

Muerte foliar en plantines de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch por efecto de temperaturas de congelamiento. Resultados preliminares

Leaf death in *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch seedlings due to freezing temperatures. Preliminary results

Julieta Gabriela Arco Molina ^{1,2}, Martín Ariel Hadad ^{1,3}, Francisco Gonzalez Antivilo ⁴, Fidel Alejandro Roig ^{1,2}

Originales: *Recepción: 20/05/2014 - Aceptación: 20/02/2015*

Nota científica

RESUMEN

En este trabajo se comunica la respuesta fenológica que experimenta el follaje de plantines de *Araucaria araucana* sometidos a cuatro niveles de temperaturas de congelamiento (-2°C, -6°C, -10°C y -15°C), inducidas durante la temporada de activo crecimiento vegetal. Para ello se utilizaron plantines de vivero y los distintos niveles de congelamiento fueron producidos en freezer mediante control por computador. Los resultados mostraron que, a tres semanas del tratamiento térmico, el 90% de los plantines de *A. araucana* mantuvieron vivas todas sus hojas hasta -6°C, mientras que al descender la temperatura del aire a -10°C o menos, los plantines presentaron porcentajes variables de hojas necrosadas hasta muerte total del follaje. En condiciones naturales, heladas tardías en el norte de Patagonia expondrían los plantines de *A. araucana* a consecuencias potencialmente letales. Por ello, un mayor conocimiento de la respuesta de *A. araucana* a extremos de frío resulta de particular utilidad para interpretar procesos de dinámica forestal y establecer pautas de manejo y conservación frente a escenarios de cambio climático.

Palabras claves

período de crecimiento • sensibilidad al frío • temperatura de congelamiento • norte de Patagonia

-
- 1 Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental. Inst. Argentino de Nivología, Glaciología y Cs. Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico (CCT) CONICET-Mendoza, CC 330, Mendoza, Argentina, Av. Ruiz Leal s/n, C. P. 5500, Mendoza, Argentina. jarco@mendoza-conicet.gob.ar
 - 2 Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500. C. P. M5528AHB, Luján de Cuyo. Mendoza. Argentina.
 - 3 Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera (CIGEOBIO)-CONICET-San Juan, (Fac. de Cs. Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN) de la Univ. Nac. de San Juan (UNSJ). Argentina. Av. José Ignacio de la Rosa 590 oeste. Rivadavia. CP: J5402DCS.
 - 4 Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

ABSTRACT

In this work we report the phenological response experienced by the foliage of *A. araucana* seedlings to four levels of freezing temperatures (-2 °C, -6 °C, -10 °C and -15 °C) induced during the active plant growth season. Nursery seedlings were exposed to different frost levels in a freezer under computer control. The results showed that after three weeks of the thermal treatments, 90% of the *A. araucana* seedlings remained with living leaves at temperatures up to -6 °C, whereas when the temperature decreased to -10 °C or lower, the seedlings showed a variable percentage of dead leaves and even total death of the foliage. Under natural conditions, late frosts in northern Patagonia may expose seedlings of *A. araucana* to potentially lethal consequences. Therefore, a better understanding of the response of *A. araucana* to extreme low temperatures is particularly useful for interpreting forest dynamics processes and for management and conservation guidelines in relation to future climate change scenarios.

Keywords

growing season • sensibility to cold • freezing temperature • northern Patagonia

INTRODUCCIÓN

Eventos climáticos extremos inciden en el estado, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas boscosos (1), produciendo respuestas diferenciales que pueden reconocerse a nivel de bosque, árbol o tejido (6). En regiones de altas latitudes se ha indicado que las heladas o largos períodos con bajas temperaturas durante la temporada de crecimiento constituyen uno de los eventos extremos del clima con mayor incidencia en la fisiología de las plantas (11). Climatológicamente, un evento de helada se produce cuando la temperatura del aire medida en abrigo meteorológico desciende a valores por debajo de 0 °C. De acuerdo con la época del año en que esto ocurre, este evento puede catalogarse como helada de primavera (tardía) o helada de otoño (temprana) (3). A escala geográfica, el régimen de heladas determina la distribución de animales y plantas, mientras que a escala estacional, puede limitar el crecimiento y la reproducción vegetal (12). Además,

el límite de resistencia de las plantas a temperaturas de congelamiento varía según especie, estado sanitario, etapa fenológica, tonicidad celular, como también según las condiciones físicas acompañantes a una baja térmica, su duración y secuencia en días sucesivos, entre otros (19).

