naturales.

Los efectos de la ganadería sobre estos bosques son diversos y pueden producir impactos negativos directos dados por el pisoteo y el ramoneo de la regeneración forestal (Vázquez 2002). Es común observar una disminución en la densidad y el crecimiento de renovales de las principales especies y un alto porcentaje de individuos jóvenes deformados por efecto del ramoneo (Veblen et al. 1989; Relva y Veblen 1998; Blackhall et al. 2008). Asimismo, se han encontrado cambios en la composición y estructura de la comunidad vegetal del sotobosque, registrándose una disminución en la proporción de especies forrajeras de mayor valor nutritivo, el incremento del estrato arbustivo espinoso y el aumento de la riqueza y de la densidad de especies resistentes al pastoreo (Vázquez 2002; Relva et al. 2009; Piazza et al. 2016; Arias Sepúlveda y Chillo 2017). Por otro lado, en zonas de mayor intensidad de uso silvopastoril la producción de forraje podría verse favorecida por la menor cobertura de dosel resultante de una mayor extracción de árboles (Chillo et al. 2017).

Es incipiente el conocimiento de los efectos del uso ganadero en la ecología de estos bosques mixtos en particular, por lo que diversos aspectos todavía no han sido abordados, e.g. varios estudios se centran en los cambios de la composición y/o densidad de renovales del sotobosque sin establecer una relación con los posibles efectos sobre la dinámica de regeneración del dosel. Asimismo, son pocos los trabajos que han abordado el estudio de estos sistemas analizando el gradiente generado por la intensidad de uso (Quinteros et al. 2011; Arias Sepúlveda y Chillo 2017) y se desconoce cómo diferentes intensidades de pastoreo pueden repercutir en la intensidad y la severidad del ramoneo y en la composición, estructura y diversidad de la comunidad del sotobosque. Por otro lado, no existen estudios de largo plazo que hayan evaluado la dinámica poblacional bajo condiciones de uso silvopastoril, ni estudios que hayan intentado realizar inferencias demográficas a través de los cambios estructurales de estos bosques como consecuencia del uso silvopastoril. Desde el punto de vista ecológico, el manejo sustentable del bosque mixto de ciprés y coihue a través del manejo de la regeneración aparece como una alternativa viable debido a que el establecimiento de individuos de estas especies es frecuente como resultado de diversos disturbios naturales (Amoroso et al. 2012). Para poder llegar a cumplir este objetivo resulta indispensable incrementar el conocimiento de la diversidad estructural y la dinámica poblacional de estos bosques para deter-

minar cuáles serían las condiciones adecuadas para el éxito en el establecimiento y el crecimiento inicial de los renovales de las especies arbóreas del dosel bajo diferentes intensidades de uso silvopastoril y, consecuentemente, los posibles aspectos de manejo a considerar. En particular nos preguntamos ¿cómo varía la estructura de la regeneración y composición de la vegetación del sotobosque y de la regeneración de dosel bajo diferentes intensidades de uso silvopastoril en bosques mixtos de ciprés y coihue del noroeste de la Patagonia? El objetivo de este trabajo fue estudiar la estructura y composición actual de los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue bajo diferentes intensidades de uso silvopastoril, poniendo énfasis en los cambios demográficos de la comunidad de dosel y la estructura de la comunidad vegetal del sotobosque, de modo de inferir acerca de la dinámica poblacional de estos bosques bajo diferentes alternativas de manejo y uso.

