

Estrés hídrico en una plantación irrigada de *Populus × canadensis* 'Guardi' en Mendoza: determinación a partir de las variaciones temporales y espaciales del crecimiento radial y el contenido isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) en la madera

Elisa A. Rovida-Kojima¹, Ignacio A. Mundo², Valérie Daux³, Juan F. Goya⁴, Ricardo Villalba⁵

Palabras claves: álamos, composición isotópica de la madera, cambio climático.

Introducción

El suministro de agua mediante riego en una plantación forestal puede considerarse un tratamiento silvícola intermedio que modula la expresión de los factores determinantes de la producción (Daniel et al. 1982). En Mendoza, esta práctica es fundamental para el desarrollo de cualquier cultivo debido al clima árido con precipitaciones de 250 mm año⁻¹. En adición, desde el año 2010 la provincia viene enfrentando una crisis hídrica que ha afectado el caudal de sus ríos y la consecuente disponibilidad de agua para el riego.

El cambio climático y el estrés hídrico han provocado la reducción del crecimiento y el aumento de la mortalidad en plantaciones de álamo alrededor del mundo (FAO 2016). No obstante, sus efectos en el desarrollo de las plantaciones aún no han sido evaluados en Mendoza. En ese sentido, los anillos de crecimiento pueden ser empleados como registros de las condiciones ambientales durante el ciclo vida de las plantaciones.

El carbono (C) y el oxígeno (O), algunos de los principales elementos en la madera, están presentes en la naturaleza como diferentes isótopos estables. En los tejidos vegetales, una serie de procesos de fraccionamiento, determinados en parte por las condiciones ambientales, conlleva cambios en las proporciones de estos elementos (Gessler et al. 2014). Esto permite el uso de la composición isotópica de C y O de la celulosa de la madera como indicador de los procesos ecofisiológicos asociados a las condiciones climáticas a las cuales los árboles estuvieron expuestos durante su crecimiento (Lavergne et al 2017).

En un estudio previo (Rovida et al. en prep.), en cin-

co plantaciones de álamo próximas al momento de su corta en Mendoza se encontró una alta variabilidad estructural y del rendimiento inter e intra-sitio. Algunos de estos sitios presentaron el máximo incremento medio anual (IMA) del área basal a los 12 años de edad, mientras que otros lo registraron entre los 6 y 9 años. Tal variación no pudo asociarse a diferencias edáficas ni topográficas. A los efectos de evaluar si el adelantamiento del máximo IMA y la heterogeneidad interna de las plantaciones se debió a la reducción en el agua potencialmente disponible para el riego, se estudió la composición isotópica de los anillos de crecimiento de los individuos en una de las plantaciones con mayores diferencias intra macizo. En base a lo expuesto, se hipotetizó que los individuos de una plantación de álamo bajo riego en Mendoza presentaron una reducción de su crecimiento radial debido al estrés hídrico que sufrieron los mismos durante su ciclo productivo. Se predijo el aumento de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en los anillos de crecimiento en conjunción con la reducción del crecimiento radial como un indicador de esta situación.

Materiales y métodos

Los muestreos se realizaron en una plantación de *P. × canadensis* 'Guardi' de 10 años con riego por superficie ubicada en la localidad de El Cepillo, Valle de Uco, Mendoza. Este cultivo de 24.7 ha fue implantado en el año 2005 a partir de estacas con un marco de plantación de 5 × 2.25 m. Se instalaron 11 parcelas de forma rectangular (20 árboles en cada una) con una disposición sistemática y a una distancia variable con la línea de distribución del riego. En cada parcela, se registró el diámetro a 1.3 m de altura y la altura total de todos los individuos. Se determinó el área basal total (AB en m²/ha) por parcela como una medida indirecta del

1 Instituto Argentino de Investigaciones en Zonas Áridas (IADIZA, CONICET Mendoza). Contacto: erovida@mendoza-concet.gov.ar.

2 Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA, CONICET Mendoza). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo, Mendoza.

3 Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Francia.

4 Laboratorio de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

5 Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA, CONICET Mendoza).

rendimiento y se generó un mapa de interpolación de esta variable a través del software QGIS (versión 3.22.0). En cada parcela, se seleccionó el árbol con mayor altura al cual se le extrajeron dos tarugos a 0.3 m de altura lo cuales fueron montados, pulidos y fechados visualmente según Stokes & Smiley (1968). Se midió el ancho de los anillos y se calcularon las series temporales de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) del área basal individual. Se ajustaron curvas del tipo spline cúbico de 10 años para las series de ICA e IMA en ARSTAN 4.0c (Cook 1985).

