

# Monitoreo del crecimiento arbóreo en bosques nativos argentinos: una valiosa herramienta para estimar los impactos del cambio climático

Ana Srur<sup>1</sup>, Ricardo Villalba<sup>2</sup>, Alejandro Martínez-Meier<sup>3</sup>, Reinhardt Brand<sup>4</sup>, Mariano Amoroso<sup>5</sup>, Juan Alvarez<sup>6</sup>, Lucas Bianchi<sup>7</sup>, Cecilia Blundo<sup>8</sup>, Stella Bogino<sup>9</sup>, Julieta Carilla<sup>10</sup>, Martina Chacón<sup>11</sup>, Guillermina Dalla-Salla<sup>12</sup>, Valérie Daux<sup>13</sup>, Juan Diez<sup>14</sup>, Eugenia Ferrero<sup>15</sup>, Amaru Magnin<sup>16</sup>, Agustina Malizia<sup>6</sup>, Mariano Morales<sup>17</sup>, Ignacio Mundo<sup>18</sup>, Pablo Peri<sup>19</sup>, Pedro Pitte<sup>20</sup>, Peter Prislán<sup>21</sup>, Juan Quesada<sup>22</sup>, Marcos Radins<sup>22</sup>, Milagros Rodríguez-Catón<sup>23</sup>, Anne Sophie Sergent<sup>24</sup>, Silvana Sione<sup>25</sup>, Leticia Vega<sup>26</sup>, Pablo E. Villagra<sup>27</sup>, Daiana Wouters<sup>27</sup>

**Palabras Clave:** Crecimiento radial, dendrómetros de punto, fenología cambial.

## Introducción

Los cambios climáticos acontecidos en las últimas décadas han afectado la vitalidad y el estado de conservación de los bosques, y con ello, los bienes y servicios que proporcionan. Estimar la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales ante los cambios rápidos y direccionales del clima como los incrementos sostenidos de temperatura, sequías u olas de calor sin precedentes, y proyectados para el siglo XXI, es crucial para el manejo sustentable de los bosques. Extensivos episodios de mortalidad y decaimiento han sido documentados en los bosques de *Austrocedrus chilensis* en el norte de la Patagonia (Villalba & Veblen 1998, Mundo et al. 2010, Amoroso et al. 2015, 2017) y en bosques de *Nothofagus* a lo largo de los Andes Patagónicos (Suarez et al. 2004, Rodríguez-Catón et al. 2016, 2019) en respuesta a sequías extremas durante las últimas décadas. Por otro lado, el aumento de las precipitaciones estivales de gran intensidad en el noroeste argentino desde la década del 70 (Ferrero & Villalba, 2019) ha incrementado la frecuencia de deslizamientos de laderas alterando la dinámica de los bosques subtropicales (Paolini & Villalba, 2010).

Para avanzar en la comprensión de los efectos del cambio climático sobre el crecimiento de los bosques es necesario precisar las respuestas de las especies a las variaciones climáticas en sus diferentes hábitats de crecimiento. Caracterizar la “sensibilidad climática” de una especie implica establecer: (1) los niveles de temperatura y humedad del suelo que inducen el inicio de la actividad cambial, (2) las condiciones climáticas que modulan las diferentes tasas o velocidades de crecimiento, (3) la magnitud de los eventos extremos (sequías, olas de calor) que reducen o detienen marcadamente la actividad cambial y (4) las condiciones climáticas asociadas a la finalización del ciclo anual de formación de la madera. Esta comprensión holística de las relaciones entre clima-crecimiento proporcionará las bases para estimar los cambios en

- 1 IANIGLA CCT Mendoza. Contacto: asrur@mendoza-conicet.gob.ar
- 2 IANIGLA CCT Mendoza.
- 3 INTA Bariloche (FAB INTA-CONICET).
- 4 CIT-Santa Cruz-CONICET.
- 5 IRNAD CONICET Patagonia Norte.
- 6 IANIGLA CCT Mendoza.
- 7 CENAC Bariloche.
- 8 IER CONICET Tucumán.
- 9 UNSL San Luis.
- 10 IER CONICET Tucumán.
- 11 IANIGLA CCT Mendoza.
- 12 INTA Bariloche (FAB INTA-CONICET).
- 13 LSCE Francia.
- 14 INTA Bariloche (FAB INTA-CONICET).
- 15 IANIGLA CCT Mendoza.
- 16 INIBIOMA CONICET Patagonia Norte.
- 17 IANIGLA CCT Mendoza.
- 18 IANIGLA CCT Mendoza y FCEN-UNCuyo, Mendoza.
- 19 CIT-Santa Cruz-CONICET.
- 20 IANIGLA CCT Mendoza.
- 21 SFI Eslovenia.
- 22 UnaM-FCF, Misiones.
- 23 IANIGLA CCT Mendoza.
- 24 INTA Bariloche (FAB INTA-CONICET).
- 25 UNER, Entre Ríos y CICYTTP-CONICET.
- 26 IANIGLA CCT Mendoza.

el crecimiento de las especies forestales en respuesta a las variaciones futuras en las condiciones climáticas medias y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos.