## Materiales y métodos

### Área de estudio y muestreo

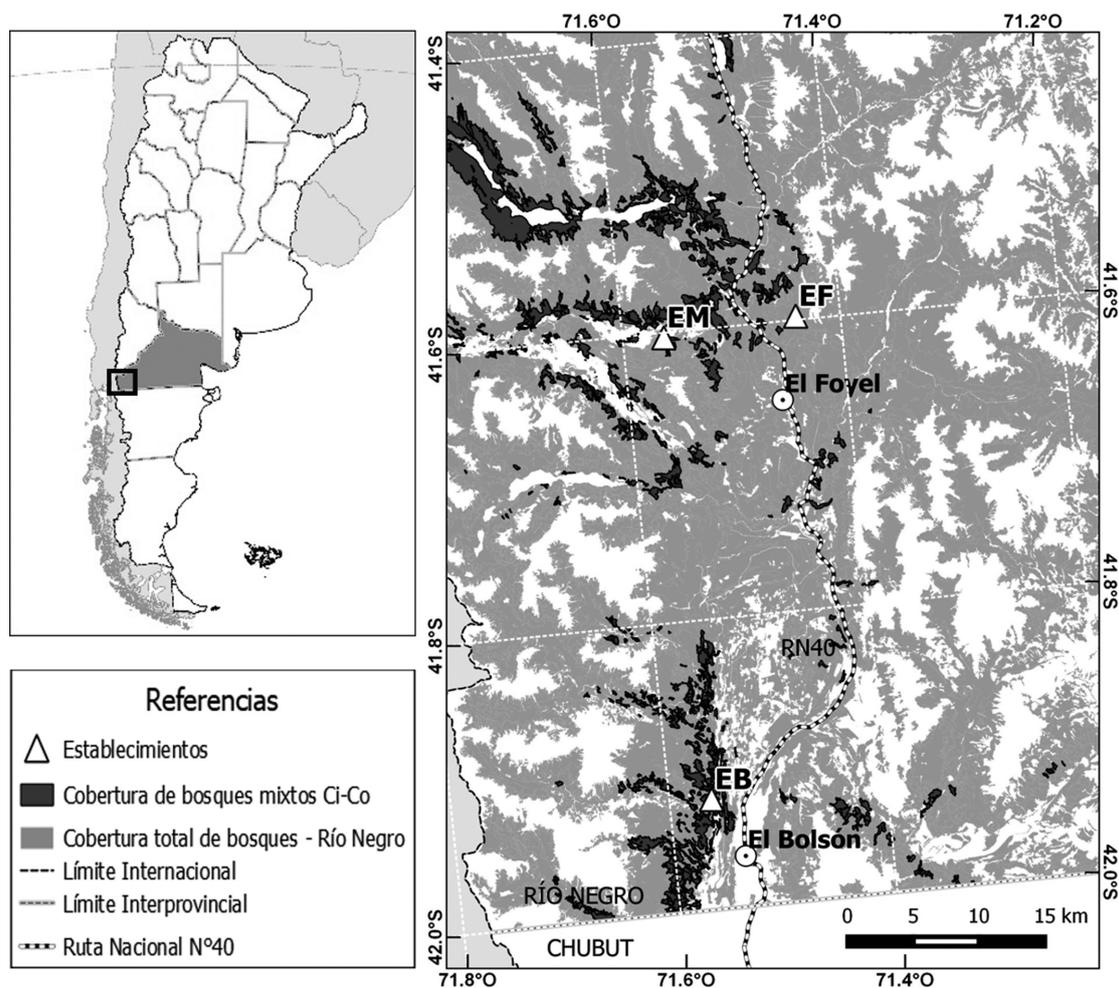
El área de estudio se encuentra en la región cordillerana de la provincia de Río Negro, Argentina (Fig. 1). Los bosques son mixtos de ciprés de la cordillera y coihue y se caracterizan por presentar un dosel cerrado (>90%), siempre verde y con árboles que muchas veces alcanzan los 30 m de altura. El dosel es por lo general codominado por ambas especies, dependiendo la composición relativa de ambas a las condiciones locales (exposición, pendiente, proximidad a cursos de agua).

Se trabajó en tres establecimientos ganadero-forestales en las localidades de El Bolsón (EB), El Foyel (EF) y El Manso (EM) (Fig. 1), con un diseño de muestreo apareado. En cada establecimiento, y para cada intensidad de uso (alta y baja), se instalaron tres parcelas de 10 x 10 m. En cada parcela se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y se registró la especie de los individuos arbóreos con una altura mayor a 1.3 m. Dentro de cada parcela se instalaron 3 sub-parcelas de 1 x 1 m para la medición de la regeneración, donde se cuantificó la presencia de renovales de las especies arbóreas del dosel (*A. chilensis*, *N. dombeyi*, *Aristotelia chilensis*, *Schinus patagonicus*, *Lomatia hirsuta*) y a cada renewal se le midió el diámetro a la base (DAB), la altura total, y el grado de ramoneo en juveniles (altura menor a 1.3 m). El grado de ramoneo se cuantificó utilizando la metodología de Relva y Veblen (1998), que propone una escala subjetiva de cuatro clases: 0) sin evidencias de ramoneo; 1) ligeramente ramoneado (una o dos ramas); 2) moderadamente ramoneado (más de dos ramas); 3) fuertemente ramoneado (la mayoría de las ramas); el ramoneo se identificó como la pérdida de biomasa aérea producida por cortes o remoción y se lo diferenció de la muerte de biomasa sin presencia de corte o remoción producidos por heladas o desecamiento (Martínez Pastur et al. 2016, 2017a).

Por otra parte, se cuantificó la estructura y composición de la comunidad vegetal del sotobosque a través del método de líneas de intercepción (Mueller-Dombois y Heinz Ellenberg 1974). Para ello, se establecieron en cada parcela tres transectas de 30 m con estaciones de medición cada 30 cm. En cada estación se registró la especie que coincidía con cada toque por estrato (cada 0.25 cm) sobre una vara de 1.5 m de alto, así como la forma de vida de Raunkiaer (1934).

### Análisis

El grado de ramoneo de las principales especies arbóreas dentro del estrato del sotobosque fue utilizado para evaluar la incidencia y severidad del pastoreo bajo las diferentes intensidades de uso a través de tablas de contingencia y la prueba estadística Chi-cuadrado. Para cada establecimiento e intensidad de uso se calcularon promedios de la densidad, DAB, altura y relación diámetro-altura de la regeneración dentro del estrato del sotobosque. Para los árboles del dosel superior se calculó la densidad, DAP y área basal por hectárea. La prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney fue utilizada para evaluar las diferencias entre los promedios



**Figura 1.** Localización de los establecimientos donde se realizaron los muestreos, noroeste de la provincia de Río Negro, Argentina. Los establecimientos se representan por sus acrónimos (EM: El Manso; EF: El Foyel; EB= El Bolsón). Elaboración propia en base a información pública del Instituto Geográfico Nacional (IGN 2017) y la actualización del inventario de bosques nativos de la provincia de Río Negro (CIEFAP 2016), utilizando el software libre QGIS v2.12. Para cobertura total de bosques se representaron todas las categorías de Tierras Forestales (TF) y Otras Formaciones Leñosas (OFL), mientras que para Bosques Mixtos Ci-Co (Ciprés- Coihue) se representaron los niveles de leyenda Ci-Co, Co-Ci y mCi-Co.

