



# IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles

*“Una oportunidad para el desarrollo sustentable”*

Villa La Angostura, Neuquén, Argentina, 31 de Octubre al 2 de Noviembre de 2018

## ACTAS

 **INTA** Ediciones

Colección  
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN



## IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles

*"Una oportunidad para el desarrollo sustentable"*

Villa la Angostura, Neuquén, Argentina, 31 de octubre al 2 de noviembre

Rusch, Verónica

Actas. IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles /  
Verónica Rusch; Gonzalo Caballé; Santiago Varela, Juan Pablo Diez. - - 1ª ed.  
San Carlos de Bariloche: Ediciones INTA, 2018

759 p.

Libro digital

ISSN: 1667-4014

1. Ganadería. 2. Producción Forestal. 3. Sustentabilidad.
4. Ambiente. 5. Productor



## **ORGANIZADOR**

*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*

*Ministerio de Agroindustria, Argentina*

### **Comisión Organizadora**

<b>Presidencia del Congreso:</b>	Dr. Mauro Sarasola, Director EEA Bariloche
<b>Secretaría Ejecutiva:</b>	Dr. Gonzalo Caballé
Verónica Rusch	INTA Bariloche
Santiago Varela	INTA Bariloche
Karina Cancino	INTA Bariloche
Luis Tejera	INTA Esquel
Axel Von Müller	INTA Esquel
Hernán Colomb	MAYDS
Pamela Quinteros	CIEFAP
Guillermo Melzner	Subsecretaría de Desarrollo Foresto Industrial, SSDFI
Gabriel Zalazar	Subsecretaría de Desarrollo Foresto Industrial, SSDFI
Gabriel Stecher	AUSMA
Susana Campos Salvá	Sec. Técnica Subsecretaría de Producción, Neuquén
Marcelo Perdomo	Subsecretaría de Recursos Forestales, Río Negro
Rodrigo Roveta	Subsecretaría de Bosques, Chubut

Comité editor: Verónica Rusch, Gonzalo Caballé, Santiago Varela, Juan Pablo Diez.

Administración: Inés Bertoldi, Santiago Tonón

### **Difusión y prensa**

Paula Lagorio      Santiago Marciani      Juan Pablo Duprez      Diego García      Sinone De Heck

### **Visitas a campo**

Bertil Hoepcke      Gonzalo Caballé      Karina Cancino      Leonardo Claps      Clara Fariña

Natalia Aguilar      Verónica Rusch      Juan Pablo Diez      Carlos Reising      Gabriel Zalazar

Pablo Valiña      Nicolás Rodríguez Argumedo      Fidel Lagos      Mateus Pranhos Da Costa Rodriguez



## ESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN BOSQUES DE CIPRES-COIHUE BAJO DIFERENTES NIVELES DE USO SILVOPASTORIL

### STRUCTURE, FUNCTIONING AND ECOSYSTEM SERVICES PROVISION IN CIPRES-COIHUE FORESTS UNDER DIFFERENT SILVOPASTORAL USE LEVELS

**Chillo, Veronica (1,2), Mariano M. Amoroso (1,2), Carlos A. Rezzano (2); Daniela F. Arpigliani (1,2)**

<sup>(1)</sup> CONICET, CCT Patagonia Norte, Argentina

<sup>(2)</sup> Instituto de Investigación en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD), Universidad Nacional de Rio Negro Sede Andina El Bolsón, Rio Negro, Argentina

Dirección de contacto: mchillo@unrn.edu.ar; Güemes 383, Dpto E (8430), El Bolsón, Rio Negro, Argentina

#### Resumen

Aquí se presentan y articulan los resultados más recientes de varias investigaciones realizadas en bosques mixtos siempreverdes de ciprés-coihue bajo diferentes intensidades de uso silvopastoril en el noroeste de la Patagonia Argentina. Se evaluaron situaciones pareadas de alto y bajo nivel de uso silvopastoril, donde encontramos una estructura de la vegetación más compleja en sitios de alto en comparación con sitios de bajo nivel. Este es un cambio significativo, pero que no se ve reflejado en el número de individuos establecidos de las principales especies arbóreas. El efecto del uso si se ve en la severidad del ramoneo sobre juveniles que no alcanzan a desarrollarse. La mayor apertura de dosel en los sitios de mayor nivel de uso genera comunidades vegetales de mayor diversidad funcional. Estas comunidades presentan mayor tasa de descomposición y potencial productividad primaria. Estos cambios en la composición de la comunidad repercuten en cambios en la provisión de servicios ecosistémicos. Así, los sitios de mayor nivel de uso presentan mayor potencial forrajero y ocurrencia de especies con usos culturales conocidos, pero menor fertilidad de suelo y potencial de prevención de erosión. Las áreas de mayor nivel de uso presentan aspectos negativos y positivos respecto de la provisión de servicios ecosistémicos, y sumado al hecho de que están distribuidas en una matriz de bajo nivel de uso, su manejo permitiría generar paisajes multifuncionales.