La mayoría de los estudios comparan diferentes parámetros de los anillos de árboles (ancho, densidad, contenido isotópico), mayormente de resolución anual, con datos climáticos mensuales o estacionales para establecer el vínculo entre la variabilidad climática y la respuesta de los árboles. Sin embargo, muchos de los efectos del clima sobre la actividad cambial, la hidratación y deshidratación del fuste y la dinámica del crecimiento radial ocurren a escalas de tiempo menores, tales como días u horas.

Por lo tanto, resulta de gran utilidad monitorear las variaciones en el crecimiento y en las condiciones ambientales con alta resolución temporal. En los últimos años, los dendrómetros de punto han surgido como un instrumento accesible y de relativa fácil implementación (Diez et al. 2020) para monitorear las variaciones en el crecimiento de los árboles a escalas sub-horarias a diarias. Estos sensores permiten monitorear el crecimiento sin emplear técnicas invasivas sobre el árbol. Se pueden determinar variaciones en el diámetro del fuste (irreversibles o reversibles) relacionadas al crecimiento o a procesos de hidratación y deshidratación asociados al contenido de humedad del suelo y pérdida de agua por evapotranspiración. Estos registros se complementan con el muestreo periódico de micro-muestras del leño a fin de establecer las variaciones en el tipo y propiedades de los elementos leñosos formados a lo largo del ciclo de crecimiento. La sincronización de la información sobre el crecimiento radial procedente de los dendrómetros con la obtenida a partir de cortes delgados de las micro-muestras permite validar ambas metodologías (es decir, mayores tasas de crecimiento deberían estar asociadas a mayores tasas de división cambial) y a su vez, inferir por comparación con los registros hidrometeorológicos de alta resolución el tipo y las propiedades de los elementos leñosos formados bajo diferentes condiciones térmicas y/o hídricas a lo largo del ciclo de crecimiento.

En este contexto, el objetivo general de esta comunicación es dar a conocer la propuesta de implementación de un programa nacional de monitoreo del crecimiento de especies forestales nativas en diferentes ecosistemas de Argentina. Este programa, cuenta con la participación de diferentes grupos de trabajo, donde la información generada por el monitoreo del cre-

cimiento es relevante para los trabajos en desarrollo en cada región. Esta red de monitoreo se encuentra en etapa de formación y consolidación, con la participación del Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental del IANIGLA-CONICET, el IER (UNT-CONICET) en Tucumán, INIBIOMA, INTA, CENAC, CIT-Santa Cruz y Parques Nacionales en Patagonia (Santa Cruz, Chubut, Río Negro y Neuquén). Nuevos sitios de monitoreo serán implementados en bosques de Misiones (UNaM-El Dorado), Entre Ríos (UNER-Paraná; CICyTTP-CONICET) y San Luis (UNSL-Villa Mercedes).

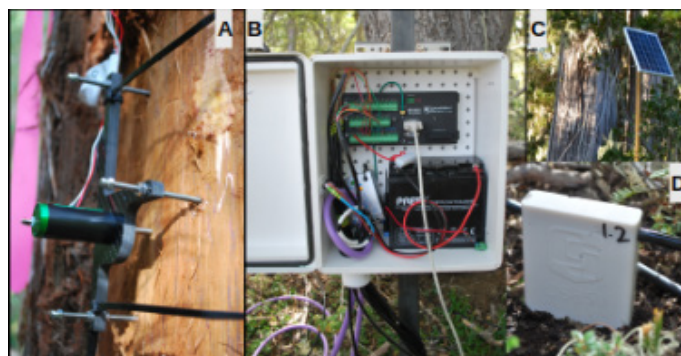


Figura 1: A dendrómetro de punto ZN11. B gabinete con datalogger y batería. C panel solar. D sensor de humedad y temperatura del suelo.

## Implementación del proyecto

### Avances logrados

En colaboración con investigadores de la Universidad de Melbourne, Australia, el Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental instaló en marzo de 2013 las primeras tres estaciones de registro continuo de crecimiento radial en dos especies emblemáticas del bosque andino patagónico, una en *Fitzroya cupressoides* y dos en *Nothofagus pumilio*. En cada una de estas estaciones se instalaron dendrómetros de punto conectados a dataloggers que registran las variaciones en el fuste cada 15 minutos. El sistema está alimentado por una batería de 12 volts conectada a un panel solar (Fig. 1). Además de los dendrómetros, en cada estación se instalaron sensores de humedad y temperatura del suelo (Fig. 1D). En la mayoría de los casos, las estaciones dendrométricas se ubicaron en las proximidades de estaciones meteorológicas convencionales.