**Figure 1.** Location of samplings establishments, northwest Río Negro province, Argentina. Establishments are represented by their acronyms (EM: El Manso, EF: El Foyel, EB = El Bolsón). Own elaboration based on public information from the National Geographic Institute (IGN 2017) and the updated inventory of native forests of the province of Río Negro (CIEFAP 2016), using the free software QGIS v2.12. For total forest coverage, all categories of Forest Land (TF) and Other Woody Formations (OFL) were represented, while for Ci-Co Mixed Forests (Ciprés-Coihue) we represented the legend levels of Ci-Co, Co-Ci and mCi-Co.

de cada tratamiento. La heterogeneidad (diversidad de formas de vida de Raunkiaer) y la complejidad (diversidad de estratos verticales) estructural de la vegetación del sotobosque fue calculada mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener:

$$\sum_{i=1}^S pi \ln(pi)$$

Donde  $pi$  es la frecuencia relativa de cada  $i$  forma de vida para el cálculo de heterogeneidad, o de cada  $i$  estrato vertical para el cálculo de complejidad estructural; y  $S$  el número total de formas de vida o estratos verticales. Así, para cada establecimiento e intensidad de uso se obtuvieron tres valores de heterogeneidad y de complejidad. Estos valores fueron comparados entre intensidades de uso mediante la prueba  $t$  modificada para índices de diversidad (Zar, 1999).

La estructura demográfica de cada establecimiento fue evaluada a través de un análisis de distribución de clases diamétricas (Lykke 1998; Ouédraogo et al. 2015). Para ello, se estudió en las dos especies principales del dosel (ciprés y coihue), y para los grupos de "árboles" y "arbustos" (agrupaciones de especies por crecimiento y arquitectura) donde se armaron clases diamétricas de 5 cm y se ajustaron regresiones lineales al logaritmo del número de individuos

por clase diamétrica. Posteriormente, se compararon el valor de ajuste ( $R^2$ ) y la pendiente de cada función (nivel de significancia 0.05) entre intensidades de uso. Pendientes más negativas indican una mayor presencia de clases diamétricas menores (regeneración) por sobre las clases mayores (adultos). Para evaluar el potencial de regeneración (Lozada et al. 2007; Ouédraogo et al. 2015) se calculó la proporción de dos clases de individuos juveniles (Juvenil 1: altura <0.1 m, Juvenil 2: altura 0.1-1.3 m) y de adultos (>5.0 m) en cada parcela se compararon entre intensidades de uso a través de un análisis de la varianza (ANOVA); se excluyeron los individuos de altura 1.3-5.0 m para enfocar el análisis en los extremos de las clases de individuos de la población (juveniles versus adultos).

## Resultados

### Estructura del sotobosque

El grado de ramoneo en el sotobosque varió en relación a la intensidad de uso silvopastoril (Tabla 1). La severidad del ramoneo fue mayor en las áreas de alto uso silvopastoril, donde las proporciones de grado de ramoneo 2 y 3 fueron significativamente mayores, y la de grado 1 fue significativamente menor en las áreas de

**Tabla 1.** Incidencia y severidad del ramoneo en el sotobosque de bosques mixtos de ciprés *Austrocedrus chilensis* y coihue *Nothofagus dombeyi* para dos niveles de uso silvopastoril en tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). Frecuencia esperada entre paréntesis. Números en negrita indican valores mayores a los esperados.

**Table 1.** Browsing incidence and severity of in the understory of mixed cypress (*Austrocedrus chilensis*) and coihue (*Nothofagus dombeyi*) forests for two levels of silvopastoral use in three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). Expected frequency are in parentheses. Numbers in bold indicate values higher than expected.

		Alto uso silvopastoril	Bajo uso silvopastoril
EM	C/ ramoneo	43 (53)	<b>167 (157)</b>
	S/ ramoneo	<b>14 (4)</b>	0 (10)
EB	C/ ramoneo	36 (118)	<b>226 (144)</b>
	S/ ramoneo	<b>170 (88)</b>	24 (106)
EF	C/ ramoneo	<b>127 (100)</b>	<b>132 (108)</b>
	S/ ramoneo	21 (48)	6 (30)

alto uso en comparación a las de bajo uso silvopastoril (EM:  $X^2 = 164.5$ , gl.= 7,  $p < 0.001$ ; EB:  $X^2 = 2119.5$ , gl.= 7,  $p < 0.001$ ; EF:  $X^2 = 33.0$  gl.= 7,  $p < 0.001$ ). Sin embargo, la cantidad de individuos sin ramoneo en áreas de alto uso, así como la cantidad de individuos con ramoneo en áreas de bajo uso, fue mayor a la esperada para dos de los tres establecimientos estudiados (Tabla 1, EM:  $X^2 = 46.8$ , gl.= 3,  $p < 0.001$ ; EB:  $X^2 = 245.2$ , gl.= 3,  $p < 0.001$ ; EF:  $X^2 = 690.5$ , gl.= 3,  $p < 0.001$ ).

La estructura del sotobosque exhibió cambios dispares a diferentes niveles de intensidad de uso en los tres establecimientos estudiados (Tabla 2). Por un lado, la mayor intensidad de uso no resultó en cambios en la densidad de renovales, con la excepción de EF donde aumentó significativamente. Por otro lado, si bien se observó que el diámetro a la base promedio fue mayor en condiciones de alto uso, las diferencias fueron sólo significativas en EB. La altura promedio, de manera similar, fue mayor en condiciones de bajo uso pero siendo las diferencias significativas solo en EF. La relación altura-diámetro arrojó resultados disímiles siendo inversamente proporcional para un establecimiento y directamente proporcional para los otros.