La α -celulosa de la madera fue extraída de acuerdo con el método químico SOXHLET (Leavitt & Danzer 1993) en 99 anillos de 11 árboles. Las relaciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de cada anillo se determinaron con un analizador elemental acoplado con un espectrómetro de masa. La composición isotópica se expresó por la notación: $\delta nX (\text{‰}) = (R \text{ muestra} / R \text{ estándar} - 1) \times 1000$ en donde δnX corresponde a la composición isotópica referida a un estándar expresada por mil (‰), mientras que R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ representan las proporciones isotópicas absolutas de los isótopos minoritarios respecto al mayoritario. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los anillos de crecimiento se corrigieron de la influencia antropogénica a través de la eliminación de la firma isotópica preindustrial ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$) (Saurer et al. 1997; Belmecheri & Lavergne 2020). Las relaciones isotópicas anuales de la madera fueron comparadas con las variaciones del ICA del área basal individual para determinar si las reducciones de las mismas habían sido consecuencia de períodos de estrés hídrico.

Los caudales promedio del río Tunuyán de la estación de crecimiento de los árboles (primavera/verano) fue-

ron considerados como proxies del agua disponible para el riego de la plantación. A los efectos de entender cómo cada una de las variables derivadas de las mediciones de los anillos de crecimiento (ICA, $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ y $\delta^{18}\text{O}$) se asociaron con el caudal del río Tunuyán, se realizaron funciones de correlación mensuales (Blasing 1984).

Resultados

A través de las series temporales del área basal individual, se verificó que el macizo mostró una marcada tendencia de reducción en el ICA a partir del año 2009, alcanzando el máximo IMA a los 7 años de edad (Fig. 1a). Asimismo, se evidenció una marcada variabilidad espacial en la plantación y un gradiente de disminución del AB total en sentido oeste-este coincidente con la distancia a la hijuela derivadora del riego (Fig. 1b).

A partir de las cronologías de ICA del área basal individual, $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ y $\delta^{18}\text{O}$ se pudo observar la evolución temporal del valor medio de cada parámetro (Fig. 2). Se encontró una asociación significativa y positiva entre las series anuales de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ y $\delta^{18}\text{O}$. El ICA del área basal individual se asoció negativamente al $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$, indicando una relación inversa entre el crecimiento radial y la composición de ^{13}C en la madera. En los años 2010, 2013 y 2014 los árboles presentaron los mayores valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ y $\delta^{18}\text{O}$. El ICA del área basal individual presentó una reducción a partir del año 2008 y un incremento en el grado de dispersión a partir del 2009, sugiriendo una mayor variabilidad en los patrones de crecimiento radial. Esto fue coincidente con un incremento de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ y $\delta^{18}\text{O}$ hasta el año 2010. Entre los años 2011 y 2012, los árboles presentaron una recuperación en el incremento

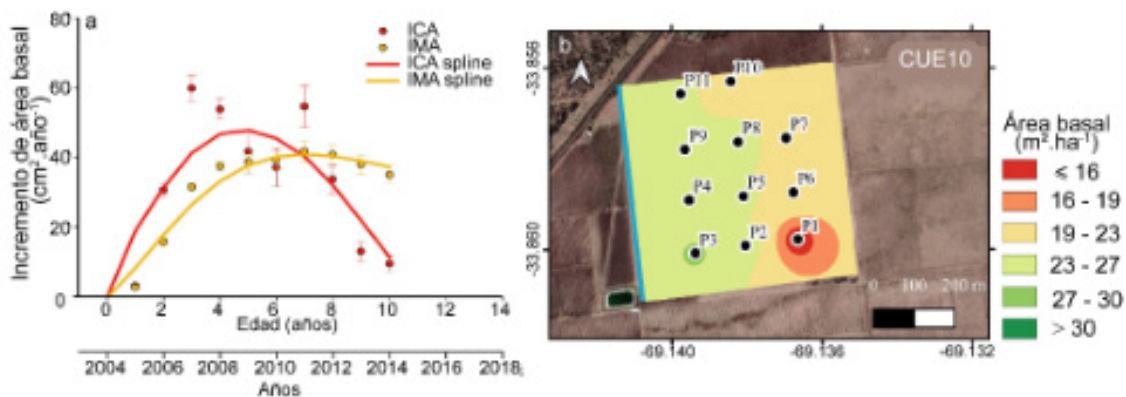


Figura 1. a) Evolución temporal de IMA e ICA del área basal individual. b) Mapa de interpolación de AB realizado mediante el método Kriging. Los puntos corresponden a las parcelas y la línea celeste indica el lugar por donde el agua ingresa al cuadro a través de los canales de riego.

