

# Las lengas de altura, sensores permanentes del cambio climático

Ana M. Srur<sup>1\*</sup>, Ricardo Villalba<sup>1</sup>, Milagros Rodríguez-Catón<sup>1</sup>,  
Mariano M. Amoroso<sup>2,3</sup> y Eugenia Marcotti<sup>1,4</sup>

Ana M. Srur<sup>1\*</sup>, Ricardo Villalba<sup>1</sup>, Milagros Rodríguez-Catón<sup>1</sup>, Mariano M. Amoroso<sup>2,3</sup>  
y Eugenia Marcotti<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA),  
CONICET, CCT-Mendoza, C.C. 330, 5500 Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural,  
Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro, El Bolsón, Río Negro, Argentina.

<sup>3</sup>CONICET, CCT Patagonia Norte, S.C. de Bariloche, Río Negro, Argentina.

<sup>4</sup>Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA) CONICET-UNJu, Jujuy, Argentina.

\*e-mail: asrur@mendoza-conicet.gov.ar

## [Resumen]

Los individuos de una especie ubicados en los extremos de su distribución geográfica, están expuestos a condiciones ambientales más extremas que el resto de la población. Estos individuos son más sensibles a los cambios ambientales que favorecen su establecimiento o aceleran su mortalidad. En el presente estudio se determinó la relación entre las variaciones regionales en el clima y la dinámica de establecimiento de la lenga (*Nothofagus pumilio*) en el límite superior del bosque en la Patagonia norte. Se estudió la densidad de individuos establecidos sobre el límite arbóreo, en conjunto con los patrones temporales de establecimiento en tres sitios ubicados a lo largo de un gradiente de precipitación. El patrón de establecimiento de la lenga se comparó con las variaciones regionales de temperatura y precipitación, así como con índices de circulación atmosférica relacionados con el clima regional incluyendo la Oscilación Decenal del Pacífico (en inglés, PDO). En todos los sitios se registró un notable aumento en el número de árboles establecidos sobre el límite superior del bosque desde mediados de la década del 70 hasta finales de la década del 90. El periodo de mayor establecimiento coincide con el aumento de la temperatura de la primavera-verano asociada a la fase positiva de la PDO.

## [Abstract]

Individuals that grow at the extremes of their geographic species distribution, are exposed to more extreme environmental conditions than the rest of the population. These individuals are more sensitive to environmental changes that favor their establishment or accelerate their mortality. In the present study, the relationship between regional variations in climate and the dynamics of establishment of individuals of *Nothofagus pumilio* on the treeline of north Patagonia was determined. The density of individuals established in the treeline was studied, along with the temporal patterns of establishment in three sites located along a precipitation gradient. The pattern of establishment of *N. pumilio* was compared to the regional variation in temperature, as well as the index of atmospheric circulation related to the regional climate (Pacific Decadal Oscillation). A notable increase of tree establishment occurred from mid 1970's to late 1990's in all the sites. The greatest establishment coincides with the increase in spring-summer temperature associated with the positive phase of the PDO.



Esta publicación contribuye al conocimiento de la dinámica del bosque sobre la línea de árboles y el efecto que el clima tiene sobre los individuos que crecen en ese ambiente. Esta información aporta las herramientas básicas para el manejo de los bosques de altura frente a los cambios climáticos que están ocurriendo en el área. Por otra parte, pretende contribuir a aumentar la factibilidad de proteger los bosques de lenga en especial en la zona del Parque Nacional Nahuel Huapi.



## INTRODUCCIÓN

Las poblaciones que crecen en los límites de distribución de una especie se encuentran expuestas a condiciones ambientales más adversas que aquellas ubicadas en sectores centrales de su área de cobertura. Las variaciones en las condiciones ambientales pueden facilitar el establecimiento o adelantar la mortalidad de los individuos cercanos al límite de distribución, causando, en el largo plazo, avances sobre nuevas áreas o retracciones en su área original. Por ello, los estudios de la dinámica de las poblaciones ubicadas en los límites de distribución de una especie ofrecen excelentes oportunidades para determinar sus respuestas a los cambios en el clima.