El índice de complejidad estructural del sotobosque (diversidad de estratos verticales) fue significativamente mayor bajo condiciones de alta intensidad de uso en dos de los tres establecimientos. El índice de heterogeneidad estructural (diversidad de formas de vida), por su parte, fue siempre significativamente mayor en sitios de alta intensidad de uso silvopastoril (Tabla 3).

### Estructura y dinámica del dosel superior

La mayor intensidad de uso silvopastoril resultó en cambios significativos en la estructura del dosel superior (Tabla 4). Por un lado, se observó una disminución de la densidad total al aumentar la intensidad de uso silvopastoril, siendo estas diferencias significativas en dos de los tres establecimientos estudiados. De manera similar,

la mayor intensidad de uso resultó en un aumento del DAP, aunque estas diferencias fueron sólo significativas en dos de los tres establecimientos estudiados. Asimismo, el área basal por hectárea no exhibió una clara tendencia en relación a la intensidad de uso.

El análisis de clases diamétricas arrojó pendientes negativas para las principales especies forestales (ciprés y coihue), así como para el resto de las especies arbóreas y arbustivas para todos los establecimientos e intensidades de uso (Tabla 5). Sin embargo, las pendientes solo fueron significativamente mayores bajo condiciones de alta intensidad de uso silvopastoril para el ciprés, el coihue y el conjunto de especies arbóreas en uno de los establecimientos; donde una pendiente más negativa implica mayor presencia de renovales en relación al número de adultos.

Finalmente, el análisis del potencial de regeneración (proporción de individuos en diferentes estadios en relación al total de la población) arrojó escasas diferencias significativas entre los diferentes estadios de desarrollo para las diferentes intensidades de uso (Tabla 6). Se destaca la tendencia de la mayor proporción de individuos adultos de las especies arbóreas del dosel en baja intensidad de uso.

## Discusión

El conocimiento de la diversidad estructural y la dinámica poblacional de los bosques resulta indispensable para determinar las condiciones que garantizan el establecimiento y el crecimiento de la regeneración y así asegurar la perpetuidad del recurso (Oliver y Larson 1996). Para el caso particular de los bosques con uso silvopastoril, el estudio de la dinámica y funcionamiento forestal otorga un marco para entender los efectos, y consecuentemente, los posibles aspectos de manejo a considerar (Ghazoul et al. 2015). Del análisis de la estructura de la regeneración se desprende que no hay cambios significativos en la densidad y crecimiento de los renovales de las principales especies arbóreas del dosel como resultado de diferentes intensidades de uso silvopastoril. Es decir, la mayor intensidad de uso no resulta en una reducción de la densidad y el crecimiento de la regeneración. Estos resultados contrastan con estudios previos donde se ha enfatizado el impacto negativo que la herbivoría tiene sobre la regeneración de las principales especies arbóreas (Veblen et al. 1989; Relva y Veblen 1998; Blackhall et al. 2008), especialmente en la tasa de crecimiento en altura. Aún más, uno de los tres establecimientos aquí estudiados presentó una mayor densidad de renovales bajo alta intensidad de uso. Este resultado diferencial del tercer establecimiento podría explicarse parcialmente por algunas diferencias en las condiciones de sitio de las áreas de alta intensidad de uso (menor pendiente, exposición sur) respecto de aquellas de baja intensidad, que podrían derivar en una mayor disponibilidad de humedad beneficiosa para el establecimiento y crecimiento de la regeneración.

La estructura y la composición de la comunidad vegetal del sotobosque en su conjunto se vio afectada por el aumento en la intensidad de uso silvopastoril. En este sentido, el índice de complejidad estructural describe la diversidad de estratos del sotobosque y ésta fue siempre mayor en zonas de alta intensidad de

**Tabla 2.** Estructura del sotobosque de bosques mixtos de ciprés *Austrocedrus chilensis* y coihue *Nothofagus dombeyi* para dos niveles de uso silvopastoril en tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). En negrita se indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Table 2.** Understory structure of mixed cypress (*Austrocedrus chilensis*) and coihue (*Nothofagus dombeyi*) forests for two levels of silvopastoral use in three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). Significant differences are indicated in bold ( $p < 0.05$ ).

	Alto uso silvopastoril				Bajo uso silvopastoril			
	Densidad (ind/ha)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Altura / Diámetro (m/cm)	Densidad (ind/ha)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Altura / Diámetro (m/cm)
EM	12 222	5.2	29.2	<b>7.1</b>	11 443	4.4	36.7	<b>14.1</b>
EB	25 553	<b>7.1</b>	9.2	5.0	30 330	<b>5.7</b>	9.2	2.7
EF	<b>30 363</b>	5.8	<b>10.1</b>	<b>15.1</b>	<b>16 998</b>	4.3	<b>37.1</b>	<b>1.3</b>

**Tabla 3.** Complejidad y heterogeneidad del sotobosque: comparación de índices de diversidad entre intensidades de uso silvopastoril (Alto y Bajo) para tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel) mediante prueba *t* modificada (en negrita se marcan las diferencias significativas). Complejidad: diversidad de estratos verticales (separados cada 25 cm). Heterogeneidad: diversidad de formas de vida de Raunkiaer a lo largo de transectos de 30 m.