Para el norte de Patagonia se registra un período medio libre de heladas de 90 días (18), siendo el 1 de diciembre la fecha del último evento de helada y el 21 de marzo la fecha del primero (4). Este período de riesgo de heladas, ya sea correspondiente a heladas tempranas como tardías, concuerda en parte con el período de activo crecimiento vegetal y formación del anillo de crecimiento de las especies leñosas de la región (21). Considerando las predicciones de aumento de la temperatura a nivel global en los próximos 50 años (13, 15), se esperaría que las plantas en el norte de Patagonia experimenten brotaciones anticipadas y mayor

extensión del período de crecimiento, exponiéndolas peligrosamente a heladas tardías (5, 12, 14, 16). Conocer mejor esta faceta de la interacción planta-clima, es relevante para comprender reacciones de la vegetación a consecuencias del calentamiento global (20).

Araucaria araucana, conocida comúnmente como "pehuén", es una longeva conífera siempreverde endémica de los bosques templados de Argentina y Chile entre 37°20' y 40°20' de latitud sur y en altitudes entre 900 a 1800 m (17, 21). La restringida distribución regional, el lento crecimiento y la limitada capacidad de dispersión de *A. araucana* han sido justificativos para su inclusión en el Apéndice I de CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora; <http://www.cites.org/eng/app/appendices.php>), además de figurar como especie "en peligro" en la Lista Roja de Especies Amenazadas 2014 de la IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; <http://www.iucnredlist.org/details/31355/0>).

Se ha observado en *A. araucana* anillos de crecimiento con tejidos dañados por efectos de congelamiento, denominados anillos de helada (9, 10). También se ha sugerido que a medida que el espesor de la corteza en esta especie es mayor, aumenta la protección del cambium vascular a fríos extremos (2).

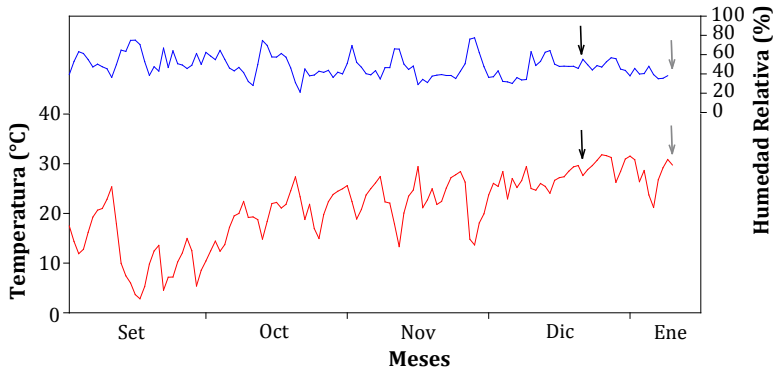
Sin embargo, no hay información sobre las consecuencias de temperaturas bajas extremas en hojas de *A. araucana*. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es conocer la respuesta fenológica del follaje de plantines de pehuén a temperaturas de congelamiento producidas durante la temporada de activo crecimiento, bajo la hipótesis de que existe un umbral térmico a partir del cual el follaje sufre daños irreversibles. Esta información es relevante

para entender respuestas de las plantas a eventos extremos de clima y sus posibles consecuencias en términos de modificaciones en la estructura, reclutamiento y distribución de los bosques naturales e implantados de pehuén bajo escenarios de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este ensayo se emplearon plantines de *A. araucana* de 9 años de edad producidos en el Vivero Provincial de Villa Pehuenia, Neuquén, Argentina. Los mismos fueron trasladados al Vivero del Centro Científico Tecnológico (CCT) CONICET Mendoza en abril de 2013, donde fueron colocados bajo tela mediasombra y regados a capacidad de campo hasta el momento del ensayo.

Los experimentos de frío extremo fueron realizados en diciembre de 2013, es decir, ya iniciado el crecimiento estacional de las plantas, mediante las facilidades de la Cátedra de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. En la figura 1 (pág. 62) se muestran las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) bajo las cuales vegetaban los plantines antes y después del ensayo y hasta el momento del control fenológico del experimento. Los plantines se sometieron a cuatro tratamientos que consistieron en aplicar temperaturas de congelamiento hasta: -2°C, -6°C, -10°C y -15°C. Estos umbrales fueron determinados sobre la base de las mínimas temperaturas ocurridas durante el período de crecimiento y registradas por la estación meteorológica del Vivero Provincial de Villa Pehuenia. En total se colocaron 20 plantines en freezer a temperatura inicial de 10°C, y se programó una tasa de descenso de temperatura de 4°C h⁻¹.



Las flechas negras indican el momento de realización del ensayo y las flechas grises el momento de la inspección visual. Los datos fueron extraídos de la estación climática del CCT CONICET Mendoza.

The black arrows indicate the time of the experiment and gray arrows indicate the time of the visual inspection. Data were extracted from the gauge station of CCT CONICET-Mendoza.