**Palabras clave:** invernada, bosque siempreverde, regeneración natural, diversidad funcional, sinergias y compromisos

#### Abstract

*This work presents and articulates the most recent results of several studies on mixed evergreen forests of cipres-coihue under different levels of silvopastoral use in the northwest of the Argentine Patagonia. We found a more complex vegetation structure in places of higher silvopastoral use. This change is not reflected in the number of established individuals of the main tree species, but in the severity of browsed juveniles than can't develop. The greater opening of the canopy in the sites of greater silvopastoral use level generates understory plant communities with higher functional diversity. These communities have a higher decomposition rate and potential primary productivity. These changes are related to changes in the provision of ecosystem services. Thus, sites of greater silvopastoral use intensity have greater forage potential and occurrence of species with known cultural uses, but lower soil fertility and erosion prevention potential. Notably, we found that the positive and negative relationships between ecosystem services do not vary between silvopastoral use intensities. Areas of higher level of silvopastoral use present both negative and positive aspects, witch summed to the fact that they are distributed in a matrix of low intensity of use, their management would allow generating multifunctional landscapes.*

**Keywords:** winter migrations, evergreen forest, natural regeneration, functional diversity, sinergias and trade-offs



### INTRODUCCIÓN

En la Patagonia andina el uso pastoril del bosque es una práctica históricamente asociada a la generación de fuegos para la apertura de claros con pasturas, lo que ha llevado en algunas áreas al reemplazo de bosques primarios hacia pastizales o bosques secundarios (Gowda et al. 2011). En particular, el bosque mixto de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) ha sufrido una significativa disminución en su superficie, alcanzando en la actualidad 66.100 ha. (Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos y Áreas Protegidas 2005) de las 100.000 ha. originales (Loguercio et al. 1999). Esta disminución y el deterioro de buena parte de las poblaciones remanentes se deben a que los bosques están altamente influenciados por presiones antrópicas, específicamente, la subdivisión de las tierras forestales con fines inmobiliarios (Easdale 2007), la extracción de madera y leña y la actividad ganadera.

Actualmente, la producción ganadera bovina predominante en el bosque mixto de ciprés de la cordillera y coihue en el noroeste de la Patagonia andina es la cría y recría extensiva, con escasas pautas de manejo del rodeo y baja inversión en infraestructura (Cardozo y Reuque 2012). El uso silvopastoril consiste inicialmente en la realización de aperturas localizadas para crear zonas de pastaje y corrales ("pampas"). En la cercanía de esas aperturas se realiza una paulatina extracción de árboles muertos y leña para abrir el dosel y aumentar la disponibilidad de forraje en estos bosques siempreverde. De esta forma, se combina la utilización del componente maderero/leñero y del componente ganadero a la par, generando un uso silvopastoril. El ganado permanece en los bosques de baja altitud (ciprés-coihue) durante gran parte del año (otoño-invierno-primavera). Las áreas de bosques inmediatas a las pampas presentan mayor apertura de dosel e intensidad de pastoreo, mientras que la matriz remanente de bosque cerrado recibe menor intensidad de uso. Así, el nivel de uso silvopastoril está definido por el manejo tradicional del ganado y la cercanía a las pampas donde hay mayor disponibilidad de forrajes. Durante los meses de verano y comienzos del otoño, el movimiento del ganado hacia los bosques de altas altitudes (veranada) elimina la presión sobre los bosques de menor altitud.

Los efectos de la ganadería sobre estos bosques están dados principalmente por el pisoteo y el ramoneo de renovales, y a través de cambios en la composición de la comunidad vegetal que puede a su vez alterar las interacciones que caracterizan a la comunidad (Veblen et al. 1992; Vázquez 2002; Blackhall et al. 2008). Es muy común observar una disminución de la densidad de renovales de las especies principales y un alto porcentaje de individuos jóvenes deformados por efecto del ramoneo (Veblen et al. 1992; Relva y Veblen 1998; Blackhall et al. 2008). Asimismo, es de esperar que diferentes intensidades de pastoreo repercutan en el crecimiento de los renovales de manera dispar (Relva y Sancholuz 2000). El uso silvopastoril en particular genera impactos diversos y no siempre consistentes. Al estar asociado a la apertura de claros, permite un mayor ingreso de la luz y favorece el crecimiento de las plantas del sotobosque para la alimentación del ganado (Somlo et al. 1997; Peri et al. 2016). Este cambio en la disponibilidad de luz puede generar un aumento en la riqueza y en la abundancia de plantas, principalmente herbáceas (Arias Sepúlveda y Chillo 2017), y generalmente a causa de una mayor presencia de especies exóticas o invasoras (Lencinas et al. 2011; Peri et al. 2016). En este sentido, la composición de la comunidad vegetal del sotobosque está determinada no sólo por la presión de herbivoría, sino también por la mayor disponibilidad de recursos (ej. luz). Estos cambios en la composición del sotobosque pueden implicar alteraciones en las condiciones microclimáticas y en las características funcionales de la vegetación que afectan el



ciclado de nutrientes y la productividad primaria neta (Peri et al. 2016; Arias Sepúlveda y Chillo 2017). Entender de qué forma dichos cambios en la diversidad afectan la estructura y el funcionamiento del ecosistema, y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos (SE) es un punto clave para el manejo sustentable.

El concepto de diversidad funcional permite entender de qué forma los cambios en la composición de la comunidad pueden afectar la provisión de múltiples SE (Polania et al. 2011). La diversidad funcional es entendida como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de características de una comunidad que tienen un determinado efecto sobre, o responden ante, cambios en el ecosistema (Díaz y Cabido 2001). A su vez, la producción biofísica de SE depende del funcionamiento del ecosistema, por ejemplo, la fertilidad del suelo expresada como materia orgánica depende, entre otras cosas, de la tasa de descomposición. En última instancia, dado que los cambios en la diversidad modifican el funcionamiento del ecosistema, ésta juega un rol crucial en la provisión de SE (Polania et al. 2011). Sin embargo, esta relación entre biodiversidad y SE es compleja y difícil de predecir debido a que los SE son regulados por múltiples procesos ecosistémicos que pueden responder de distintas formas a los cambios en la biodiversidad (Cardinale et al. 2012). Más compleja aún es la relación cuando se pretenden evaluar múltiples SE, dado que entre SE pueden haber relaciones positivas (sinergias) o negativas (antagonismos), y el incremento de un SE de provisión puede ir en detrimento de otros. Por ejemplo, en la Patagonia Chilena se encontró que el aumento en la producción maderera en bosques montañosos (por desmonte y plantación de pinos) afecta a la capacidad de retención de escorrentía y disminuye la calidad del agua en las zonas bajas de la cuenca (Lara et al. 2009).