**Table 3.** Understory complexity and heterogeneity: comparison of diversity indexes between silvopastoral intensities (High and Low) by means of a modified *t* test (in bold, the significant differences) for three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). Complexity: diversity of vertical layers (separated every 25 cm). Heterogeneity: diversity of Raunkiaer life forms along transects of 30 m.

	Complejidad		Heterogeneidad	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo
<b>EM</b>	0.44	0.53	<b>0.52</b>	<b>0.23</b>
<b>EB</b>	<b>0.64</b>	<b>0.42</b>	<b>0.49</b>	<b>0.19</b>
<b>EF</b>	<b>0.58</b>	<b>0.31</b>	<b>0.50</b>	<b>0.25</b>

uso. De similar forma, se encontró una mayor diversidad espacial en las formas de vida de Raunkiaer (índice de heterogeneidad) en los sitios con alta intensidad de uso. Estos resultados indican que el aumento en la intensidad de uso modifica la estructura del sotobosque hacia una comunidad más heterogénea en su tolerancia al disturbio y estructuralmente más compleja. Para comprender estos cambios es importante tener en cuenta que la mayor intensidad de uso no significa solo directamente una mayor presión de pastoreo sobre la comunidad del sotobosque sino también, indirectamente, mayor disponibilidad lumínica dada por la mayor apertura del dosel (Arias Sepúlveda y Chillo 2017). La consideración de las formas de vida resulta un buen indicador frente a estos cambios ambientales e intensidades de disturbio (pastoreo), ya que agrupa a las plantas en función de la ubicación de su yema de renuevo y, por ende, de la capacidad de respuesta o adaptación a cambios ambientales y disturbios. La mayor complejidad estructural y heterogeneidad de formas de vida en alta intensidad de uso estaría dada por un aumento en la abundancia de especies terófitas y hemicriptófitas (hierbas anuales, pastos con estolones, etc.) cuyas estrategias de crecimiento y desarrollo les confieren mayor tolerancia a la herbivoría en detrimento de su capacidad de competencia inter-específica (Diaz et al. 1992; Karlin et al. 2016). Bertness y Callaway (1994) lo explican a través de la hipótesis del gradiente de estrés, en donde la importancia de la competencia por recursos disminuye a medida que aumenta la presión por herbívoros y/o el estrés ambiental. En ausencia de disturbios de este tipo, y para estados de desarrollo equivalentes, este tipo de bosques están caracterizados por una mayor proporción de fanerófitas, caméfitas (árboles y arbustos) y geófitas adaptadas a sobrevivir en el invierno. Es importante considerar también las consecuencias que estos cambios en la estructura del sotobosque pueden tener sobre la dinámica de la comunidad vegetal, e.g. el cambio en composición y la abundancia relativa de especies del sotobosque puede afectar procesos clave

como las interacciones de facilitación y la polinización (Vázquez 2002) y la tasa de descomposición (Arias Sepúlveda y Chillo 2017). Muchas veces estos cambios en la composición de la comunidad también afectan otros procesos como la capacidad de resistir las invasiones biológicas, y el aumento en la riqueza de especies del sotobosque puede estar dado por el ingreso de especies exóticas a los ambientes de bosque (e.g. pertenecientes a ambientes de mallín) y exóticas a la región (e.g. invasiones biológicas dispersadas por el ganado), con diferentes formas de vida y mayor resistencia al pastoreo (Lencinas et al. 2011; Piazza et al. 2016; Martínez Pastur et al. 2017b).

En relación a la estructura de dosel, analizar el potencial de regeneración se justifica ya que expresa la proporción de individuos en diferentes estadios sobre el total de la población. En este trabajo se observó una tendencia a la disminución de la proporción de individuos adultos respecto de las clases más pequeñas en condiciones de alta intensidad de uso silvopastoril, aunque ésta no fue significativa. De haber sido significativa, podría representar un cambio en el mediano plazo en el gradual reemplazo de los individuos más longevos y dominantes del dosel, ya que la regeneración presente en sitios de alto uso no llegaría a mantener la estructura de dosel a pesar de la mayor diversidad estructural del sotobosque. Sin embargo, encontramos que, ya sea considerando las principales especies del dosel (ciprés y coihue) por separado o las agrupaciones de especies por su arquitectura y crecimiento (árboles y arbustos), no hay cambios significativos en el potencial de regeneración del bosque mixto bajo diferentes intensidades de uso. Estos resultados confirman indirectamente la ausencia de diferencias significativas en la densidad de renovales e individuos adultos del dosel en relación a la intensidad de uso. En otras palabras, el aumento en la intensidad de uso silvopastoril no estaría afectando la futura estructura del dosel.