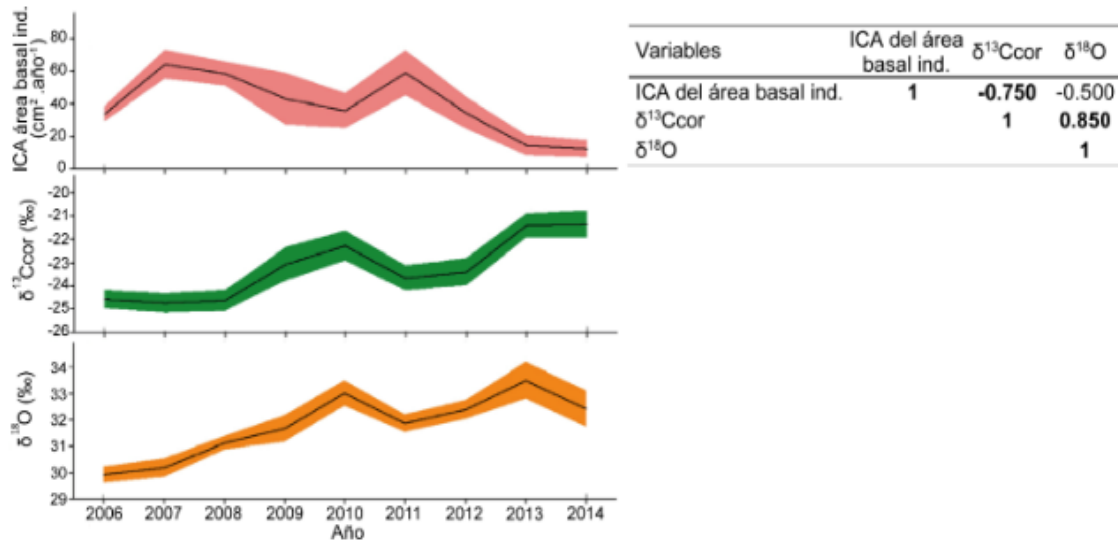


Figura 2. Evolución temporal del valor medio e intervalo de confianza (banda de color) del ICA del área basal individual, $\delta^{13}\text{Ccor}$ y $\delta^{18}\text{O}$ para el período de 2006 a 2014. En la esquina derecha se presenta la matriz de correlación de Spearman entre estas tres series temporales.

en área basal en asociación con una disminución en $\delta^{13}\text{Ccor}$ y $\delta^{18}\text{O}$. Luego, la reducción del ICA del área basal individual descendió a valores medios de 13.5 $\text{cm}^2/\text{año}$ en coincidencia con el aumento del $\delta^{13}\text{Ccor}$. El $\delta^{13}\text{Ccor}$ presentó correlaciones significativamente negativas con el caudal del río Tunuyán durante primavera/verano y con algunos meses del año anterior (Fig. 3). En el caso del $\delta^{18}\text{O}$, también se detectó una asociación negativa con los caudales del río Tunuyán durante primavera/verano y con aquellos entre los meses de septiembre y febrero del año previo. En el caso del ICA del área basal individual, esta variable estuvo positivamente asociada al caudal del mencionado río. Sin embargo, salvo con el mes de septiembre del año previo, estas correlaciones no fueron significativas.

Discusión

En este trabajo se pudo comprobar que los individuos

de *P. x canadensis* 'Guardi' de una plantación en Mendoza atravesaron períodos de estrés hídrico en base al análisis de las series temporales isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de sus anillos de crecimiento. El ICA del área basal individual, presentó un patrón opuesto al $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$. De esta manera, los resultados encontrados apoyan la hipótesis de que esta plantación bajo riego estuvo expuesta a condiciones de estrés hídrico. Además, la marcada reducción del ICA del área basal individual promedio a partir del año 2009 y la heterogeneidad del AB intra macizo con un marcado gradiente de disminución definido por la distancia de las parcelas con el surco derivador de riego, no resultan en lo esperado dada la naturaleza monoclonal del macizo. Estos patrones sugieren una disminución del agua disponible para el riego junto con una distribución heterogénea e ineficiente del agua de riego debido a una incorrecta nivelación del terreno o un manejo inadecuado del agua en del macizo. Esto pudo haber generado diferencias en la disponibilidad de agua in-