En los últimos años venimos llevando a cabo nuevas líneas de investigación que buscan identificar el efecto de distintas intensidades de uso silvopastoril sobre la estructura, el funcionamiento y la dinámica de bosques mixtos siempreverdes del noroeste de la Patagonia Argentina. Más precisamente, los objetivos han sido evaluar el efecto de diferentes intensidades de uso silvopastoril sobre 1) la estructura de la comunidad vegetal del sotobosque y la regeneración del dosel, 2) la diversidad funcional de la vegetación del sotobosque y procesos ecológicos claves como reciclado de nutrientes y productividad primaria, 3) la provisión de múltiples SE y las relaciones de sinergias y compromisos entre ellos. El presente trabajo presenta y articula los resultados más recientes de estas investigaciones.

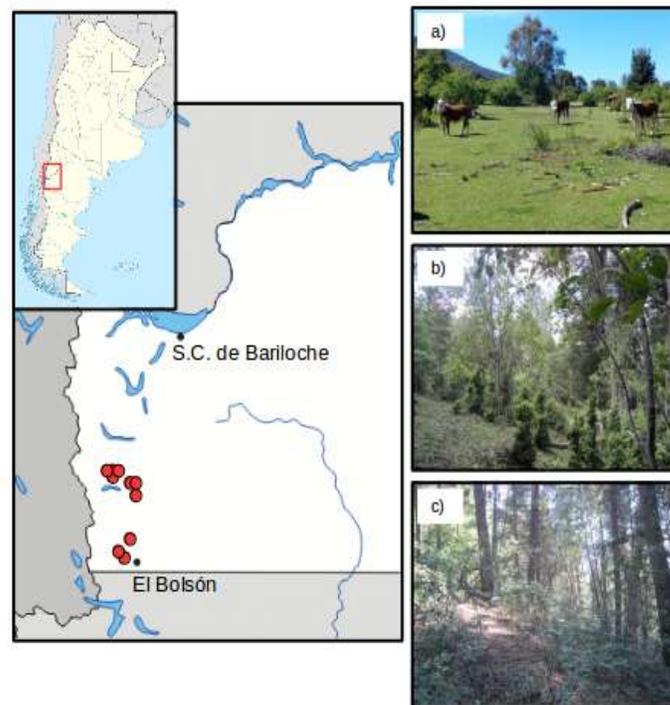
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de estudio

Los estudios se llevaron a cabo en los valles del río Azul, río Villegas y río Manso, en el suroeste de la provincia de Río Negro, Argentina (**Fig. 1**). El clima es templado-húmedo a frío-húmedo, con fuertes nevadas en el invierno y heladas casi todo el año. Los bosques seleccionados se corresponden a bosques dominados por dos especies siempreverdes: ciprés de la cordillera (*A. chilensis*) y coihue (*N. dombeyi*). Se encuentran entre las isohietas de 1.600 y 2.000 mm, y se caracterizan por presentar una alta cobertura del dosel (>80%), mixta y con árboles que alcanzan los 30 m de altura.



Se trabajó en establecimientos de productores forestales ganaderos, y con dos niveles de uso silvopastoril del bosque (alto y bajo) en función del uso que el ganado hace del espacio, generado por el sistema de uso tradicional. El sistema tradicional de ganadería bovina consiste en la permanencia y el pastoreo en las laderas medias (400 a 500 msnm aprox.) con bosque de ciprés y coihue, y en los valles con aperturas para pastaje, durante otoño, invierno y primavera (invernada). Durante el verano, se realiza un movimiento del ganado hacia lengales y ñirantales que se ubican a una mayor altitud (900 a 1000 msnm aprox., veranada). El pastoreo y la permanencia del ganado en las laderas medias de bosque de ciprés y coihue es posible dado el aumento de la cantidad de forraje disponible que se logra a través de la apertura del dosel de los bosques. Ésta apertura de dosel se produce por la extracción de árboles muertos en pie (de los cuales se aprovecha su madera), y la limpieza de ramas y árboles caídos (que se utilizan para leña). Este tipo de uso del bosque hace que sea inseparable la apertura del dosel del nivel pastoreo, ya que no existen zonas de dosel cerrado y alto nivel de pastoreo. Esto determina un uso combinado del recurso forestal y ganadero, a lo que



**Figura 1.** Representación esquemática de la ubicación de los sitios de estudio (puntos rojos) en el oeste de la provincia de Río Negro, Argentina. También se muestran imágenes representativas de los sitios de estudio: a) apertura para pastaje y manejo del ganado ("pampa"); b) sitio cercano a la apertura, con alto nivel de uso; c) sitio alejado de la apertura, con bajo nivel de uso.

en este trabajo nos referimos como uso silvopastoril del bosque. Así se encuentra un mayor nivel de uso silvopastoril (NUS) en los bosques aledaños a las aperturas para pastaje (30-40% de cobertura de dosel;  $4.50 \pm 3.10\%$  de cobertura de heces), y un menor NUS en sectores alejados de las aperturas



(60-80% de cobertura de dosel;  $0.47 \pm 0.06\%$  de cobertura de heces) (Figura 1) (Arias Sepúlveda y Chillo 2017). Para cada establecimiento, estos dos NUS se encuentran dentro de la misma unidad de bosque o rodal, lo que permitió trabajar con un diseño de muestreo apareado con el objetivo de reducir la variabilidad debida a la historia de disturbios y los potenciales factores ambientales. En base a este diseño, cabe destacar que los diferentes niveles de uso silvopastoril son relativos entre ellos.