En las zonas montañosas con bosques de las regiones templadas y frías, el límite superior de los árboles está generalmente determinado por la temperatura, la cual oscila entre 5 y 7°C en el período de crecimiento (Tranquilini, 1979; Jobbagy y Jackson, 2000; Grace et al., 2002; Camarero y Gutiérrez, 2004; Körner y Paulsen, 2004; entre otros). A su vez, es importante notar que las características topográficas y edáficas del sitio, en combinación con las interacciones entre especies, crean una alta heterogeneidad en el hábitat, y por lo tanto, en la respuesta de la vegetación a las variaciones del clima. Para el norte de Patagonia, algunos estudios muestran que el establecimiento de la lenga (*Nothofagus pumilio*) aumentó en la década del 80 en respuesta a un aumento de la temperatura, que estuvo acompañado por condiciones favorables de humedad (Daniels y Veblen, 2004).

El enfoque más utilizado para estudiar la respuesta de la vegetación a los cambios climáticos ha consistido en cuantificar los patrones de establecimiento de nuevos individuos en los límites de su distribución y relacionarlos con cambios en la temperatura y/o la precipitación. Sin embargo, es posible que otras medidas de la variabilidad climática, como la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), puedan estar relacionados con mayor fuerza a los cambios biológicos que los registros independientes de la temperatura o de la precipitación. Se ha postulado que estos índices representan las variaciones de un conjunto de parámetros climáticos, abarcando simultáneamente cambios en la temperatura, la precipitación, los vientos y la radiación solar, entre otros (Stenseth et al., 2003). Por ello, los mismos pueden presentar relaciones más estrechas con los cambios en la dinámica de las poblaciones que las variaciones individuales de los parámetros meteorológicos.

La PDO es una variación en la temperatura del Pacífico que afecta el clima en diferentes zonas del continente. Alterna entre dos fases una más cálida o positiva y otra fría o negativa. Para la región de los Andes patagónicos, se estima un aumento entre 1 y 3°C de las temperaturas medias hacia fines del siglo XXI, acompañado por una reducción de las precipitaciones estivales del 10 al 30% (Parry et al., 2013) dependiendo de la ubicación a lo largo de la Cordillera. Sin embargo, estudios recientes



Figura 1: A- Establecimiento de nuevos individuos de *Nothofagus pumilio* por encima del límite altitudinal superior del bosque en el área de cerro Tronador, Río Negro, Argentina

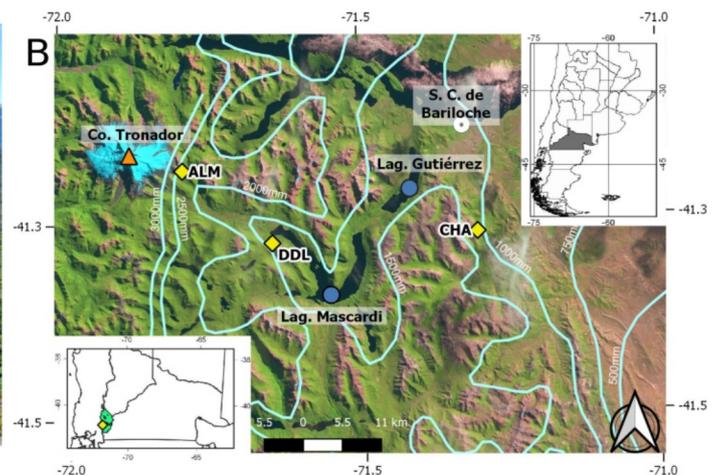
muestran que a partir de 1999 se ha reportado una marcada desaceleración en el aumento de la temperatura a escala global, hecho que muchos autores atribuyen a un cambio de fase, de positiva a negativa, en la PDO. En el norte de la Patagonia, este cambio a la fase negativa de la PDO estaría asociado con condiciones más secas y con temperaturas más bajas que en la fase positiva (Trenberth et al., 2014; Vuille et al., 2015).

