

# Efecto de las características forestales y del ambiente sobre el sotobosque de bosques de *Nothofagus antarctica* en Tierra del Fuego

María V. Lencinas<sup>1</sup>, Julieta Benitez<sup>2</sup>, Jimena E. Chaves<sup>2</sup>, Marie C. Aravena-Acuña<sup>2</sup>, Julián Rodríguez-Souilla<sup>2</sup>, Juan M. Cellini<sup>3</sup>, Marcelo D. Barrera<sup>4</sup>, Pablo L. Peri<sup>5</sup>, Guillermo Martínez Pastur<sup>2</sup>

**Palabras clave:** riqueza de especies, cobertura de la vegetación, biomasa aérea.

## Introducción

La vegetación del sotobosque es parte integral de los bosques, cumpliendo un rol fundamental para el reciclado de nutrientes y energía, el soporte de la biodiversidad y sus interacciones, y la estabilidad/resiliencia del sistema frente a los impactos (Gilliam 2007), siendo además refugio y alimento para otros organismos, incluida la regeneración arbórea. También puede ser fuente de recursos para algunas actividades productivas, ej. forraje para el ganado en sistemas silvopastoriles (ej. Peri et al. 2016). Las características del sotobosque de un determinado tipo forestal varían en su área de distribución, siendo influenciadas por cambios en la estructura del dosel, el suelo, el clima y otras características del sitio y su paisaje, tanto naturales como de origen antrópico (ej. Lencinas et al. 2017). El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de algunas características forestales y del ambiente (estructura forestal, suelo, clima, topografía, etc.), individualmente y combinadas, sobre la riqueza de plantas vasculares, la cobertura y la biomasa del sotobosque en bosques de *Nothofagus antarctica* (ñire) en Tierra del Fuego, para determinar cuáles son las más influyentes, y analizar en qué medida pueden ser afectadas por el manejo.

## Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en base a muestreos en 121 rodales de bosque de ñire, dispersos en su área de distribución natural en Tierra del Fuego (Argentina), con distintas estructuras de edades y grados de intervención o uso antrópico. En cada rodal se determinó: la riqueza específica de plantas vasculares por relevamiento florístico, la cobertura de vegetación (%) por intersección puntual en transectas de 50 m, y la bio-

masa aérea (kg/ha) por recolección manual en parcelas de 0,25 m<sup>2</sup> y gravimetría luego del secado en estufa hasta peso constante. Asimismo, se relevaron distintas características locales del ambiente, incluyendo aspectos de estructura forestal, edáficos, climáticos, y otros. Entre las variables de estructura forestal, se determinó altura dominante (m), área basal (m<sup>2</sup>/ha) mediante parcelas de radio variable (Bitterlich 1984), densidad (individuos/ha), índice de densidad del rodal (%), diámetro cuadrático medio (cm), volumen total con corteza (m<sup>3</sup>/ha), cobertura de copas (%), índice de área foliar relativo). Entre las edáficas, relevamos densidad aparente, humedad del suelo, cantidad de carbono, nitrógeno y fósforo (kg/m<sup>2</sup>/30 cm profundidad), materia orgánica (%), y pH. De las climáticas, se analizó la proporción de radiación total respecto de la incidente (%) a partir de fotografías hemisféricas, más 11 variables de temperatura medidas en °C (media anual, amplitud diaria, isothermalidad, estacionalidad, máxima del mes más cálido, mínima del mes más frío, amplitud anual, media del cuartil más húmedo, media del cuartil más seco, media del mes más cálido, media del mes más frío) y 8 variables de precipitación medidas en mm/año (anual, del mes más lluvioso, del mes más seco, estacionalidad, del cuartil más lluvioso, del cuartil más seco, del cuartil más cálido, del cuartil más frío), estos dos últimos grupos de variables obtenidos de WorldClim (Hijmans et al. 2005). Las otras variables estimadas fueron la elevación topográfica por modelos digitales de elevación (Farr et al. 2007), la distancia a los ríos (m), el índice global de aridez, la evapotranspiración potencial global, y la productividad primaria neta según el modelo de Zhao & Running (2010).