El diseño general (pareado entre niveles de uso) y las áreas identificadas como sitios de estudio fueron mantenidos en los distintos trabajos, mientras que el diseño particular (número de sitios, tamaño de parcelas, etc.), las variables cuantificadas y los análisis estadísticos realizados variaron según el objetivo. El detalle de cada diseño de muestreo particular puede encontrarse en las publicaciones específicas: 1) Amoroso y colaboradores (2018) presentan resultados del primer objetivo relacionado a comparar la estructura de la vegetación del sotobosque y de la regeneración de dosel entre NUS; 2) Arias Sepúlveda y Chillo (2017) y Chillo y colaboradores (2018a) presentan resultados del segundo objetivo, referido a evaluar la diversidad funcional de la vegetación y procesos ecológicos (reciclado de nutrientes y productividad primaria) en alto y bajo NUS. Para cuantificar diversidad funcional se utilizó el índice de Rao (Botta-Dukat 2005), que es un índice multivariado que se basa en el conjunto de características funcionales y expresa la diferencia promedio entre individuos de una comunidad. Para evaluar el reciclado de nutrientes se cuantificó la tasa de descomposición de hojarasca del sitio mediante un experimento de bolsas de descomposición (). Para evaluar productividad primaria se utilizó como indicador la biomasa verde en pie, cosechada a finales de la estación de crecimiento. 3) Chillo y colaboradores (2018a) y (2018b) presentan resultados del tercer objetivo sobre la provisión de múltiples SE y relaciones de sinergias y compromisos entre ellos en alto y bajo NUS. Los SE considerados fueron: plantas con valor cultural (servicio cultural), potencial forrajero (servicio de provisión), estabilidad en la prevención de la erosión y fertilidad de suelo (servicios de regulación). Los indicadores se calcularon con la información obtenida de muestreos de cobertura por especie vegetal del sotobosque. Para la ocurrencia de plantas con valor cultural se calculó la proporción de especies con valor cultural conocido (usos ornamentales, medicinales y comestibles acorde a información publicada). Para potencial forrajero se calculó la proporción de plantas palatables, clasificadas en palatables o no palatables en función del conocimiento de expertos de la zona e información publicada sobre contenido de lignina, nitrógeno y compuesto secundarios o defensas anti-herbívoros. El indicador de estabilidad en la prevención de la erosión fue estimado considerando la estabilidad de la cobertura del suelo considerando la proporción de especies leñosas/herbáceas. Fertilidad del suelo fue estimada como el porcentaje de contenido de materia orgánica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aquí presentamos una recopilación de resultados ya publicados, analizados de forma integral para lograr un mejor entendimiento del sistema. De forma general, encontramos que el nivel de uso silvopastoril (NUS) modifica la estructura (Amoroso et al. 2018) y el funcionamiento del ecosistema (Arias Sepúlveda y Chillo 2017; Chillo et al. 2018a), los SE que de éste dependen y la relación entre SE (Chillo et al. 2018a; Chillo et al. 2018b).



En relación a la estructura de la comunidad del sotobosque (primer objetivo), se calculó un índice de complejidad estructural (diversidad de estratos verticales), el cual fue significativamente mayor bajo condiciones de alto NUS en dos de los tres establecimientos estudiados (Amoroso et al. 2018). Se calculó también un índice de heterogeneidad estructural (diversidad de formas de vida), que fue significativamente mayor en sitios de alto NUS de los tres establecimientos, asociado a una mayor diversidad espacial en las formas de vida de Raunkiaer (Amoroso et al. 2018). Estos resultados indican que mayor NUS modifica la estructura del sotobosque hacia una comunidad con mayor complejidad estructural y más heterogénea en su tolerancia al disturbio. Esta heterogeneidad está 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 y/o evasión de la herbivoría en detrimento de su capacidad de competencia interespecífica (Diaz et al 1992, Karlin et al. 2016).

Estas diferencias encontradas en la composición y estructura de la comunidad podrían representar cambios en las condiciones micromambientales que afectan el establecimiento y crecimiento de la regeneración de las principales especies del dosel (Bahamonde et al. 2018). Sin embargo, la abundancia y el crecimiento de los individuos presentes en el sotobosque exhibió cambios dispares con los diferentes niveles de NUS en los tres establecimientos estudiados (Amoroso et al. 2018). Por un lado, mayor NUS no resultó siempre en cambios en la densidad de los individuos de las principales especies arbóreas (renovales y juveniles ramoneados). Por otro lado, el diámetro y la altura promedio de los renovales no se vio significativamente condicionado por la NUS (Tabla 1).

**Tabla 1.** Estructura de individuos en el sotobosque ( $\leq 50$  cm. de altura) de *A. chilensis* y *N. dombeyi* en dos niveles de intensidad de uso silvopastoril. Se muestran los resultados para tres establecimientos ubicados en los valles de diferentes ríos (Manso, Azul, Villegas). En negrita se indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre niveles de uso, encontradas a través de la prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney. Extraído de Amoroso y colaboradores (2018).