El objetivo del presente estudio fue determinar las relaciones entre la dinámica del establecimiento de *Nothofagus pumilio* sobre el límite superior del bosque y los cambios climáticos regionales a lo largo de un gradiente de precipitación en el Parque Nacional Nahuel Huapi. Para ello, se estudiaron los patrones temporales de establecimiento en tres sitios representativos de la línea superior de árboles y se compararon dichos patrones con las variaciones en la temperatura, la precipitación y el índice PDO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El límite superior del bosque está dominado, en casi toda su extensión, por lenga, presentando en general, formas achaparradas por efecto de la gran carga de nieve y por su gran plasticidad morfológica. Este límite superior es bien abrupto sin una transición gradual a los prados alto-andinos (Fig. 1A; Cuevas, 2000; Daniels y Veblen, 2003). Los tres sitios de estudio, La Almohadilla (ALM, sector más húmedo), cerro Diego Flores de León (DDL, sector más seco o de humedad intermedia), y cerro Chaluhuaco (CHA, sector seco), se encuentran ubicados en el Parque Nacional Nahuel Huapi, provincia de Río Negro, Argentina (Fig. 1B). Los muestreos se realizaron durante los veranos 2008-2009 y 2009-2010. Se establecieron dos parcelas rectangulares (aprox. 600 m<sup>2</sup>) en cada uno de los 3 sitios, partiendo desde el límite arbóreo continuo hacia la zona de pastizales altoandinos, con el objetivo de determinar los nuevos establecimientos por encima del límite continuo del bosque (Fig. 1A). En cada parcela se registró la totalidad de los individuos de lenga con el fin de precisar la fecha de establecimiento de los mismos. Para esto, se tomaron muestras con barrenos de incrementos lo más cercano posible a la base del individuo a mostrar. Los barrenos de incrementos son herramientas que se utilizan para extraer muestras de los árboles o plantulas sin realizar un daño considerable en los mismos.

Se emplearon diversas pruebas estadísticas con el objetivo de establecer diferencias en la densidad de individuos, diámetro, altura y edad de los individuos de lenga en las diferentes parcelas seleccionadas. Con los datos de temperatura obtenidos de las estaciones meteorológicas de Bariloche, Lago Mascaradi y Esquel se construyó una media regional para estudiar su relación con el establecimiento de los ejemplares. El índice de PDO se encuentra disponible en Internet (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO>).



B- Ubicación de los sitios de muestreo a lo largo del gradiente de precipitación. Isohietas tomadas de Cordon et al. (1993).

## RESULTADOS

### Estructura sobre la línea del bosque

A lo largo del gradiente de precipitación, la densidad de individuos en los sitios seco y mésico (CHA y DDL) fue significativamente menor (media de 84,4 y 240 individuos por hectárea, respectivamente) que en el sitio húmedo (media de 4975 individuos por hectárea). Asimismo, estos sitios presentaron individuos con mayor diámetro en la base y mayor altura (Fig. 2). Los diámetros medios para estos sectores fueron 39 mm y 46 mm en los sitios secos y mésicos (sin diferencias significativas entre ellos) y sólo 15 mm en el sitio húmedo. Los individuos con mayor altura (73 cm) se encontraron en el sitio DDL. En tanto, los individuos fueron más bajos se hallaron en el sitio más húmedo (ALM). La edad media de los individuos, por su parte, no fue significativamente diferente entre sitios (Fig. 2).

### Patrones temporales de establecimiento y su relación con el clima

En los tres sitios de estudio, el establecimiento de los individuos de lenga sobre el límite superior del bosque se concentró en un periodo de aproximadamente dos décadas. Este aumento en el establecimiento en los tres sitios, coincide con un incremento en la temperatura de primavera-verano desde el año 1976 (Fig 3). Asimismo, los cambios de la fase de la PDO anual concuerdan con los cambios observados en el establecimiento, coincidiendo la fase positiva y la fase negativa de la PDO con el aumento y la disminución del establecimiento, respectivamente (Fig. 3).

## Discusión y Conclusiones

El presente estudio detalla los patrones temporales de establecimiento de la lenga por sobre el límite superior del bosque y establece su relación con las condiciones ambientales en un gradiente de precipitación en el Parque Nacional Nahuel Huapi. El establecimiento de nuevos individuos sobre el límite superior del bosque está modulado particularmente por los cambios en la temperatura, y posiblemente por otros parámetros ambientales integrados por la PDO. A su vez, el estudio del ancho de los anillos de crecimiento, nos permitió establecer que las condiciones climáticas que favorecen el establecimiento de nuevos individuos también beneficiarían el crecimiento de los individuos adultos en el límite superior del bosque.