Entre los años 2016-2019 se instalaron tres nuevas estaciones en bosques de *N. pumilio* en la provincia de Santa Cruz (Río Toro, Estancia Los Huemules y Pliegue Tumbado, Parque Nacional Los Glaciares, respec-

tivamente). En el norte de Patagonia, se instalaron tres nuevas estaciones dendrométricas, una de ellas en bosques de *Araucaria araucana* (Parque Nacional Lanín, 2018), otra en *Fitzroya cupressoides* (Pto Blest, 2019). La tercera reforzó la serie de estaciones ya instaladas en 2018 que cubre un rango de distribución continua de *Austrocedrus chilensis* (desde Corcovado hasta Río Minero), compartiendo sitios de monitoreo entre INTA e IANIGLA-CONICET para la validación, entre otros, de dendrómetros ensamblados localmente). Finalmente, en 2021 se instalaron dos estaciones más: una en la región del Monte, específicamente en algarrobales de *Neltuma flexuosa* en Ñacuñán, Mendoza, y en la Selva Tucumano Boliviana en el Parque Sierra San Javier, Tucumán, donde se monitorean simultáneamente árboles de *Cedrela angustifolia* y *Juglans australis* (Fig. 2). En todos los casos los dendrómetros fueron instalados a aproximadamente 1,30m de altura en árboles que no mostraban signos de decaimiento forestal.

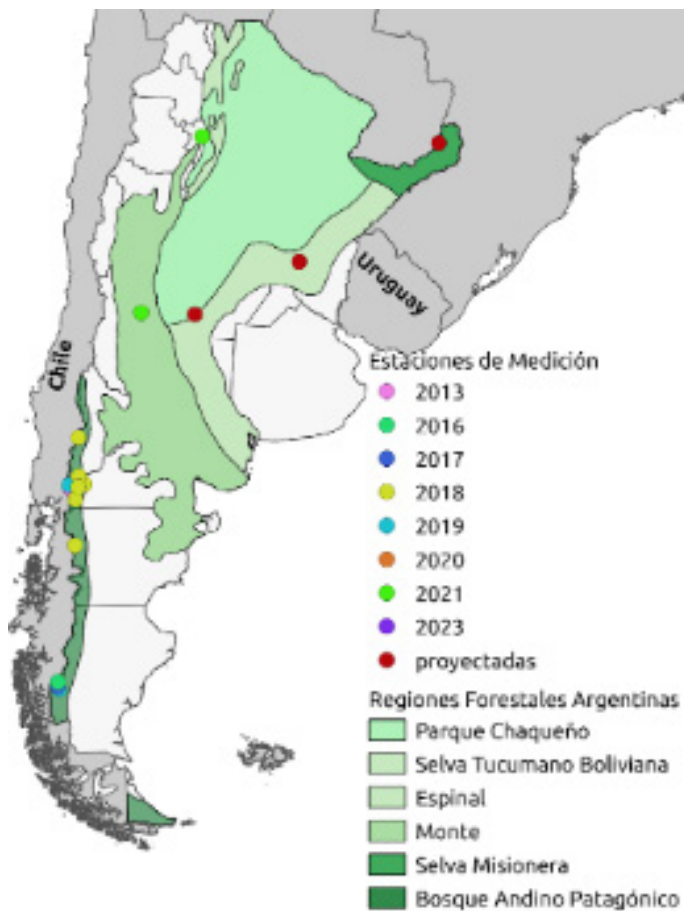


Figura 2: Regiones forestales de la Argentina. Los puntos indican las estaciones de dendrómetros colocadas y proyectadas, los diferentes colores identifican los años de instalación.

### Obtención de Micro-muestras

Mediante el uso de la herramienta Trepbor microcorer® (Rossi et al. 2006), se toman micro-muestras del leño que incluyen la corteza, la zona cambial y el sector más externo del xilema. Estas muestras se colectan en forma periódica comenzando un mes antes del inicio de la temporada de crecimiento, durante y una vez terminada la misma (alrededor de 6 meses), de modo de contrastar la información del leño con los registros de los dendrómetros y precisar las variaciones en el arreglo anatómico de los elementos del leño durante el transcurso de la estación de crecimiento. En este momento, la toma de micro-muestras está a cargo del IANIGLA en Ñacuñán, Mendoza y coordinada con personal del IER, el INIBIOMA e INTA, en las Selva Tucumano Boliviana y el Bosque Andino Patagónico, respectivamente. El grupo del INTA Bariloche ha recolectado muestras durante las últimas cuatro temporadas de crecimiento en bosques de *A. chilensis*, sobre sitios de alta y baja productividad, combinando a su vez el muestreo sobre árboles machos y hembras. Las muestras se están procesando en colaboración con el laboratorio del Instituto Forestal de Eslovenia y el INRAE Nancy, en Francia.