La evaluación de la dinámica de la regeneración a partir de un análisis de clases diamétricas determinó que las pendientes fueron negativas para todos los establecimientos, ya sea incluyendo especies individuales (ciprés y coihue) o el conjunto de especies por tipo de crecimiento (árbol y arbusto). Una pendiente más negativa implica mayor presencia de regeneración, y por ende, de juveniles que garantizan la renovación futura de los individuos más viejos del dosel. Si bien las pendientes fueron negativas para todos los casos, se encontró que en dos de los tres campos analizados no hubo diferencia en la pendiente entre las diferentes intensidades de uso silvopastoril, mientras que en El Manso (EM) encontramos diferencias significativas donde un aumento en la intensidad de uso silvopastoril estaría resultando en una reducción en la abundancia de la regeneración (pendiente más positiva que en baja intensidad de uso silvopastoril). Mientras que para los dos primeros establecimientos esto estaría indicando que la intensificación en la producción no estaría afectando la estructura demográfica del componente arbóreo del bosque ni de las especies dominantes del dosel, es decir, no se comprometería el recurso a futuro, en el caso restante esto no se cumpliría. Sin embargo, la pendiente menos negativa en EM en zonas de alta intensidad de uso respecto a las de baja, no sería producto de una reducción en la abundancia de renovales, sino de la significativamente menor densidad de individuos adultos (34% de la densidad en baja intensidad uso) como

**Tabla 4.** Estructura del dosel superior de bosques mixtos de *A ciprés* *Austrocedrus chilensis* y *coihue* *Nothofagus dombeyi* para dos niveles de uso silvopastoril en tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). En negrita se indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Table 4.** Upper canopy structure of mixed cypress (*Austrocedrus chilensis*) and coihue (*Nothofagus dombeyi*) forests for two levels of silvopastoral use in three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel). Significant differences are indicated in bold ( $p < 0.05$ ).

	Alto uso silvopastoril			Bajo uso silvopastoril		
	Densidad (ind/ha)	Diámetro (cm)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Densidad (ind/ha)	Diámetro (cm)	AB (m <sup>2</sup> /ha)
<b>EM</b>	<b>190</b>	<b>9.5</b>	<b>17.5</b>	<b>556</b>	<b>7.1</b>	<b>28.9</b>
<b>EB</b>	<b>686</b>	<b>4.5</b>	16.5	<b>833</b>	<b>2.9</b>	11.9
<b>EF</b>	536	<b>9.2</b>	<b>39.1</b>	463	<b>7.6</b>	<b>25.4</b>

**Tabla 5.** Análisis de clases de tamaños para dos niveles de uso silvopastoril en tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel): Resultados de regresiones lineales del logaritmo de la abundancia de individuos en función de clases diamétricas (de 5 cm, consecutivas). En negrita se muestran los sitios con diferencias entre intensidades de uso silvopastoril. R<sup>2</sup>: valor de ajuste de la función a los datos. Pendiente: valor de la pendiente de la curva. p: valor de significancia de la regresión.

**Table 5.** Analysis of size classes for two levels of silvopastoral use in three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel): Results of linear regressions of the logarithm of the abundance of individuals according to diameter classes (5 cm, consecutive). Significant differences between intensities of silvopastoral use for each site are indicated in bold. R<sup>2</sup>: adjustment value of the function. Slope: slope value of the curve. p: significance value of the regression.

		Alto uso silvopastoril			Bajo uso silvopastoril		
		R <sup>2</sup>	pendiente	p	R <sup>2</sup>	pendiente	p
EM	Ciprés	<b>0.16</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.050</b>	<b>0.56</b>	<b>-0.24</b>	<b>0.001</b>
	Coihue	<b>0.33</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.020</b>	<b>0.26</b>	<b>-0.13</b>	<b>0.040</b>
	Árbol	<b>0.51</b>	<b>-0.14</b>	<b>0.003</b>	<b>0.58</b>	<b>-0.25</b>	<b>0.001</b>
	Arbusto	0.31	-0.13	0.02	0.38	-0.13	0.010
EB	Ciprés	0.46	-0.22	0.004	0.47	-0.23	0.004
	Coihue	0.29	-0.14	0.027	0.19	-0.14	0.060
	Árbol	0.67	-0.28	<0.001	0.48	-0.26	0.004
	Arbusto	0.15	-0.06	0.090	0.30	-0.12	0.030
EF	Ciprés	0.74	-0.14	<0.001	0.49	-0.15	0.003
	Coihue	0.40	-0.16	0.009	0.21	-0.11	0.050
	Árbol	0.89	-0.25	<0.001	0.80	-0.24	<0.001
	Arbusto	0.25	-0.15	0.040	0.29	-0.16	0.030

**Tabla 6.** Potencial de regeneración en tres establecimientos (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel): resultados de ANOVA comparando la proporción de individuos en distintos estadios entre usos silvopastoriles. Se muestra el uso que presentó mayor proporción y el valor de significancia (p). Juvenil 1: hasta 0.1m. Juvenil 2: 0.1 a 1.5m. Adulto: más de 5m. A: mayor proporción en alta intensidad de uso. B: mayor proporción en baja intensidad de uso.

**Table 6.** Regeneration potential in three establishments (EM: El Manso, EB: El Bolsón, EF: El Foyel): ANOVA results comparing the proportion of individuals in different stages between silvopastoral uses. The use that presented the highest proportion and the highest significance value (p) is shown. Juvenile 1: up to 0.1m. Juvenile 2: 0.1 to 1.5m. Adult: more than 5m. A: higher proportion in high intensity of use. B: higher proportion in low intensity of use.