Los establecimientos más abundantes y la mayor densidad registrada en los sitios húmedos, podría estar relacionado con mejores condiciones ambientales para la supervivencia de los individuos, debido a la alta sensibilidad de las plántulas de lenga al déficit hídrico. El establecimiento abundante en sitios más húmedos del bosque favorecería la formación de bancos de plántulas. En zonas con mayor cobertura de nieve, las plántulas mantendrían bajos niveles de crecimiento hasta la ocurrencia de periodos con temperaturas más elevadas que al prolongar la duración de la estación de crecimiento, facilitarían el rápido desarrollo de los individuos establecidos. Para Tierra del Fuego, se han documentado individuos de lenga de más de 40 años de edad que mantienen tasas reducidas de crecimiento al encontrarse suprimidos en el sotobosque formando un banco de plántulas (Cuevas, 2002).

Los patrones de establecimiento muestran un aumento muy marcado desde mediados de la década del 70 seguido por reclutamiento casi continuo, hasta fines de la década del 90. Nuestros resultados muestran diferencias significativas entre el número de individuos establecidos antes y después de 1976, momento donde se registró un aumento en la temperatura media de la estación de crecimiento de aproximadamente 0.7 °C.

El establecimiento documentado en los tres sectores del gradiente de precipitación en el Parque Nahuel Huapi, es bastante coincidente entre sitios y pareciera estar más asociado a las variaciones decenales que a las interanuales en la temperatura regional, particularmente al aumento registrado desde mediados de la década de 1970. Existen evidencias que la PDO influye sobre los patrones de variabilidad decenal en las temperaturas y precipitaciones en el norte de la Patagonia (Villalba, 2007; Garreaud et al., 2009; Vuille et al., 2015). Recientemente, un cambio de fase positiva a negativa en la PDO ha sido postulado alrededor de 1998-1999 (Trenberth et al., 2014). En todos los sitios, el periodo de alto establecimiento fue coincidente con la fase positiva de la PDO (Fig. 3). La disminución en el establecimiento a partir de fines de los 90 concuerda con el reciente inicio de la fase negativa de la PDO, asociada a una mayor variabilidad en las temperaturas, alternando primavera-verano cálidos con otros más frescos en el norte de la Patagonia (Trenberth et al., 2014; Vuille et al., 2015). Este trabajo enfatiza la importancia de los estudios sobre la dinámica del bosque en su límite superior, ya que representan una clara respuesta a las variaciones climáticas de la región.

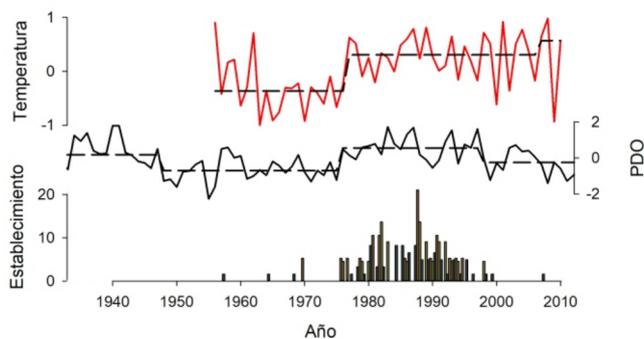


Figura 2: Diferencias entre las variables estructurales de los individuos muestreados para los tres sitios de estudio a lo largo del gradiente de precipitación. Challhuaco = CHA, Diego Flores de León = DDL, y La Almohadilla = ALM. Diferentes letras muestran diferencias estadísticamente significativas en  $p < 0.05$ .