Figura 1. Condiciones de temperatura media diaria (curva inferior) y humedad relativa media diaria (curva superior) en que se desarrollaban los plantines durante los meses previos y posteriores al ensayo y hasta el monitoreo fenológico.

Figure 1. Mean daily temperature (lower curve) and average daily relative humidity (upper curve) in which the seedlings were developed during the months before and after the experiment, including the date of the subsequent phenological control.

Los umbrales de temperatura en freezer se controlaron mediante el programa TermoSoftv 2.1.0. Al momento de alcanzar cada uno de los niveles de temperatura deseados, 5 plantines fueron retirados del freezer y trasladados nuevamente a condiciones de vivero. Luego de tres semanas de realizado el ensayo de frío se inspeccionó visualmente el estado de vitalidad de las hojas en relación con el testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el control posterior al experimento los plantines que fueron sometidos a -2°C y -6°C , (foto 1 A-B, pág. 63) en su mayoría no evidenciaron cambios en el estado de vitalidad en sus hojas respecto al testigo; solo 1 plantín del tratamiento de -6°C presentó 25%

de sus hojas necrosadas (tabla 1, pág. 63). En el tratamiento de -10°C se observaron distintos niveles de follaje necrosado: 2 plantines al 50%, 2 plantines al 75% y 1 plantín al 100% (foto 1 C, pág. 63; tabla 1, pág. 63). En el tratamiento de -15°C se observó que los 5 plantines tenían 100 % de sus hojas muertas (foto 1 D, pág. 63; tabla 1, pág. 63). Estos resultados muestran que el 90% de los plantines mantuvo todas sus hojas vivas hasta el nivel de congelamiento de -6°C . Al descender la temperatura del aire a -10°C o menos, se observaron plantines con porcentaje variable de hojas necrosadas hasta total muerte de follaje. Esto podría estar indicando que el umbral térmico a partir del cual se producen daños irreversibles en el follaje de los plantines de *A. araucana* se encuentra en el rango entre -6°C y -10°C .



Foto 1. Plantines de *Araucaria araucana* con diferentes respuestas a distintos niveles de temperaturas de congelamiento. A) tratamiento -2°C ; B) tratamiento -6°C ; C) tratamiento -10°C y D) tratamiento -15°C . En todos los casos, los dos plantines de la izquierda corresponden al control.

Photo 1. Responses of *Araucaria araucana* seedlings under different levels of freezing temperatures. A) treatment at -2°C ; B) treatment at -6°C ; C) treatment at -10°C and D) treatment at -15°C . In all cases, the two seedlings on the left correspond to the control.

Tabla 1. Número de plantines de *Araucaria araucana* en relación con cada tratamiento térmico y al porcentaje de hojas muertas.

Table 1. Number of *Araucaria araucana* seedlings in relation to each thermal treatment and the percentage of dead leaves.

Tratamiento térmico	% Hojas muertas				
	0	25	50	75	100
-2°C	5				
-6°C	4	1			
-10°C			2	2	1
-15°C					5

Durante los últimos años el norte de Patagonia ha experimentado un aumento de la temperatura media y disminución de la precipitación (7, 21). Este incremento de la temperatura según los modelos establecidos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2007), podría acentuarse durante las próximas décadas. En este contexto, ambientes con menos humedad podrían vincularse con una mayor amplitud térmica y en consecuencia a incrementos en la intensidad y frecuencia de eventos de helada (4). Esto podría exponer los plantines de *A. araucana* a eventos de frío extremo durante momentos de activo crecimiento, con consecuencias potencialmente letales para los mismos.

Por otra parte, se ha sugerido que la cantidad y severidad de los eventos de helada podrían ser menos extremos en condiciones ambientales bajo dosel de bosque cerrado que de bosque abierto (8, 16). Sobre la base de estas observaciones, podría postularse que bosques xéricos y abiertos de *A. araucana* presentarían una mayor exposición a fríos extremos y por lo tanto un mayor riesgo de daños por heladas en los plantines respecto de aquellos bosques méxicos y más densos. La mayor susceptibilidad ante eventos de helada podría tener consecuencias directas en la ecología de los bosques de *A. araucana*, particularmente en lo relativo a su dinámica de regeneración.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, C. D.; Macalady, A. K.; Chenchouni, H.; Bachelet, D.; McDowell, N.; Vennetier, M.; Kitzeberger, T.; Rigling, A.; Breshears, D. D.; Hogg, E. H.; Gonzalez, P.; Fensham, R.; Zhang, Z.; Castro, J.; Demidova, N.; Lim, J.; Allard, G.; Running, S. W.; Semerci, A.; Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 259(4): 660-684.
2. Arco Molina, J. G. 2013. Dendroclimatología de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch en el Noroeste Patagónico (Neuquén, Argentina): Análisis de la incidencia de heladas en anillos de crecimiento. Tesis de grado en Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 70 p.
3. Burgos, J. J. 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del INTA, Vol. III. Buenos Aires, Argentina. 388 p.