	Alto uso silvopastoril			Bajo uso silvopastoril		
	Densidad (ind./Ha.)	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Densidad (ind./Ha.)	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)
Manso	12222	5.2	29.2	11443	4.4	36.7
Azul	25553	<b>7.1</b>	9.2	30330	<b>5.7</b>	9.2
Villegas	<b>30363</b>	5.8	<b>10.1</b>	<b>16998</b>	4.3	<b>37.1</b>

Tal como fuera esperado, la severidad del ramoneo (cuantificada según Relva y Veblen 1998) sobre individuos de árboles y arbustos fue mayor en las áreas de alto NUS, aunque esto no vino de



la mano de un aumento en el número de individuos ramoneados. Es decir, 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 (según análisis de Chi cuadrado) en la mayoría de los establecimientos estudiados (Amoroso et al. 2018). Este aumento en la severidad del ramoneo tiene el potencial de causar cambios en la arquitectura y en los patrones de desarrollo de los renovales. Esto se vislumbra en el tamaño de algunos individuos juveniles del sotobosque, que producto del alto grado de ramoneo, no han podido desarrollarse y superar dicho estrato comprometiendo el eventual reemplazo de individuos adultos; aún cuando los resultados muestran que no hay diferencias significativas en la estructura de individuos del sotobosque entre NUS (Amoroso et al. 2018).

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 2), indicando que en los establecimientos estudiados la actividad ganadera en los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue, no afectaría de manera diferencial la dinámica de la comunidad vegetal de dosel. A pesar de esto, sí identificamos una ausencia en las clases diamétricas mayores (Amoroso et al. 2018) en alto NUS, probablemente dado por el uso silvícola del bosque, y/o por la falta de desarrollo de renovales y juveniles altamente ramoneados que no alcanzan estados adultos. Estos interrogantes están siendo abordados por investigaciones en curso.

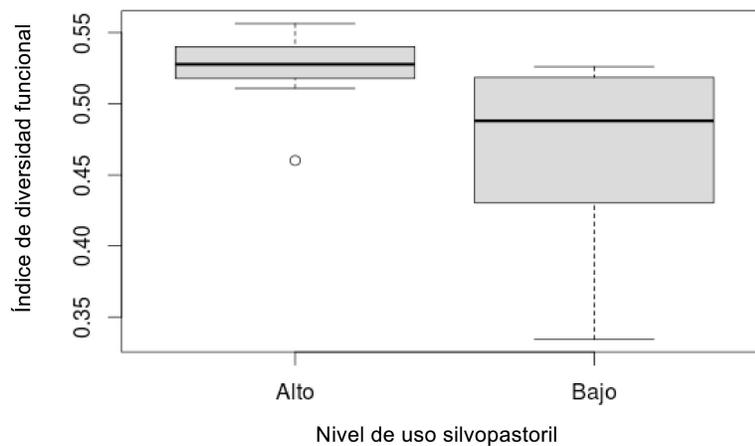
En relación al funcionamiento del ecosistema (segundo objetivo), se evaluó la diversidad funcional de la vegetación del sotobosque considerando características funcionales relacionadas con el ciclado de nutrientes, la productividad primaria neta y la tolerancia a la herbivoría y a la insolación. En sitios de alto NUS encontramos un mayor valor del índice FDQ de diversidad funcional que en sitios con bajo NUS ( $t=2,7$ ;  $p<0,05$ ) (Arias Sepúlveda y Chillo 2017) (Figura 2). El aumento en el NUS genera cambios en las características funcionales de la vegetación dados por un aumento en la diversidad de especies con ciclo de vida anual y deciduo, gramíneas, y especies de arquitectura de roseta y hábito postrado (Arias Sepúlveda y Chillo 2017). A su vez, el aumento en el NUS resultó en un aumento del área foliar específica y del contenido de nitrógeno foliar (Chillo et al. 2018a). Este cambio en la composición de la comunidad hacia una estrategia de rápida adquisición de recursos (características relacionadas con un rápido crecimiento en vez de con la conservación de los recursos adquiridos; Chillo et al. 2018a) podría estar dado por la dominancia del factor luz sobre el factor pastoreo (Relva et al. 2008).

Estos cambios en la composición de la vegetación del sotobosque, dados como consecuencia de un mayor NUS, resultaron en marcados efectos sobre el funcionamiento del ecosistema. La tasa de descomposición del mantillo del sitio (indicador de reciclado de nutrientes) y la producción de biomasa verde en pie (indicador de productividad primaria) fueron mayores en los sitios con alt NUS (Chillo et al. 2018a). Esto puede deberse a que un aumento en el NUS genera un cambio de la comunidad vegetal hacia la estrategia de rápida adquisición de recursos (Arias Sepúlveda y Chillo 2017), lo que implica hojas membranosas en lugar de coriáceas, de rápido crecimiento y con alto contenido de nitrógeno. Estas características funcionales se relacionan con mayor tasa de descomposición (Cornwerll et al. 2008) y mayor productividad primaria neta (Poorter y Bongers 2006). Por ejemplo, las plantas con arquitectura de roseta y hábito postrado poseen hojas de textura membranosa y menor lignina que los arbustos perennes con hojas coriáceas, por lo que se descomponen con mayor rapidez (de Paz et al. 2013).



**Tabla 2.** Análisis del potencial de regeneración a través de las variaciones en la abundancia relativa de individuos de ciprés y coihue en distintos estadios. Comparación entre niveles de uso silvopastoril. La variable "árbol" representa la suma de ambas especies de dosel. Se muestra el uso que presentó mayor abundancia relativa y el valor de significancia (p), en negrita se resaltan las diferencias significativas evaluadas mediante un Análisis de la varianza. Juvenil 1: hasta 0,1 m. Juvenil 2: 0,1 a 1,5 m. Adulto: más de 5 m. A: mayor abundancia relativa en nivel de alto uso. B: mayor abundancia relativa en nivel de bajo uso. Extraído de Amoroso y colaboradores (2018).

		Juvenil 1		Juvenil 2		Adulto	
		Uso con mayor abundancia	P	Uso con mayor abundancia	p	Uso con mayor abundancia	P
Manso	Ciprés	A	0.15	=	0.48	B	0.13
	Coihue	=	0.37	=	0.83	=	0.46
	Árbol	=	0.42	=	0.8	<b>B</b>	<b>0.05</b>
Azul	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
Villegas	Ciprés	=	0.68	B	0.21	=	0.58
	Coihue	=	0.49	A	0.29	B	0.27
	Árbol	=	0.37	=	0.98	=	0.85



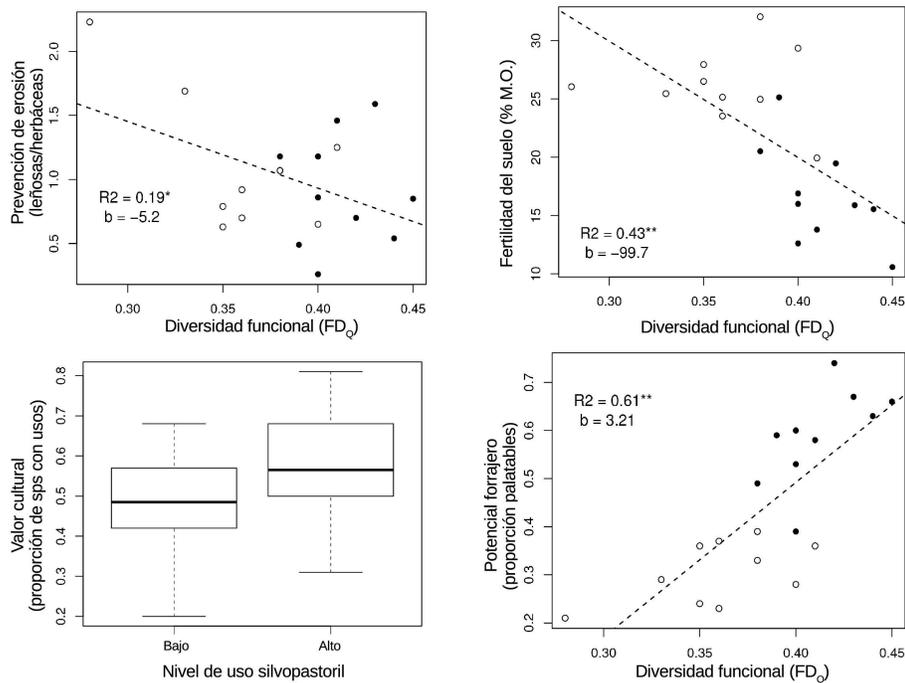
**Figura 2.** Diversidad funcional (índice FDQ) en función de la intensidad de uso silvopastoril. Las partes superior e inferior de la caja muestran el tercer y el primer cuartil de los datos respectivamente, la línea central representa la mediana, las líneas verticales indican la dispersión de los datos, y los puntos muestran datos atípicos. Extraído de Arias Sepúlveda y Chillo (2017).

Notoriamente identificamos que que los cambios en los procesos ecológicos analizados están más fuertemente relacionados a cambios en la composición de la comunidad vegetal (relación



indirecta) dados por los cambios en el NUS; que a cambios en el NUS en sí (relación directa) (Chillo et al. 2018a). Estos resultados resaltan el rol de la biodiversidad en el funcionamiento del ecosistema, con un efecto mayor que el del uso del suelo, como ha sido encontrado en otros trabajos (Cardinale et al. 2012).

En relación al tercer objetivo, encontramos que los cambios en la composición de la comunidad tuvieron un efecto tanto positivo como negativo sobre los diferentes indicadores de SE evaluados. Al igual que con el funcionamiento del ecosistema, encontramos un efecto mayor de la diversidad sobre los SE (efecto indirecto), que de la intensidad en el uso del suelo en sí (efecto directo) (Chillo et al. 2018b). En particular, los indicadores de SE de fertilidad de suelo, producción de forraje y prevención de la erosión se relacionan principalmente con cambios en la diversidad de plantas (efecto indirecto), mientras que el SE de valor cultural se relaciona principalmente con el NUS en sí (efecto directo) (Figura 3). El efecto de la diversidad funcional de plantas sobre la provisión de SE ocurre a través de cambios en los procesos ecológicos que los sustentan (Chillo et al. 2018a), como fue reportado en estudios de campo y experimentos a nivel mundial (Cardinale et al. 2012).



**Figura 3.** Modelos lineales de mejor ajuste para cada servicio ecosistémico. Para los indicadores de servicios ecosistémicos cuya variación fue explicada principalmente por la diversidad funcional se ajustaron regresiones lineales. La línea punteada representa la función de tendencia, los puntos blancos representan sitios de bajo nivel de uso silvopastoril (NUS), los puntos negros representan sitios de alto NUS. Se muestra el valor de ajuste ( $R^2$ ) y la pendiente ( $b$ ) de cada función. Para el servicio ecosistémico de valor cultural, cuya variación fué explicada principalmente por el nivel de uso silvopastoril, se muestra un gráfico de cajas. La diferencia es significativa cuando los límites superior e inferior de las cajas no se superponen con el valor medio (línea en negrita). Figura adaptada de Chillo et al. (2018b)



El indicador del SE de fertilidad de suelo se relacionó negativamente con el índice de diversidad funcional (Chillo et al. 2018b), dado porque un mayor valor del índice que se relaciona con una mayor tasa de descomposición (Chillo et al. 2018a), y por ende, menor acumulación de materia orgánica en el suelo. De forma similar, el indicador del SE de estabilidad en la prevención de la erosión se relacionó negativamente con el índice de diversidad funcional, porque las comunidades con mayor valor del índice están caracterizadas por hierbas y gramíneas anuales o deciduas (Arias Sepúlveda y Chillo 2017), consideradas como de menor estabilidad en la cobertura de suelo. La relación del índice de diversidad funcional con el indicador de potencial forrajero fue fuerte (Chillo et al. 2018b), siendo mayor el potencial forrajero en sitios de alta intensidad de uso silvopastoril. Esto probablemente se deba a la mayor abundancia de plantas con hojas membranosas o intermedias y con bajo contenido de compuestos secundarios, y un mayor contenido de nitrógeno en hoja y menor contenido de lignina. Esto resultaría en una mayor palatabilidad (Díaz et al. 2007) en comparación con los sitios de menor valor del índice diversidad funcional. Por último, una mayor provisión del SE de valor cultural de la vegetación se encuentra a mayor NUS (Chillo et al. 2018b) (Figura 3) probablemente dado que muchas de las especies con usos ornamentales, medicinales o comestibles son características y muy abundantes en ambientes abiertos (ej. *Alstroemeria aurea*, *Aristotelia chilensis*, *Chamomilla suaveolens*) (Morales y Ladio 2012). La provisión de este SE está más fuertemente asociada al NUS que a la diversidad funcional de la vegetación, quizás porque es más importante la identidad de las plantas que su diversidad.

Finalmente, del análisis conjunto de estos SE se desprenden relaciones positivas (sinergias) y negativas (compromisos) entre ellos dentro de cada de los NUS. En particular, identificamos sinergias entre la mayoría de los SE (Chillo et al. 2018 a,b). Las sinergias fueron identificadas entre servicios de regulación, y los compromisos fueron identificados entre servicios de regulación y de provisión, acorde a lo encontrado en numerosos trabajos a nivel mundial (Cardinale et al. 2012). Sólo la producción de forraje muestra compromisos con la fertilidad del suelo y la prevención de la erosión. Esta relación cambió de intensidad (ej. compromisos mas fuertes en sitios con alto NUS) pero no de dirección entre NUS (las sinergias y los compromisos se mantuvieron como tales entre NUS) (Chillo et al. 2018a, b).

Notablemente, un mayor NUS genera un aumento de la diversidad de plantas (y su diversidad funcional) pero no así de la provisión de múltiples SE. Estos resultados son importantes para el manejo silvopastoril del bosque mixto en el noroeste de la Patagonia. El desafío radica en desarrollar y promover un manejo que permita la provisión de múltiples servicios ecosistémicos. Una propuesta sustentable podría promover un manejo que incluya distintas intensidades de uso distribuidas de manera heterogénea en el paisaje, permitiendo el mantenimiento de la diversidad y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos.

## CONCLUSIONES

El análisis integral de varios trabajos de investigación centrados en entender el efecto de la intensidad de uso silvopastoril sobre la estructura, funcionamiento y provisión de múltiples SE en bosques mixtos siempreverdes nos permite ver la dinámica compleja de este sistema. En primer lugar, encontramos una estructura de la vegetación bastante más compleja en sitios de alta



intensidad de uso. Este es un cambio significativo, pero que no se ve reflejado en el número de individuos establecidos de las principales especies arbóreas. Esto podría estar dado porque en sitios de alto nivel de uso, a pesar de existir una alta severidad de ramoneo sobre los renovales, el número de individuos ramoneados no difiere. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que en altos NUS el crecimiento y desarrollo de individuos juveniles estaría siendo afectado por la severidad de ramoneo, comprometiendo el eventual reemplazo de individuos adultos. La mayor apertura de dosel en los sitios de mayor intensidad de uso permite la ocurrencia de comunidades vegetales de sotobosque más diversas en cuanto a sus características funcionales relacionadas al ciclado de nutrientes y productividad primaria neta. Estas comunidades presentan, por ende, mayor tasa de descomposición y potencial productividad primaria. Estos cambios en la composición de la comunidad, reflejados en cambios en su funcionamiento, repercuten en cambios en la provisión de servicios ecosistémicos. Así, los sitios de mayor intensidad de uso presentan mayor potencial forrajero y ocurrencia de especies con usos culturales conocidos, pero menor fertilidad de suelo y potencial de prevención de erosión. Notoriamente, encontramos que las relaciones positivas y negativas entre servicios ecosistémicos no varían entre intensidades de uso. Estos resultados permiten pensar que el sistema de uso silvopastoril en las áreas bajas del paisaje (invernada) genera cambios significativos en la comunidad, pero que estos cambios no son siempre negativos para el funcionamiento del ecosistema, y mucho menos para la provisión de servicios ecosistémicos de interés para el productor. Así, las áreas de mayor nivel de uso presentan aspectos tanto negativos como positivos, sumado al hecho de que están distribuidas en una matriz de baja intensidad de uso, su manejo permitiría generar paisajes multifuncionales.

### Agradecimientos

A Oscar y Lisandro Lanfré, Roberto Criado, INTA Campo Forestal Gral. San Martín y Estancia El Foyel por autorizarnos el trabajo en sus campos. A Andrea Cardozo, Ezequiel Villacide, Marcos Ancalao, Vanesa Alcalá, Eugenia Arias Sepúlveda, Brisa Serena Guenuleuo, Estefanía Bianco Bueno y Marcos Ocampo por ayuda en la identificación de sitios, en el trabajo de campo y de laboratorio. Proyectos parcialmente financiados por PI UNRN 40-B-458 y PICT 2015-1692

### Bibliografía

- Amoroso, M.M., Chillo, V., Alcalá, V., Arpigliani, D., Rezzano, C.A. 2018. Efecto del manejo silvopastoril sobre la estructura y dinámica poblacional de bosques mixtos de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*). Ecosistemas, en prensa.
- 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, 29-38.
- Blackhall, M. et al. 2008. Cattle affect early post-fire regeneration in a *Nothofagus dombeyi*-*Austrocedrus chilensis* mixed forest in northern Patagonia, Argentina. *Biological Conservation* 141:2251.
- Cardinale, B., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59-67.
- Cardozo, A.G., Reuque, R., 2012. Caracterización de la producción ganadera correspondiente al sector rionegrino de la Comarca Andina del Paralelo 42°. Comunicación Técnica N°80, INTA AER El Bolsón, Argentina.
- Chillo, V., Vázquez, D. P., Amoroso, M. M., Bennett, E. M., 2018a. Land-use intensity indirectly affects ecosystem services mainly through plant functional identity in a temperate forest. *Functional Ecology* 32, 1390-1399.
- Chillo, V., Amoroso, M.M., Rezzano, C.A. 2018b. La intensidad en el uso silvopastoril modifica la provisión de servicios ecosistémicos a través de cambios en la diversidad de plantas del sotobosque en el noroeste de la Patagonia Argentina. *Ecosistemas*, en prensa.



- Cornwell, W. K., Cornelissen, J.H.C., Amatangelo, K., Dorrepaal, E., Eviner, V.T., Godoy, O. et al., 2008. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters* 11, 1065-1071.
- De Paz, M., Gobbi, M.E., Raffaele, E., 2013. Mantillo de las especies leñosas de matorrales del NO de la Patagonia: abundancia, composición, estructura y heterogeneidad. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48, 525-541.
- Díaz, S., Acosta, A., Cabido, M. 1992. Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. *Journal of Vegetation Science* 3, 689-696.
- Díaz, S., Cabido, M., 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16, 646-655.
- Díaz, S., Lavorel, S., McIntyre, S., Falczuk, V., Casanoves, F., Milchunas, D.G., 2007. Plant trait responses to grazing - a global synthesis. *Global Change Biology* 13, 313-341.
- Easdale, M.H., 2007. Los sistemas agropecuarios en los valles cordilleranos de Patagonia norte y su posible evolución. *Cuadernos de desarrollo rural* 4, 11 – 35.
- Gowda, J. H., Kitzberger, T., Premoli, A.C., 2011. Landscape responses to a century of land use along the northern Patagonian forest-steppe transition. *Plant Ecology* 213, 259-272.
- Karlin, M., Arnulphi, S., Alday, A.I., Bernasconi, J., Accietto, R., 2016. Post-fire revegetation in *Acacia* spp. shrublands in Sierras of Córdoba, Central Argentina. *Oecologia Australis* 20, 464-476.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, C. et al., 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258, 415-424.
- 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. *Forest Ecology and Management* 262, 1236-1250.
- Loguercio, G.A., Burschel, P., Rey, M., 1999. El bosque de Ciprés de la Cordillera: su conservación y uso. Centro Forestal CIEFAP, Esquel. Folleto de divulgación 14, pp.1- 22.
- Morales, S., Ladio, A., 2012. Mapuche perceptions and conservation of Andean *Nothofagus* forests and their medicinal plants: a case study from a rural community in Patagonia, Argentina. *Biodiversity and Conservation* 21, 1079-1093.
- Patagonian forests. En: AM Gordon & SM Newman (Eds.). *Temperate Agroforestry System*. Cab International, pp. 237-250.
- Peri, P.L., Hansen, N.E., Bahamonde, H.A., Lencinas, M.V., von Muller, A.R., Ormaechea, S., Gargaglione, V., Soler, R., Tejera, L.E., Lloyd, C.E., Martinez-Pasteur, G., 2016. Silvopastoral Systems Under Native Forest in Patagonia Argentina, En: *Silvopastoral Systems in Southern South America*, Springer, pp. 117-168.
- Polania, C, Pla, L., Casanoves, F., 2011. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos. En: Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J.A. (Eds), *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. CATIE, Turrialba. Serie Técnica 384, pp. 5-8.
- Poorter, L., Bongers, F., 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* 87, 1733-1743.
- Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos y Áreas Protegidas 2005. Proyecto bosques nativos y áreas protegidas. BIRF 4085-AR 1998-2005. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, Argentina.
- Relva, M. A., López Westerholm, C., Kitzberger, T., 2008. Effects of introduced ungulates on forest understory communities in northern Patagonia are modified by timing and severity of stand mortality. *Plant Ecology* 201, 11-22.
- Relva, M.A. y L.A. Sancholuz. 2000. Effects of simulated browsing on the growth of *Austrocedrus chilensis* saplings. *Plant Ecol* 151: 121–127.
- Relva, M.A. y Veblen, T. 1998. Impacts of introduced large herbivores on *Austrocedrus chilensis* forests in northern Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* 108:27.
- Somlo, R., Bonvissuto, G., Schlichter, T., Laclau, P, Peri, P., Alloggia M., 1997. Silvopastoral use of Argentine
- Vázquez, D.P. 2002. Multiple effects of introduced mammalian herbivores in a temperate forest. *Biological Invasions* 4:175.
- Veblen, T. et al. 1992. Ecological impacts of introduced animals in Nahuel Huapi National Park, Argentina. *Conservation Biology* 6:71.