		Juvenil 1		Juvenil 2		Adulto	
		Uso con mayor proporción	p	Uso con mayor proporción	p	Uso con mayor proporción	p
EM	Ciprés	A	0.15	=	0.48	B	0.13
	Coihue	=	0.37	=	0.83	=	0.46
	Árbol	=	0.42	=	0.80	<b>B</b>	<b>0.05</b>
	Arbusto			B	0.28	=	0.97
EB	Ciprés		0.89	A	0.05	B	0.21
	Coihue	A	0.09	B	0.35	=	0.62
	Árbol	A	0.36	=	0.45	B	0.32
	Arbusto	<b>A</b>	<b>0.04</b>	<b>B</b>	<b>0.04</b>	=	0.81
EF	Ciprés	=	0.68	B	0.21	=	0.58
	Coihue	=	0.49	A	0.29	B	0.27
	Árbol	=	0.37	=	0.98	=	0.85
	Arbusto						1

consecuencia de una mayor presión histórica sobre el recurso forestal paralelamente al uso pastoril e intensificada en los últimos años por la corta de un mayor número de individuos muertos de *A. chilensis*. Es importante recalcar que los análisis aquí realizados para el potencial de regeneración y las clases diamétricas (con la excepción de ciprés y coihue individualmente), se focalizaron en grupos sin tener en cuenta las proporciones que las diferentes especies ocupan en cada una de las clases. Es decir, nuestros resultados no dan cuenta de cambios para las especies dominantes del dosel en su conjunto y para los grupos (arbustos y árboles), pero podría estar variando la proporción de las especies de menor abundancia pudiendo esto representar un cambio en la dominancia del bosque, un aspecto interesante a seguir trabajando.

Por último, existen cambios en la arquitectura de los renovales dados por el uso aunque estos no presentan un claro y único patrón. Resulta interesante resaltar que, a pesar de esto, el número de individuos ramoneados fue mayor a lo esperado en los sitios con baja intensidad de uso, y el número de individuos sin ramonear fue mayor a lo esperado en los sitios con mayor intensidad de uso en dos de los tres establecimientos estudiados. Es decir, la intensidad de uso silvopastoril no generaría una mayor intensidad de ramoneo (número de individuos ramoneados) pero sí una mayor severidad (grado de afectación del ramoneo). Esto podría ser consecuencia del reiterado ramoneo sobre los mismos individuos, dado que son más accesibles por estar cercanos a las áreas de mayor tránsito del ganado y/o porque son individuos de mayor palatabilidad, también podría ser explicado por un aumento en la proporción de renovales de especies más palatables y/o rebrotantes que generan mayor biomasa desde la base del tallo. Estos resultados son por demás interesantes ya que contrastan con trabajos previos donde se reporta un aumento en los individuos deformados por efecto del ramoneo bajo condiciones de uso pastoril (Veblen et al. 1992; Relva y Veblen 1998).

## Conclusiones

Este estudio representa el primero en analizar la estructura de la comunidad vegetal del sotobosque y los cambios demográficos de la comunidad forestal de los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue bajo uso silvopastoril en Patagonia norte discriminando las diferentes intensidades que de este se desprenden. La complejidad y la heterogeneidad de los diferentes estratos del sotobosque fueron mayores en los sitios con alta intensidad de uso, sin embargo, el aumento en la intensidad de uso en las áreas más bajas durante los meses de otoño-invierno no determina cambios en la densidad y crecimiento de renovales de las especies arbóreas. A pesar de que la estructura del dosel superior cambia con el aumento de intensidad, el potencial de regeneración y la dinámica de la comunidad vegetal de dosel forestal no se estarían viendo afectadas. Así, el pastoreo no estaría representando por el momento un compromiso en la estructura y regeneración del sotobosque, garantizándose el eventual reemplazo de las principales especies arbóreas. Surge entonces el interés por continuar a futuro con estudios integrales de largo plazo que abarquen las diferentes fases del ciclo de vida de las especies dominantes de los bosques mixtos ciprés-coihue y permita indagar en los mecanismos detrás de los efectos más importantes, así como las probabilidades de regeneración y las tendencias de las tasas de crecimiento poblacionales en términos más dinámicos.

## Agradecimientos

A Carolina Trigo y Marcos Ancalao por su colaboración en la instalación y medición de las parcelas. A Roberto Criado, Oscar y Lisandro Lanfré y Estancia el Foyel por permitirnos trabajar en sus establecimientos. A la Fundación Bunge y Born por financiar una beca posdoctoral para V. Chillo. A la Universidad Nacional de Río Negro (PI 40-B-311) y la Rufford Small Grants Foundation por el financiamiento.