En el análisis de datos, se evaluó la correlación entre riqueza, cobertura y biomasa, así como entre las 40 variables analizadas, para detectar aquellas altamen-

1 Laboratorio de Recursos Agroforestales (CADIC CONICET), Tierra del Fuego, Argentina. Contacto: mvlencinas@conicet.gov.ar.

2 Laboratorio de Recursos Agroforestales (CADIC CONICET), Tierra del Fuego, Argentina.

3 Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD UNLP), Buenos Aires, Argentina.

4 Laboratorio de Investigaciones en Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA UNLP), Buenos Aires, Argentina.

5 INTA - UNPA - CONICET, Santa Cruz, Argentina.

te correlacionadas (coeficiente de correlación  $>0.70$ ). Posteriormente, se analizó el efecto de las variables menos correlacionadas entre sí, sobre riqueza, cobertura y biomasa, utilizando modelos lineales generalizados (GLM), con distribución Poisson para la riqueza y Normal para cobertura y biomasa (previa transformación logarítmica de esta última variable). Cuando se aplicó Poisson, se evaluó la sobredispersión, seleccionándose la distribución Binomial Negativa si la misma fue significativa. La normalidad se evaluó mediante el test de Shapiro y la exploración visual del ploteo de los residuos. Los modelos se compararon a través del criterio de información de Akaike (AIC). Se utilizaron los programas Infostat y R para realizar los análisis.

## Resultados

La riqueza de especies varió entre 5 y 43 especies. La cobertura fluctuó entre 38% y 319%, y la biomasa aérea alcanzó entre 60 y aprox. 6.400 kg/ha. La correlación entre riqueza, cobertura y biomasa fue baja ( $<0.45$ ). En cambio, fue muy elevada entre algunas de las variables locales estudiadas (20 variables con correlación  $>0.70$ ). En base a estos resultados, en los análisis posteriores se trabajó con las 20 variables menos correlacionadas.

Las variables que tuvieron más efecto sobre las variaciones de riqueza, cobertura y biomasa del sotobosque en bosques de ñire, evaluadas individualmente, fueron el área basal y el diámetro cuadrático medio, la densidad aparente del suelo, la cantidad de nitrógeno y fósforo del suelo, y la elevación topográfica (Tabla 1). Sin embargo, tuvieron distinta significancia en los modelos y explicaron distintas proporciones de la variabilidad, siendo el diámetro cuadrático medio la variable significativa con mejor ajuste para la riqueza y la biomasa, y la cantidad de fósforo del suelo para la cobertura.

*Tabla 1: Efecto individual de área basal (m<sup>2</sup>/ha), el diámetro cuadrático medio (cm), la densidad aparente del suelo, el contenido de nitrógeno y de fósforo (kg/m<sup>2</sup>/30 cm profundidad) y la elevación (m s.n.m.) sobre la riqueza específica (n° de especies), la cobertura (%) y la biomasa (kg/ha) del sotobosque de los bosques de Nothofagus antartica en Tierra del Fuego, ajustados por modelos lineales generalizados (GLM).*

Variables	Riqueza			Cobertura			Biomasa		
	Sig.	AIC	% VE	Sig.	AIC	% VE	Sig.	AIC	% VE
Área basal	*	840.30	3	NS	1333.80	0	***	275.32	17
Diámetro cuadrático medio	*	<b>796.60</b>	6	NS	1270.00	1	***	<b>259.70</b>	19
Densidad aparente del suelo	***	829.68	12	NS	1333.90	0	NS	292.35	1
Contenido de nitrógeno	**	835.44	7	NS	1331.80	2	*	290.00	3
Contenido de fósforo	NS	842.74	1	**	<b>1323.60</b>	9	NS	291.05	2
Elevación	*	838.61	5	*	1327.90	5	NS	293.91	0

Sig. = significancia (NS =  $>0.05$ ; \*  $<0.05$ ; \*\*  $<0.01$ ; \*\*\*  $<0.001$ ); AIC = criterio de información de Akaike; % VE = proporción de variabilidad explicada. Menor valor de AIC en negrita.