### Tipo de mediciones y análisis estadístico

En cada visita a las estaciones, se revisa el correcto funcionamiento del sistema y se descarga la información sobre las variaciones del crecimiento. Estos datos son analizados utilizando los paquetes DendrometerR y Dendroanalyst (van der Maaten et al. 2016, Aryal et al. 2020), del software libre R. A los efectos de estimar el comienzo y fin de la estación de crecimiento, que varía para cada especie leñosa según su posición latitudinal, se utilizaron curvas de crecimiento del tipo Gompertz o Weibull, considerando como período activo aquel en el que los árboles alcanzan entre el 5% (inicio) y el 95% (fin) de su cambio radial total y la duración de la estación de crecimiento como el número de días del período activo. Para investigar las relaciones entre las variables ambientales y el crecimiento a corto plazo, adoptamos el “enfoque de media diaria”, según Van der Maaten et al. (2018).

### Acciones a seguir

Dada la relevancia de contar con información que nos permita conocer de manera precisa y con una alta resolución la respuesta de los árboles a las variaciones del clima, nuestra propuesta es conformar y conso-

lidar una red nacional para el monitoreo del crecimiento de los bosques, ampliando el número de estaciones de monitoreo a fin de incluir las especies más representativas de las regiones forestales argentinas. Al mismo tiempo, proponemos poner a disposición las capacidades técnicas y el conocimiento adquirido en los laboratorios como así también el equipamiento para la obtención de nuevas competencias profesionales y laborales. Invitamos a participar en esta iniciativa a todas las instituciones y colegas interesados a formar parte de la misma.

### Bibliografía citada

Amoroso MM, Daniels LD, Villalba R, et al. 2015. Does drought incite tree decline and death in *Austrocedrus chilensis* forests? *J. Veg. Sci.* 26, 1171-1183.

Amoroso MM, Rodríguez-Catón M, Villalba R, et al. 2017. Forest Decline in Northern Patagonia: The Role of Climatic Variability. En *Dendroecology. Ecological Studies*, vol 231. Springer, Cham.

Aryal S, Häusser M, Griebinger J, et al. 2020. dendRoAnalyst: A tool for processing and analysing dendrometer data. *Dendrochronologia* 64:125772.

Diez J, De-Paz M, Varela S, et al. Receta práctica paso a paso para la construcción de dendrómetros de punto. *Ecol. Austral* 30:220-227.

Ferrero ME, Villalba R. 2019 Interannual and long-term precipitation variability along the subtropical mountains and adjacent Chaco (22–29 S) in Argentina. *Front. Earth Sci.* 7,148.

Mundo IA, El Mujtar VA, Perdomo MH, et al. 2010. *Austrocedrus chilensis* growth decline in relation to drought events in northern Patagonia, Argentina. *Trees*, 24(3), 561-570.

Paolini L, Villalba R. 2010. Rainfall Up, Mountain Down?. En *Tree Rings and Natural Hazards* (pp. 121-125). Springer, Dordrecht.

Rodríguez-Catón M, Villalba R, Morales M, et al. 2016. Influence of droughts on *Nothofagus pumilio* forest decline across northern Patagonia, Argentina. *Ecosphere*, 7(7).

Rodríguez-Catón M, Villalba R, Srur A, et al. 2019. Radial growth patterns associated with tree mortality in *Nothofagus pumilio* forest. *Forests*, 10(6), 489.

Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T, et al. 2006. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytol* 170:301–310.

Suarez ML, Ghermandi L, Kitzberger T. 2004. Factors predisposing episodic drought -induced tree mortali-

ty in *Nothofagus*-site, climatic sensitivity and growth trends. *J. Ecol.* 92, 954-966.

van der Maaten E, van der Maaten-Theunissen M, Smiljanić M, et al. 2016 dendrometeR: Analyzing the pulse of trees in R. *Dendrochronologia* 40:12–16.

van der Maaten E, Pape J, van der Maaten-Theunissen M, et al. 2018. Distinct growth phenology but similar daily stem dynamics in three co-occurring broadleaved tree species. *Tree Physiol.*, 38(12), 1820-1828.

Villalba R, Veblen TT. 1998. Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality in northern Patagonia. *Ecology*, 79(8), 2624-2640.