## Referencias

- Amoroso, M.M., Suárez, M.L., Daniels, L.D. 2012. *Nothofagus dombeyi* regeneration in declining *Austrocedrus chilensis* forests: Effects of overstory mortality and climatic events. *Dendrochronologia* 30: 105-112.
- Arias Sepúlveda, J.E., Chillo, V. 2017. Cambios en la diversidad funcional del sotobosque y la tasa de descomposición frente a diferentes intensidades de uso silvopastoril en el noroeste de la Patagonia, Argentina. *Ecología Austral* 27(1): 29-38.
- Bertness M. D., Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 191-193.
- Blackhall, M., Raffaele, E., Veblen, T.T. 2008. Cattle affect early post-fire regeneration in a *Nothofagus dombeyi*-*Austrocedrus chilensis* mixed forest in northern Patagonia, Argentina. *Biological Conservation* 141(9): 2251-2261.
- Chillo, V., Amoroso, M.M., Rezzano, C.A. 2017. La diversidad es más importante que la intensidad de uso del suelo para la provisión de servicios ecosistémicos en bosques bajo manejo silvopastoril en el noroeste de la Patagonia Argentina. *Ecosistemas* 27(3): 75-86. Doi.: 10.7818/ECOS.1486.
- CIEFAP (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico), MAyDS. 2016. *Actualización de la clasificación de tipos forestales y cobertura del suelo de la Región Bosque Andino Patagónico. Informe Final*. CIEFAP, Argentina.
- Cobelo, C., Cardozo, A. 2011. *Tipología de productores ganaderos en áreas boscosas. Informe Final*. INTA AER El Bolsón, Argentina.
- Dezzotti, A., Sancholuz, L. 1991. Los bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: ubicación, estructura y crecimiento. *Bosque* 12(2): 43-52.
- Díaz, S., Acosta, A., Cabido, M. 1992. Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. *Journal of Vegetation Science* 3: 689-696.
- Ghazoul, J., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J., King, L.A. 2015. Conceptualizing forest degradation. *Trends in ecology & evolution* 30(10): 622-632.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional) 2017. *SIG 250*. Instituto Geográfico Nacional, Argentina. <http://www.ign.gob.ar/sig250>
- Karlin, M., Arnulphi, S., Alday, A., Bernasconi, J., Accietto, R. 2016. Post-fire revegetation in *Acacia* spp. shrublands in Sierras of Córdoba, central Argentina. *Oecologia Australis* 20 (4): 464-476.
- Lencinas, M.V., Pastur, G.M., Gallo, E., Cellini, J.M. 2011. Alternative silvicultural practices with variable retention to improve understory plant diversity conservation in southern Patagonian forests. *Forest Ecology and Management* 262(7): 1236-1250.
- Lozada, T., de Koning, G.H.J., Marché, R., Klein, A.-M., Tschardtke, T., 2007. Tree recovery and seed dispersal by birds: comparing forest, agroforestry and abandoned agroforestry in coastal Ecuador. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 8:131-140.
- Lykke, A.M. 1998. Assessment of species composition change in savanna vegetation by means of woody plants size class distributions and local information. *Biodiversity & Conservation* 7: 1261-1275.
- Martínez Pastur, G., Soler, R., Ivancich, H., Lencinas, M.V., Bahamonde, H., Peri, P.L. 2016. Effectiveness of fencing and hunting to control *Lama guanicoe* browsing damage: Implications for *Nothofagus pumilio* regeneration in harvested forests. *Journal of Environmental Management* 168: 165-174.
- Martínez Pastur, G., Cellini, J.M., Barrera, M.D., Lencinas, M.V., Soler, R., Peri, P.L. 2017a. Influencia de factores bióticos y abióticos en el crecimiento de la regeneración pre- y post-cosecha en un bosque de *Nothofagus pumilio*. *Bosque* 38: 247-257.
- Martínez Pastur, G., Peri, P.L., Huertas Herrera, A., Schindler, S., Díaz Delgado, R., Lencinas, M.V., Soler, R. 2017b. Linking potential biodiversity and three ecosystem services in silvopastoral managed forest landscapes of Tierra del Fuego, Argentina. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 13: 1-11.
- Mueller-Dombois, D., Heinz Ellenberg, D. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons. New York, United States.
- Oliver, C.D., Larson, B.C. 1996. *Forest Stand Dynamics*. McGraw-Hill. New York, United States.
- Ouédraogo, O., Bondé, L., Boussim, J., Linstädter, A. 2015. Caught in a human disturbance trap: responses of tropical savanna trees to increasing land-use pressure. *Forest Ecology and Management* 366: 11-22.
- Piazza, M.V., Garibaldi, L.A., Kitzberger, T., Chaneton, E.J. 2016. Impact of introduced herbivores on understory vegetation along a regional mois-

- ture gradient in Patagonian beech forests. *Forest Ecology and Management* 354: 68-76.
- QGIS Development Team. 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Quinteros, C.P., López Bernal, P.M., Gobbi, M.E., Baba, J.O. 2011. Distance to flood meadows as a predictor of use of *Nothofagus pumilio* forest by livestock and resulting impact, in Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems* 84(2): 261-272.
- Raunkiær, C. 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press. London, United Kingdom.
- Relva, M.A., Veblen, T.T. 1998. Impacts of introduced large herbivores on *Austrocedrus chilensis* forests in northern Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* 108(1): 27-40.
- Relva, M.A., Westerholm, C. L., Kitzberger, T. 2009. Effects of introduced ungulates on forest understory communities in northern Patagonia are modified by timing and severity of stand mortality. *Plant Ecology* 201(1): 11-22.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287(5459): 1770-1774.
- Soler, R., Martínez Pastur, G.M., Peri, P., Lencinas, M.V., Pulido, F. 2013. Are silvopastoral systems compatible with forest regeneration? An integrative approach in southern Patagonia. *Agroforestry systems* 87(6): 1213-1227.
- Vázquez, D.P. 2002. Multiple effects of introduced mammalian herbivores in a temperate forest. *Biological invasions* 4(1-2): 175-191.
- Veblen, T.T., Mermoz, M., Martin, C., Ramilo, E. 1989. Effects of exotic deer on forest regeneration and composition in northern Patagonia. *Journal of Applied Ecology* 26(2): 711-724.
- Veblen, T.T., Kitzberger, T., Lara, A. 1992. Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science* 3(4): 507-520.
- Veblen, T.T., Kitzberger, T., Villalba, R. 2004. Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina y Chile. En: Arturi, M.F., Frangi, J.L., Goya, J.F. (eds.), *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*, pp. 1-41. EDULP, La Plata, Argentina.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, United States.