En forma combinada, la riqueza se ajustó mejor con la combinación de área basal, diámetro cuadrático medio, densidad del suelo, cantidad de N y elevación del terreno (Tabla 2), explicando un 43% de su variabilidad. Por otra parte, el modelo que mejor ajustó la cobertura del sotobosque fue el que combinó la cantidad de P y la elevación (Tabla 2), aunque la variabilidad explicada fue baja (15%). Mientras que la biomasa fue mejor modelada por el área basal, el diámetro cuadrático medio y la cantidad de nitrógeno (Tabla 2), explicando un 38% de su variabilidad. En todos los casos, los modelos combinados tuvieron mejor ajuste que los individuales.

*Tabla 2: Efecto combinado de área basal (m<sup>2</sup>/ha), el diámetro cuadrático medio (cm), la densidad aparente del suelo, el contenido de nitrógeno y de fósforo (kg/m<sup>2</sup>/30 cm profundidad) y la elevación (m s.n.m.) sobre la riqueza específica (n° de especies), la cobertura (%) y la biomasa (kg/ha) del sotobosque de los bosques de Nothofagus antarctica en Tierra del Fuego, ajustados por modelos lineales generalizados (GLM).*

Variables	Mejores modelos combinados	Coefficiente	ES	Valor z	Pr(> z )
Riqueza (AIC = 768.83)	Intercepto	3.1114	0.2139	14.548	<0.001
	Área basal	-0.0046	0.0018	-2.476	0.013
	Diámetro cuadrático medio	0.0006	0.0021	2.654	0.008
	Densidad aparente del suelo	0.4197	0.1702	2.467	0.013
	Contenido de nitrógeno	-0.4126	0.1044	-3.951	<0.001
	Elevación	0.0016	0.0005	3.216	0.001
Cobertura (AIC = 1319.4)	Intercepto	172.2870	15.7240	10.957	<0.001
	Contenido de fósforo	-70.7905	21.6180	-3.275	0.001
	Elevación	0.26510	0.1060	2.496	0.014
Biomasa (AIC = 247.05)	Intercepto	7.1424	0.3721	19.197	<0.001
	Área basal	-0.0171	0.0047	-3.596	<0.001
	Diámetro cuadrático medio	0.0239	0.0056	4.242	<0.001
	Contenido de nitrógeno	-0.6805	0.2662	-2.557	0.012

ES = error estándar. Valor z = estadístico GLM. Pr(>|z|) = probabilidad asociada al estadístico. AIC = criterio de información de Akaike.

## Discusión y conclusión

La correlación entre la riqueza, la cobertura y la biomasa no fue tan evidente como lo esperado, lo que indica que se ven afectadas por relativamente distintos factores. La variabilidad del sotobosque fue grande en las tres variables analizadas (coeficiente de variación = 30 al 83%), ya que se abarcó un rango de situaciones naturales (ej. rodales en distinta fase de desarro-

llo) y antrópicas (ej., diferente intensidad de impactos, como ganadería, extracción de postes y leña, o incendios) muy amplio, y en toda el área de distribución natural en Tierra del Fuego. Como era de esperar, la mayor variabilidad se observó en la biomasa, que suele presentar diferencias de varios órdenes de magnitud (Lai et al. 2013). Cabe mencionar que, si bien los bosques de *Nothofagus antarctica* suelen ser más diversos que otros bosques de *Nothofagus* en Tierra del Fuego, los valores de riqueza más elevados que se observaron (>40 especies) no son los más frecuentes (2% de los datos), estando los mismos asociados a cierto grado de impacto, el cual permitiría el ingreso de especies más típicas de pastizales o turbales (ej. Martínez Pastur et al. 2002).