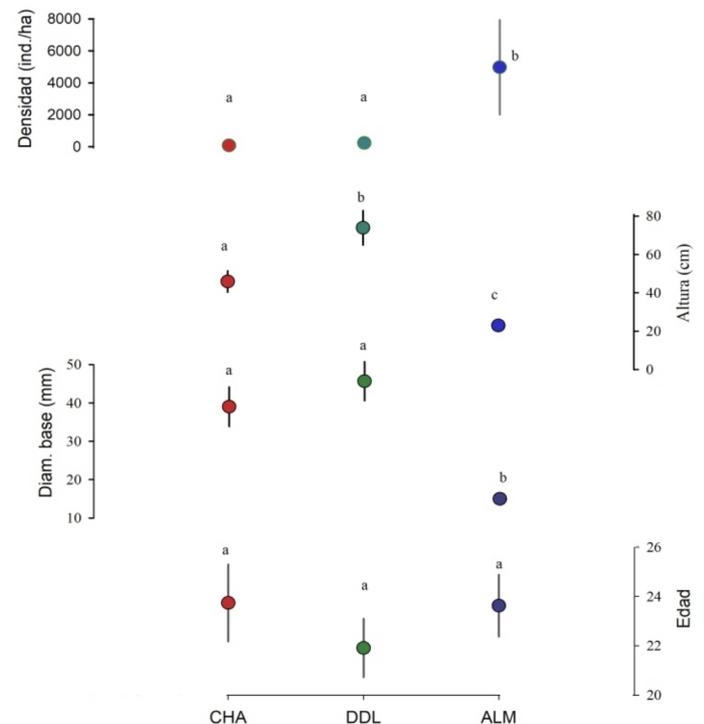


Figura 3: Frecuencia de establecimiento de las plántulas sobre la línea superior de árboles y variaciones en la temperatura regional de primavera-verano y en el índice anual de Oscilación Decenal del Pacífico (PDO).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alberto Ripalta, Daniel Falaschi, Silvia Delgado, Emilio Bianchi y Jorge Puga por su ayuda en el trabajo de campo, al Servicio Meteorológico Nacional que nos proporcionó los datos climáticos. Por otro lado, también queremos agradecer a la Administración de Parques Nacionales por haber facilitado estos estudios.

## BIBLIOGRAFÍA

Camarero, J.J. y E. Gutiérrez. 2004. Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic change* 63: 181–200.

Cuevas, J.G. 2002. Episodic regeneration at the *Nothofagus pumilio* alpine timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology* 90: 52–60.

Cuevas, J.G. 2000. Tree recruitment at the *Nothofagus pumilio* alpine timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology* 88: 840–855.

Daniels, L.D. y T.T. Veblen. 2003. Altitudinal treelines of the southern Andes near 40oS. *The Forestry Chronicle* 79: 237–241.

Daniels, L.D. y T.T. Veblen. 2004. Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia. *Ecology* 85: 1284–1296.

Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R. y J. Marengo. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 180–195.

Grace, J., Berninger, F. y L. Nagy. 2002. Impacts of Climate Change on the Tree Line. *Annals of Botany* 90: 537–544.

Jobbagy, E.G. y R.B. Jackson. 2000. Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres. *Global Ecology and Biogeography* 9: 253–268.

Körner, C. y J. Paulsen. 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of biogeography* 31: 713–732.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J. & C.E. Hanson. 2013. IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change], 2014: Climate Change (AR5): Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Stenseth, N.C., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K.-S., Yoccoz, N.G. y B. Ådlandsvik. 2003. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 270: 2087–2096.

Tranquilini, W. 1979. General Features of the Upper Timberline. En *Physiological ecology of the alpine timberline*, pp. 1–4.

Trenberth, K.E., Fasullo, J.T., Branstator, G. y A.S. Phillips. 2014. Seasonal aspects of the recent pause in surface warming. *Nature Climate Change* 4: 911–916.

Villalba, R. 2007. Tree-ring evidence for tropical-extratropical influences on climate variability along the Andes in South America. *PAGES news* 15: 23–25.

Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W.S. y B. Cáceres. 2015. Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120: 3745–3757.



### Grupo de trabajo:

Nuestras líneas de investigación abarcan el estudio del crecimiento de los árboles y arbustos, la determinación de las relaciones entre el crecimiento y los factores climáticos, el establecimiento de la estructura de un bosque, la cuantificación de los impactos naturales y antrópicos en la dinámica del bosque y la reconstrucción de las variaciones climáticas pasadas a partir de los anillos de crecimiento.