CONCLUSIONES

Los resultados expuestos en esta nota muestran que los plantines de *A. araucana* presentan severos daños en su follaje cuando la temperatura del aire desciende a valores inferiores a -6°C durante el inicio de la temporada de crecimiento.

Debido a los cambios climáticos que actualmente experimenta el norte de Patagonia, incrementos en la temperatura media del aire inducirían brotación temprana y extensión del período de crecimiento, exponiendo las plantas a un mayor riesgo de daños por heladas.

Conocer la respuesta de los plantines de pehuén a temperaturas extremas de frío y determinar el umbral térmico de resistencia a las mismas durante el período de máxima actividad cambial, resulta de particular utilidad para interpretar procesos de dinámica forestal.

Sería importante, además, extender estas observaciones a plantines de distinta procedencia y a diferentes momentos de la temporada de crecimiento, información que sería relevante en la interpretación de la ecología de la especie en todo su rango de distribución. Este conocimiento facilitaría la gestación e implementación de pautas de manejo y conservación de estos bosques en el actual escenario de cambios de clima.

4. Bustos, C. 2001. Heladas en el sector precordillerano nordpatagónico. Comunicación Técnica 22, INTA Bariloche. Bariloche, Argentina.
5. Cannell, M. G. R.; Smith, R. I. 1986. Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees. *Journal of Applied Ecology*. 23(1): 177-191.
6. Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. New York Academic Press. New York, USA. 567 p.
7. Garreaud, R. D.; Vuille, M.; Compagnucci, R.; Marengo, J. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 281(3-4): 180-195.
8. Gurskaya, M. A.; Shiyatov, S. G. 2006. Distribution of frost injuries in the wood of conifers. *Russian Journal of Ecology*. 37(1): 7-12.
9. Hadad, M. A.; Amoroso, M. M.; Roig, F. A. 2012. Frost ring distribution in *Araucaria araucana* trees from the xeric forests of Patagonia, Argentina. *Bosque*. 33(3): 309-312.
10. Hadad, M. A.; Amoroso, M. M.; Arco Molina, J. G.; Mundo, I.; Roig, F. A. 2013. Frost rings records in *Araucaria araucana* forests from northern Patagonia since AD 1256. Second American Dendrochronology Conference. 13 - 17 May Tucson, Arizona, USA.
11. Hantemirov, R. M.; Gorlanova, L. A.; Shiyatov, S. G. 2004. Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since AD 742 inferred from tree rings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 209(1-4): 155-164.
12. Inouye, D. W. 2000. The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology Letters*. 3: 457-463.
13. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
14. Kellomäki, S.; Hänninen, H.; Kolström, T. 1988. Model computations on the impacts of the climatic change on the productivity and silvicultural management of the forest ecosystem. *Silva Fennica*. 22: 293-305.
15. Langvall, O. 2011. Impact of climate change, seedling type and provenance on the risk of damage to Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in Sweden due to early summer frosts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26 (S11): 56-63.
16. Man, R.; Kayahara, G. J.; Dang, Q.; Rice, J. A. 2009. A case of severe frost damage prior to budbreak in young conifers in Northeastern Ontario: Consequence of climate change? *The Forestry Chronicle*. 85(3): 453-462.
17. Montaldo, P. 1974. La Bioecología de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch. Boletín 46/48, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigaciones y Capacitación, Mérida, Venezuela.
18. Movia, C. P.; Ower, G. H.; Perez, C. E. 1982. Estudio de la vegetación natural de la provincia de Neuquén. Provincia del Neuquén, Tomo I: Relevamiento. Ministerio de Economía y Hacienda, Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales, Argentina. 163 p.
19. Pascale, A. J.; Damario, E. 2004. Bioclimatología agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 550 p.
20. Prentice, I. C. 1992. Climate change and long-term vegetation dynamics. En: Glenn-Lewin, D. C.; Peet, R. K.; Veblen, T. T. (Eds.). Plant succession: theory and prediction. Chapman and Hall, New York, USA. 293-339.
21. Roig, F. A.; Villalba, R. 2008. Understanding climate from Patagonian tree rings. *Developments in Quaternary Sciences*. 11: 411-435.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por la financiación del proyecto PICT 2010/2679. Al Vivero Provincial "Luis Alberto Puel" de Villa Pehuenia, Neuquén, por proveer plantines de *A. araucana* para la realización del ensayo.
A la Cátedra de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, por facilitarnos el ensayo experimental.