La correlación interna entre las numerosas variables descriptivas analizadas fue mucho mayor a lo esperado, mientras que, de las no correlacionadas, las que mostraron efectos significativos sobre el sotobosque fueron menos que las esperadas. Esto podría deberse a que algunas de ellas tuvieron un rango de variación muy estrecho en el área bajo estudio (ej. las variables de temperatura o lluvia, que tuvieron coeficientes de variación de 2-8%), ya que se estudió un solo tipo de bosque en una única región.

Las variables de estructura forestal que contribuyeron a explicar mejor la riqueza y la biomasa tuvieron coeficientes relativamente bajos, influyendo el diámetro cuadrático medio en forma positiva y el área basal en forma negativa. Ambas están relacionadas al grado de ocupación del sitio, y por lo tanto, a la demanda sobre el uso de los recursos. El contenido de nitrógeno del suelo en el volumen que exploran las raíces del sotobosque presentó una relación inversa con la riqueza y la biomasa, con coeficientes relativamente más altos que otros factores. Esto podría corresponderse a la hipótesis de heterogeneidad de recursos (Ricklefs 1977), que indica que la mayor riqueza ocurre en ambientes donde la heterogeneidad en la disponibilidad de recursos es mayor. Similarmente, esto también podría explicar la relación negativa de la cobertura con el fósforo.

Finalmente, la densidad aparente del suelo y la elevación también fueron significativas para explicar la riqueza, probablemente debido a su relación con el uso ganadero. Si bien los animales generan un incremento de la densidad por pisoteo continuo, estos también estimulan la dispersión y el ingreso de especies desde otros ambientes (aumentando la riqueza). Mientras que, en relación a la elevación, el uso ganadero de los bosques (ej. para protección o como dormideros) es mucho más intenso en zonas bajas que en bosques de

montaña, pudiendo generar tanto pérdidas de riqueza como de cobertura. Esto sería un indicio de cómo el manejo puede afectar al sotobosque.

Si bien fue posible modelar riqueza, cobertura y biomasa con las variables evaluadas, ninguno de estos modelos logró explicaciones altas de la variabilidad observada. Sería interesante explorar otros factores o posibilidades de análisis (ej. partición de datos).

### Agradecimientos

A todos los colaboradores que ayudaron en el muestreo de campo y en el procesamiento en laboratorio en sus múltiples etapas.

### Bibliografía citada

- Bitterlich W. 1984. The relascope idea. Relative measurements in forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux. Londres, Inglaterra. 242 pp.
- Farr TG, Rosen PA, Caro E, Crippen R, Duren R, Hensley S, Kobrick M, Paller M, Rodríguez E, Roth L, Seal D, Shaffer S, Shimada J, Umland J, Werner M, Oskin M, Burbank D, Alsdorf D. 2007. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics* 45: RG2004.
- Gilliam, FS. 2007. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience* 57(10): 845-858.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Lai J, Yang B, Lin D, Kerkhoff AJ, Ma K. 2013. The allometry of coarse root biomass: log-transformed linear regression or non-linear regression? *PLoS One* 8(10): e77007.
- Lencinas MV, Sola FJ, Martínez Pastur GJ. 2017. Variable retention effects on vascular plants and beetles along a regional gradient in *Nothofagus pumilio* forests. *Forest Ecology & Management* 406: 251-265.
- Martínez Pastur GJ, Peri PL, Fernández MC, Staffieri G, Lencinas MV. 2002. Changes in understory species diversity during the *Nothofagus pumilio* forest management cycle. *Journal of Forest Research* 7: 165-174.
- Peri PL, Lencinas MV, Bousson J, Lasagno R, Soler R, Bahamonde H, Martínez Pastur G. 2016. Biodiversity and ecological long-term plots in Southern Patagonia to support sustainable land management: The case of PEBANPA network. *J. for Natature Conservation* 34: 51-64.
- Ricklefs RE. 1977. Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *American Naturalist* 111: 376-381.
- Zhao M, Running SW. 2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329: 940-943.