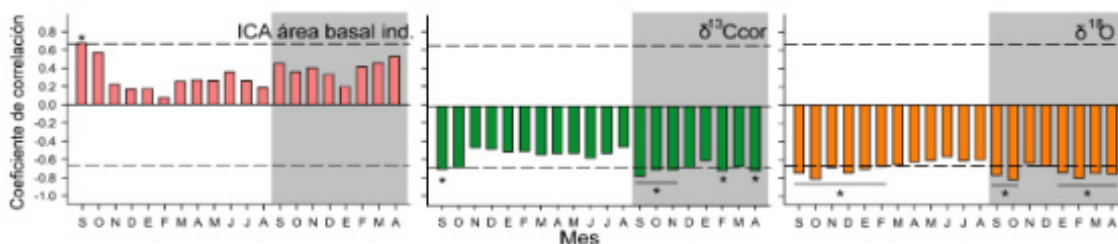


Figura 3. Coeficientes de correlación entre caudal del río Tunuyán e ICA del área basal individual, $\delta^{13}\text{Ccor}$ y $\delta^{18}\text{O}$. El área en gris corresponde a la estación de crecimiento y las líneas cortadas indican los niveles de confianza para $\alpha \leq 0.05$. Las barras corresponden a los coeficientes de correlación y los asteriscos indican correlaciones significativas.

tra-sitio y expuesto porciones del macizo a periodos de estrés hídrico durante su ciclo de crecimiento.

La variación opuesta entre $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ con el ICA del área basal individual sugieren que el cierre estomático inducido por la sequía fue el principal impulsor del enriquecimiento isotópico de carbono en la madera tal como fue observado por Lavergne et al. (2017). Adicionalmente, la significativa asociación entre el caudal del río Tunuyán durante la estación de crecimiento de los álamos con $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, indica que el mismo puede ser considerado como un indicador indirecto del agua efectivamente utilizada para el riego.

Conclusión

En este estudio, a partir del análisis comparativo entre las series de crecimiento radial, de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en los anillos de crecimiento, el AB y las variaciones de caudal del río Tunuyán, se demostró que una plantación de *P. × canadensis* 'Guardi' bajo riego en la Mendoza ha sufrido estrés hídrico durante la segunda mitad de su ciclo vida lo cual generó el adelantamiento del máximo IMA y heterogeneidad espacial intra-macizo del AB, medida indirecta del rendimiento.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa Cuyoplacas SA por permitir los muestreos en su propiedad; y al Ministerio de Agroindustria de la Nación (PIA 14004) y CONICET por el financiamiento.

Bibliografía

Belmecheri S & Lavergne A (2020). Compiled records of atmospheric CO₂ concentrations and stable carbon isotopes to reconstruct climate and derive plant eco-physiological indices from tree rings. *Dendrochronologia*.

Blasing TJ, Solomon AM, Duvick DN (1984). Response functions revisited.

Cook E (1985). A time series analysis approach to tree ring standardization. University of Arizona, School of Renewable Natural Resources, Tucson.

Daniel T, Helms J, Backer F (1982). Principios de Silvicultura. Ed. McGraw-Hill. México.

Food and Agricultural Organization (FAO) (2016). Poplars and other fast-growing trees - renewable resources for future green economies. Synthesis of Country Progress Reports. In 25th Session of the International Poplar Commission (October, pp. 26–30). Gessler A, Ferrio JP, Hommel R, Treydte K, Werner

RA, Monson RK (2014). Stable isotopes in tree rings: Towards a mechanistic understanding of isotope fractionation and mixing processes from the leaves to the wood. *Tree Physiology*, 34(8), 796–818.

Lavergne A, Daux V, Villalba R, Pierre M., Stievenard M, Srur AM (2017). Improvement of isotope-based climate reconstructions in Patagonia through a better understanding of climate influences on isotopic fractionation in tree rings. *Earth and Planetary Science Letters*, 459, 372–380.

Leavitt SW & Danzer SR (1993). Method for Batch Processing Small Wood Samples to Holocellulose for Stable-Carbon Isotope Analysis. *Analytical Chemistry*, 65(1), 87–89.

McCarroll D & Loader NJ (2004). Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23(7–8), 771–801.

Saurer M, Borella S, Schweingruber F, Siegwolf R (1997). Stable carbon isotopes in tree rings of beech: Climatic versus site-related influences. *Trees - Structure and Function*, 11(5), 291–297.

Stokes M & Smiley T (1968). An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago.