

Impacto de la megasequía en el crecimiento radial de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), Chile

Impact of mega-drought on tree radial oak growth *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), Chile

Patricio Corvalán Vera¹

Jaime Hernández Palma²

¹Ingeniero Forestal, Magister en Ciencias Forestales. Facultad Ciencia Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Departamento Gestión Forestal y de su Medio

Ambiente, Universidad de Chile. Correo electrónico: pcorvalanvera@gmail.com

²Ingeniero Forestal, Magister en Ciencias Forestales. Facultad Ciencia Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Departamento Gestión Forestal y de su Medio Ambiente, Universidad de Chile.

Recibido: 5 de febrero de 2019.

Aprobado: 3 de abril de 2019.

RESUMEN

Con el objeto de evaluar el impacto de la declinación de las precipitaciones ocurrida entre los años 2007 al 2012 en Chile Central, sobre los bosques septentrionales de *Nothofagus obliqua*, se midieron un total de 223 tarugos de crecimiento en 51 árboles aislados y 172 creciendo en competencia. Se utilizaron datos locales de precipitación anual para comparar los crecimientos del período normal (2001-2006) con los del período seco (2007-2012). Se contrastó el crecimiento anual corriente en radio al diámetro normal y su sensibilidad, mostrando que tanto los árboles que crecen aislados como los que compiten presentaron un evidente deterioro en sus tasas de crecimiento. Un 34.8 % de déficit en precipitación se traduce en un 17.6 % y 28.8 % de disminución en el crecimiento anual corriente en árboles aislados y en competencia, respectivamente. En el período seco, respecto al período previo, los árboles aislados presentaron un crecimiento menos sensible (0.364) que el de los árboles en competencia (0.384). También se estableció que la precipitación evaluada en un promedio móvil de años previos al del año en evaluación es capaz de explicar, a través

de un modelo lineal, hasta el 57.3 % de la variabilidad total del crecimiento radial en los árboles aislados, usando una ventana promedio de 6 años y 41.7 % en los árboles que compiten con una ventana de tres años.

Palabras clave: competencia; crecimiento radial; precipitación; sequía.

ABSTRACT

In order to evaluate the impact of the decline in rainfall between 2007 and 2012 in Central Chile on the northern forests of *Nothofagus obliqua*, a total of 223 growth plugs were measured in 51 isolated trees and 172 growing in competition. Local annual precipitation data were used to compare the growths of the normal period (2001-2006) with those of the dry period (2007-2012). The current annual growth in radius to normal diameter and its sensitivity were contrasted, showing that both isolated and competing trees showed an evident deterioration in their growth rates. A 34.8 % deficit in precipitation translates into a 17.6 % and 28.8 % decrease in current annual growth in isolated and competing trees, respectively. In the dry period, compared to the previous period, isolated trees showed a less sensitive growth (0.364) than that of competing trees (0.384). It was also established that the precipitation evaluated in a moving average of previous years to the year in evaluation is able to explain, through a linear model, up to 57.3 % of the total variability of the radial growth in isolated trees, using an average window of 6 years and 41.7 % in trees that compete with a window of 3 years.

Keywords: competence; tree radial growth; precipitation; drought.

INTRODUCCIÓN

Las predicciones de cambio climático para la zona Andina de la Región de Maule advierten para fines de siglo una disminución del 60 al 70 % en las precipitaciones anuales (Ppt) y un aumento en la temperatura de hasta 5° C, lo que sumado a la destrucción antrópica genera una condición de alta vulnerabilidad para los bosques caducifolios montanos septentrionales dominados por *N. obliqua* (Roble) que crecen en esta zona. (Donoso 1982; Lara *et al.*, 2012).

El déficit hídrico inhibe directa e indirectamente el crecimiento de los árboles (Kozlowski y Pallardi 1997, Bonan 2008, Aubry-Kientz y Moran 2017) al condicionar el balance energético que se produce entre la sobrevivencia, el crecimiento vegetativo y el reproductivo (Thabeet *et al.*, 2009; Hulshof *et al.*, 2012), el que sumado al impacto de la competencia inter específica genera un problema complejo de modelar y cuantificar. La dendrocronología es una valiosa herramienta que permite medir los impactos del

ambiente sobre el crecimiento de los árboles y recuperar información de comportamientos pasados (Fritts 1976; Babst *et al.*, 2013). La medición histórica de crecimientos, junto a datos climáticos, permite establecer algunas deducciones básicas para evaluar el comportamiento de la especie frente a los efectos del cambio climático y realizar algunos alcances silviculturales elementales.

El prolongado déficit de precipitaciones ocurrido entre los años 2007-2012 en la zona central de Chile permite estudiar empíricamente el efecto que ha tenido sobre el Crecimiento Anual Corriente radial (CAC) de árboles, creciendo tanto en forma aislada como en competencia y constituye una aproximación de lo que podría ser una condición permanente en el futuro. El déficit prolongado de precipitaciones por seis años consecutivos constituye un escenario irrepetible para evaluar su impacto en el crecimiento de los bosques.

El propósito de este trabajo es cuantificar las relaciones existentes entre la precipitación anual, el crecimiento radial y el efecto de la competencia, así como medir la sensibilidad de los anillos de crecimiento. Otro objetivo es determinar la extensión de tiempo previa al crecimiento anual que mejor explica la relación entre las precipitaciones y el crecimiento anual corriente, en un período climático normal y de sequía, en bosques secundarios de roble no manejados.

MATERIALES y MÉTODOS

Área de trabajo

La información fue colectada en el sector precordillerano de Monte Oscuro (19H 324862E-6113124S), localizado a 50 km al Sureste de la ciudad de Curicó, comuna de Romeral, provincia de Curicó, región del Maule, Chile. El área de estudio cubre una superficie aproximada de 1.300 hectáreas y corresponde a formaciones de bosques secundarios de los tipos forestales Roble-Hualo, Ciprés de la cordillera y Roble-Raulí-Coigüe. Esta superficie fue talada para extracción de madera aserrada y postes en la década de 1950. Posteriormente, el bosque ha sido retalado en pequeñas áreas para la producción de leña y carbón. De ahí su formación como mosaico de bosquetes coetáneos secundarios.

Desde el punto de vista morfogénico, el suelo es producto de materiales de depósitos de morrenas, acarros fluviales y glaciofluviales, además de algunos depósitos lacustres y glaciolacustres que han sido cubiertos por capas de cenizas volcánicas (CONAF, 1999). Consecuentemente, el suelo es profundo, derivado de cenizas volcánicas y presenta una textura franco-limosa, alto contenido orgánico y baja disponibilidad de fósforo y nitrógeno (CONAF, 1999).

En cuanto a la vegetación, el área corresponde a bosques andinos de roble de altura, donde es posible encontrar la especie creciendo junto a *Peumus boldus* y *Cryptocarya alba*, propias del bosque esclerófilo, así como con *Laurelia sempervirens*, *Aextoxicon punctatum*, *Nothofagus glauca* y *Astrocedrus chilensis*, entre otras, dependiendo de la exposición en la que se encuentre (Corvalán *et al.*, 2014).

El clima es templado mediterráneo, según la clasificación climática de Köppen con estación seca de cuatro a cinco meses. Este se caracteriza por concentrar las precipitaciones durante los meses de invierno, mientras que en los meses de la estación seca (octubre a marzo) las precipitaciones estivales no superan los 40 mm mensuales. La zona precordillerana presenta nevazones ocasionales en invierno (Atmósfera 2014). En cuanto a cobertura de suelos, se contó de un conjunto de datos LiDAR con una densidad de 4.64 puntos por m² (p*m⁻²) y una imagen aérea VIS con una resolución espacial de 1 m, los que fueron adquiridos y ortorectificados en marzo del 2011. A partir de esta información, se dispuso de un detallado modelo de elevación digital de terreno y de copas que permitió la medición del modelo de alturas con muy alta resolución espacial (1 m). También existen en la zona fotografías aéreas métricas del Servicio Aerofotogramétrico de Chile de 1980 y 1995-1996, escalas 1:50 000 y 1:20 000, respectivamente y fotos color de 1991, escala 1:5 000 no métricas. También se dispuso de dos intensivos inventarios forestales realizados entre 2011 y 2013.

Medición de anillos de crecimiento radial

Las muestras dendrométricas que fueron colectadas corresponden a 51 árboles que crecen en forma aislada y 172 árboles que crecen en plena competencia. Las muestras fueron extraídas en distintas condiciones de tamaño y estado de desarrollo de los rodales. La selección espacial fue realizada usando el modelo de elevación de terreno y de cubierta de suelo y las imágenes aéreas e inventarios forestales (Figura 1). Los árboles en competencia provienen de 43 parcelas de inventarios forestales. En cada parcela se identificó la especie y se midieron los diámetros normales (DAP) a los árboles mayores a 10 cm de DAP. Una vez medidos fueron ordenados en valores crecientes de DAP y de cada cuartil de la población se seleccionó el individuo central al cual se le extrajo un tarugo de crecimiento en dirección al centro de la parcela con taladro marca JIM-GEM.

Los tarugos fueron secados al aire libre, montados sobre una base de madera y lijados con tres granos diferentes para facilitar su medición. Las lecturas fueron hechas con microscopio electrónico 400X CoolingTech. Se midió el crecimiento anual corriente en radio (mm) entre los años 2001 y 2012 a nivel del DAP. Con ello se conformó una matriz de 223 filas (51 árboles aislados más 172 árboles en competencia) por 12 columnas

(años 2001 al 2012). Los datos de CAC a nivel de árbol fueron promediados anualmente.

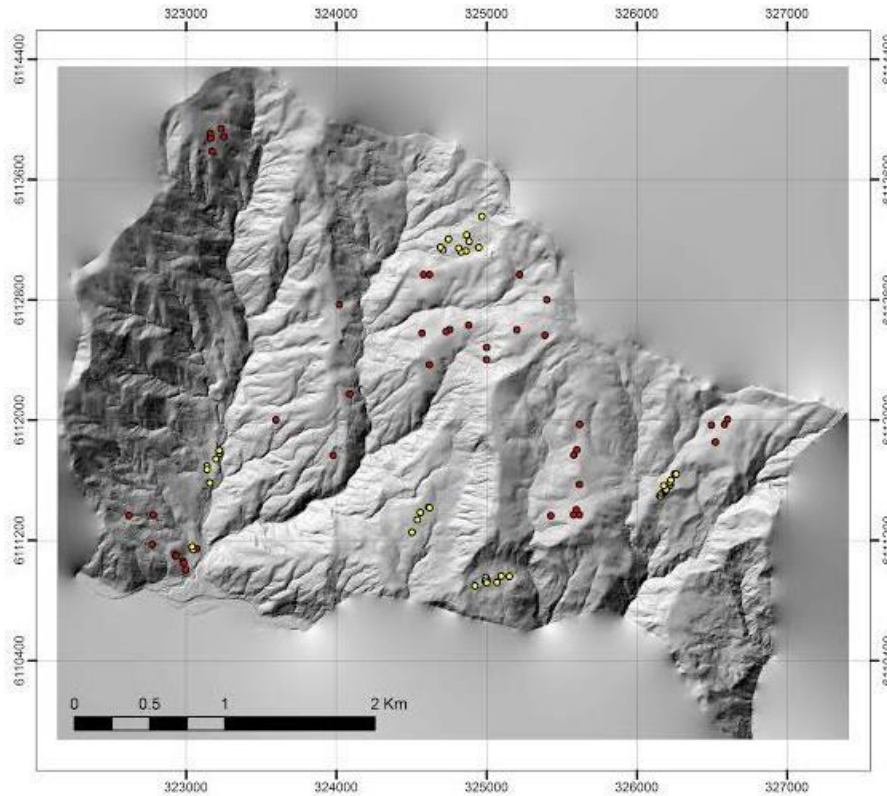


Fig. 1. - Mapa con ubicación de árboles en el área de estudio

En rojo, los árboles creciendo en competencia y en amarillo los árboles aislados.

Precipitaciones anuales

Se utilizaron los datos de precipitaciones mensuales provenientes de la estación meteorológica "Monte Oscuro", perteneciente a la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, ubicado a unos 3.5 Km del área de estudio en la misma cuenca, aguas abajo, entre los años 2001 y 2012 (DGA 2014). Los datos de precipitación anual fueron los acumulados mensualmente.

Autocorrelaciones y sensibilidad

Para medir el nivel de autodependencia del CAC en DAP, se analizó la matriz de correlaciones históricas de los CAC promedios para los árboles aislados y los que crecen en competencia (Figura 2). La sensibilidad se calculó como:

$$S_{(i+1)} = (\text{ABS}(\text{CAC}_{(i+1)} - \text{CAC}_i) * 2) / (\text{CAC}_{(i+1)} + \text{CAC}_i) [1]$$

Donde:

$S_{(i+1)}$ es la sensibilidad del crecimiento anual corriente entre los años i e $(i+1)$ (Schweingruber 1988)

Relaciones crecimiento anual corriente vs precipitación años anteriores

Los datos de crecimiento anual corriente fueron promediados entre los años 2001-2006 (período normal) y comparados con el período 2007-2012 (período de megasequía). Se relacionó el crecimiento anual corriente con el promedio móvil de las precipitaciones ocurridas en "j" años anteriores (entre los años 1994 y 2012). Se ajustó un modelo lineal hasta encontrar el número de años que maximizara la variación del crecimiento explicado por la regresión (R^2). El modelo fue el siguiente:

$$CAC_i = a + b * Ppt(j) \quad [2]$$

Donde:

a, b parámetros de ajuste,

CAC_i es el crecimiento anual corriente promedio ($mm * año^{-1}$) en radio en el año i ,

$Ppt(j)$ es la precipitación media anual en los últimos j años ($mm * año^{-1}$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento anual corriente en radio para el período de estudio se presenta en la tabla 1 (Tabla 1).

Tabla 1. - Precipitación, crecimiento anual corriente y sensibilidad del período de análisis.

Período	Ppt promedio ($mm * año^{-1}$)	Tipo de árboles			
		Aislados		En competencia	
		CAC promedio ($mm * año^{-1}$)		Sensitividad promedio (%)	
2001-2006	1 630	3.811	1.812	0.398	0.351
2007-2012	1 062	3.241	1.407	0.364	0.384
Variación (%)	0.348	-0.176	-0.288	-8.4	9.4

De la tabla 1, se deduce que una baja en la precipitación desde $1\ 630\ mm * año^{-1}$ a $1\ 062\ mm * año^{-1}$, (34.8 %) reduce en promedio la tasa de crecimiento desde $3.811\ mm * año^{-1}$ a $3.241\ mm * año^{-1}$ en los árboles que crecen aislados (17.6 %) y desde $1.812\ mm * año^{-1}$ a $1.407\ mm * año^{-1}$ en árboles que crecen en competencia (28.8 %). De acuerdo a lo señalado por Donoso *et al.*, (2010), el crecimiento radial de un bosque marginal de *Nothofagus macrocarpa* ubicado en Chile central es de $1.15\ mm * año^{-1}$, valor muy inferior al encontrado en este estudio, tanto en árboles aislados como en competencia. Donoso (1988), estudiando renovales de roble, en un área cercana a los de este estudio, determinó crecimientos anuales radiales para períodos de 10 años entre

1.75 y 3.45 mm*año⁻¹, valores superiores a los encontrados en este estudio en árboles en competencia. En una zona más al sur, De la Maza y Gilchrist (1983) encontraron valores de crecimiento radiales entre 2.5 y 4 mm*año⁻¹, superiores a de este estudio. Los resultados reportados son consistentes con el gradiente de precipitaciones que se encuentra a lo largo de la distribución latitudinal en Chile. No se reporta en la literatura un estudio semejante de la misma especie que permita comparar el impacto de la declinación de las precipitaciones, aun cotejando los datos de CAC promedio de este estudio con los señalados por Adams y Kolb, (2005), quienes al estudiar la razón de crecimiento en años húmedos *versus* años secos en *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus flexilis* y *Picea engelmannii*, en el norte de Arizona reportaron valores semejantes en todos los sitios, especies y comunidades con el de este estudio (Adams y Kolb 2005).

En la tabla 1, se presentan los valores promedios de sensibilidad, dando cuenta de una disminución de la misma en árboles aislados en período de sequía y, en sentido contrario, un aumento de la misma en árboles creciendo en competencia. La disminución de la sensibilidad de los árboles aislados frente a la sequía se explicaría por una disminución paulatina de las reservas de agua en el suelo profundo, haciendo cada vez más homogéneo el crecimiento anual en estas condiciones. En sentido contrario, el aumento de la sensibilidad del crecimiento en árboles que crecen en competencia se explica por el efecto de la sequía entre las diferentes condiciones sociales en que crecen los individuos. La diferencia en crecimiento entre los individuos de diferentes percentiles (de DAP) se acentúa en períodos secos, haciendo más sensitivos los años más secos. Este argumento estaría indirectamente de acuerdo con lo señalado por Suárez *et al.*, (2004), quienes estudiando *Nothofagus dombeyi* (coihue) en el Parque Nacional Nahuel Huapi en el noreste Patagónico, en un año de extrema sequía, encontraron que los individuos juveniles presentaron patrones de crecimiento más sensitivos y propensos a la mortalidad que los árboles más viejos (Suárez *et al.*, 2004).

En la figura 2, se aprecia la variación de la precipitación anual y las tendencias de CAC, tanto de árboles aislados como en competencia. Se observa que existe un efecto de retardo del impacto de las precipitaciones sobre el patrón de crecimiento de los árboles, donde claramente los árboles aislados crecen más por no tener efecto de competencia. Las precipitaciones sobre el patrón de sensibilidad con un efecto de retardo de entre uno y dos años de tendencias de crecimiento en ambos casos son similares. También se observa un efecto de desfase (Figura 2).

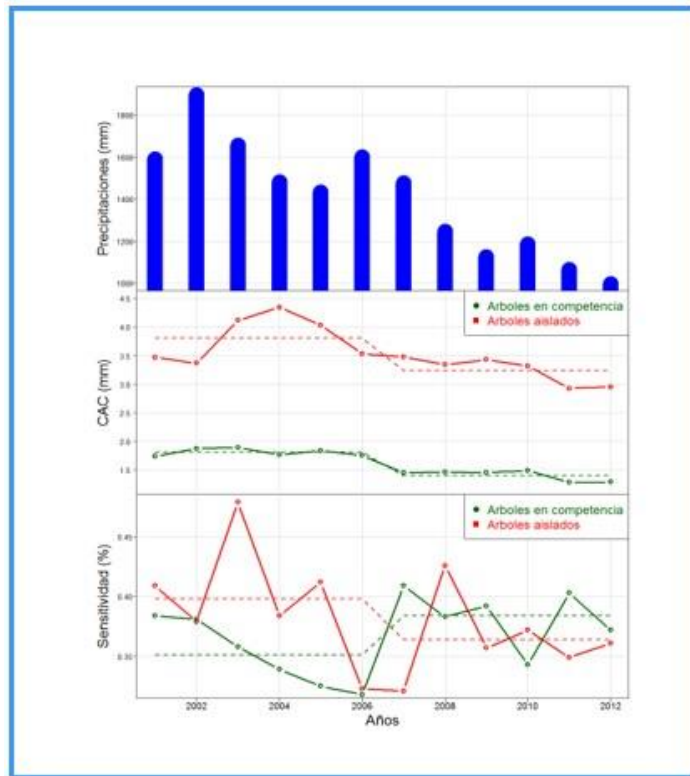


Fig. 2. - Precipitación anual (mm), crecimiento anual corriente en radio (mm/año) y sensibilidad anual (%) del CAC en radio para árboles aislados y en competencia.

Las líneas horizontales segmentadas son los valores del promedio anual para el período normal (2001-2006) y seco (2007-2012)

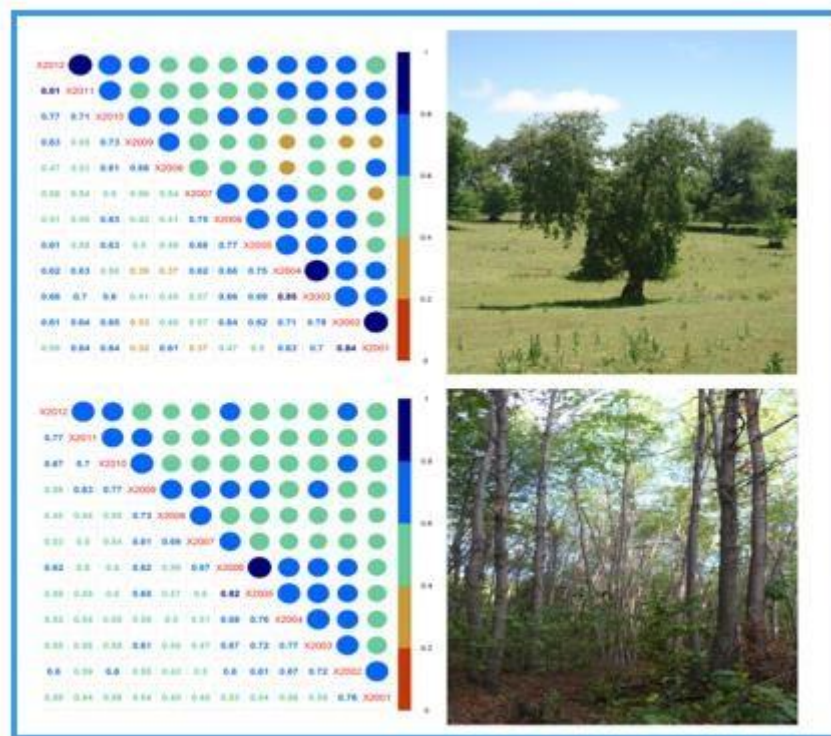


Fig. 3. - Matriz de correlaciones de CAC en radio entre diferentes años para el período normal de precipitaciones (2001-2006) y para el período seco (2007-2012).

Arriba: árboles creciendo aislados. Abajo: árboles creciendo en competencia.

Los valores sobre la diagonal grafican el coeficiente de correlación de Spearman en rangos de colores.

Los valores absolutos de correlación se indican bajo la diagonal.

En la diagonal se indican los años en que se estableció la correlación. Todas ellas son significativas con un error $\alpha=0,05$

Uno de los efectos más notables de la precipitación sobre el crecimiento de los árboles se observa en la figura 3, donde se muestra la estrecha autocorrelación de los crecimientos en el período estudiado. Los árboles que crecen en competencia muestran un mayor nivel de interdependencia entre crecimientos sucesivos que los árboles que crecen aislados. Este fenómeno está bien descrito por Fritts, (1976), quien señala que en los árboles existe un balance energético dinámico en el crecimiento vegetativo. Las precipitaciones de un año condicionan el crecimiento de años posteriores (Fritts 1976, Kozlowski y Pallardi 1997). El déficit hídrico inhibe directa e indirectamente el crecimiento de los árboles al condicionar el balance energético que se produce entre la sobrevivencia, el crecimiento vegetativo y el reproductivo (Thabeet *et al.*, 2009; Hulshof *et al.*, 2012).

En la tabla 2, se muestran los parámetros de ajuste del modelo [2] de crecimiento anual corriente vs precipitación promedio en "j" años (Tabla 2).

Tabla. 2- Crecimiento anual corriente vs precipitación promedio en "j" años anteriores.

Tipo de árboles	Aislados			En competencia		
	Número de años (j)	a	b	R2 (%)	a	b
1	3.2865	0.0001	1.3	1.5214	0.0002	9.5
2	3.0700	0.0003	4.6	1.1831	0.0004	30.1
3	2.6310	0.0006	12.9	0.9029	0.0006	41.7
4	2.1015	0.0013	30.8	0.9056	0.0007	34.3
5	1.7253	0.0017	46.4	-	-	-
6	1.6525	0.0014	57.3	-	-	-
7	1.5741	0.0014	22.0	-	-	-

Se puede observar que, bajo este simple modelo lineal, la precipitación promedio disminuye los errores de ajuste al incorporar mayor cantidad de años, llegando a explicar un 57.3 % de la varianza total del error en el caso de los árboles aislados, al usar una ventana móvil de seis años y el 41.7 % en el caso de los árboles en competencia al usar tres años. Esta información resulta de interés si se relaciona con la matriz de autocorrelaciones señalada en la figura 3. En ambos casos puede ser interpretado como un efecto positivo de almacenamiento de agua en el suelo. Algunos estudios que relacionan el crecimiento con la precipitación han sido especialmente desarrollados en zonas tropicales. Brien y Zuidema, (2005) encuentran un coeficiente de

determinación de 7.9 % para *Cedrelinga catenaeformis*, una leguminosa que crece en un bosque lluvioso en Bolivia, al estimar el ancho del anillo de crecimiento estandarizado como función de la precipitación total. Devall et al., (1995) encuentran en Panamá Central coeficientes de determinación entre 28 % y de 44 % para *Pseudobombax septenatum*, *Cordia alliodora* y *Annona spraguei*. No se dispone de información que permita comparar el crecimiento con el efecto acumulado en el tiempo del almacenamiento de agua en el suelo.

Una disminución de 34.8 % en la precipitación promedio anual (2006-2012) (desde 1 630 a 1 062 mm*año⁻¹) respecto del período (2001-2006) genera una caída de:

- El 17.6 % de crecimiento anual corriente en radio al DAP en árboles aislados (desde 3.8 mm*año⁻¹ a 3.2 mm*año⁻¹)
- El 28.8 % de crecimiento anual corriente en radio al DAP en árboles en competencia (desde 1.8 mm*año⁻¹ a 1.4 mm*año⁻¹)

La precipitación promedio anual como variable predictor del CAC, es capaz explicar que:

- El 57.3 % en los árboles aislados, al promediar los últimos seis años de precipitación anual.
- El 41.7 % en los árboles en competencia, al promediar los últimos tres años de precipitación anual.

Las autocorrelaciones del CAC son significativas (al 95 % de confiabilidad) y alcanzan a todo el período de análisis (12 años), tanto para los árboles aislados como para los árboles en competencia, abarcando tanto los años normales de precipitación como los años secos.

En el período seco, respecto del período normal:

- Los árboles que crecen aislados formaron anillos de crecimiento anual corriente en radio menos sensitivos (0.364 %).
- Los árboles que crecen en competencia formaron anillos de crecimiento anual corriente en radio más sensitivos (0.384 %).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, H.D. y KOLB, T.E., 2005. Tree growth response to drought and temperature in a mountain landscape in northern Arizona, USA. *Journal of Biogeography* [en línea], vol. 32, no. 9, pp. 1629-1640. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0305-0270. DOI 10.1111/j.1365-2699.2005.01292.x. Disponible en: <https://nau.pure.elsevier.com/en/publications/tree-growth-response-to-droughtand-temperature-in-a-mountain-lan>.

- AUBRY-KIENTZ, M. y MORAN, E.V., 2017. Climate Impacts on Tree Growth in the Sierra Nevada. *Forests* [en línea], vol. 8, no. 11, pp. 414. [Consulta: 27 febrero 2019]. DOI 10.3390/f8110414. Disponible en: <https://www.mdpi.com/19994907/8/11/414>.
- Atmósfera., 2014 Información climatológica de estaciones chilenas. Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Disponible en: http://www.atmosfera.cl/HTML/datos/datos_02.html
- BABST, F., POULTER, B., TROUET, V., TAN, K., NEUWIRTH, B., WILSON, R., CARRER, M., GRABNER, M., TEGEL, W., LEVANIC, T., PANAYOTOV, M., URBINATI, C., BOURIAUD, O., CIAIS, P. y FRANK, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Global Ecology and Biogeography* [en línea], vol. 22, no. 6, pp. 706-717. [Consulta: 9 mayo 2019]. ISSN 1466-8238. DOI 10.1111/geb.12023. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12023>.
- BONAN, G.B., 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* [en línea], vol. 320, no. 5882, pp. 1444-1449. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. DOI 10.1126/science.1155121. Disponible en: <http://science.sciencemag.org/content/320/5882/1444>.
- BRIENEN, R.J.W. y ZUIDEMA, P.A., 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, vol. 146, pp. 1-12. DOI 10.1007/s00442-005-0160-y.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1999. Documento de trabajo N° 298 plan de manejo Reserva Nacional Los Bellotos del Melado. Unidad de Gestión Patrimonio Silvestre. 71p.
- CORVALÁN, P., GALLEGUILLOS, M. y HERNÁNDEZ, J., 2014. Presencia, abundancia y asociatividad de *Citronella mucronata* en bosques secundarios de *Nothofagus obliqua* en la precordillera de Curicó, región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)* [en línea], vol. 35, no. 3, pp. 269-278. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002014000300002. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S071792002014000300002&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- DE LA MAZA, C. y GILCHRIST, J., 1983. Algunos antecedentes para el manejo de renovales de Raulí. Santiago. *Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile*, vol. Boletín Técnico, (61), no. 30.

- DEVALL, M.S., PARRESOL, B.R. y WRIGHT, S.J., 1995. Dendroecological Analysis of *Cordia Alliodora*, *Pseudobombax Septenatum* and *Annona Spraguei* in Central Panama. *IAWA Journal* [en línea], vol. 16, no. 4, pp. 411-424. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0928-1541, 2294-1932. DOI 10.1163/22941932-90001430. Disponible en: https://brill.com/abstract/journals/iawa/16/4/articlep411_10.xml.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), 2014. *Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea* [en línea]. 2014. S.l.: DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). [Consulta: 15 mayo 2014]. Disponible en: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/>.
- DONOSO Z, C., 1982. RESEÑA ECOLOGICA DE LOS BOSQUES MEDITERRANEOS DE CHILE. *Bosque (Valdivia)* [en línea], vol. 4, no. 2, pp. 117-146. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0717-9200. Disponible en: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S071792001982000100004&script=sci_arttext.
- DONOSO, P., 1988. Caracterización y proposiciones silviculturales para renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en el área de protección "RadalSiete Tazas". *Bosque*, 9(2), 103-114. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl///handle/20.500.12220/8855>
- DONOSO, S.R., PEÑA-ROJAS, K., DELGADO-FLORES, C., RIQUELME, A. y PARATORI, M., 2010. ABOVE-GROUND BIOMASS ACCUMULATION AND GROWTH IN A MARGINAL *Nothofagus macrocarpa* FOREST IN CENTRAL CHILE. *Interciencia* [en línea], vol. 35, no. 1, pp. 65-69. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISSN 0378-1844, 2244-7776. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913146011>.
- FRITTS, H., 1976. *Tree Rings and Climate* [en línea]. 1st Edition. S.l.: Academic Press. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISBN 978-0-323-14528-2. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/tree-rings-and-climate/fritts/978-0-12268450-0>.
- HULSHOF, C.M., STEGEN, J.C., SWENSON, N.G., ENQUIST, C.A.F. y ENQUIST, B.J., 2012. Interannual variability of growth and reproduction in *Bursera simaruba*: the role of allometry and resource variability. *Ecology*, vol. 93, no. 1, pp. 180-190. ISSN 0012-9658. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22486098>
- KOZLOWSKI, T.T. y PALLARDY, S.G., 1997. *Growth control in woody plants* [en línea]. San Diego: Academic Press. [Consulta: 27 febrero 2019]. ISBN 978-0-12-424210-4. Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/10187296>.

- Lara, A., Solari, M.E., Prieto, M.D.R. y Peña, M.P., 2012. Reconstrucción de la cobertura de la vegetación y uso del suelo hacia 1550 y sus cambios a 2007 en la ecorregión de los bosques valdivianos lluviosos de Chile (35°-43° 30´ S). *Bosque (Valdivia)*, 33(1): 13-23.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1988. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology* [en línea]. S.l.: Springer Netherlands. [Consulta: 9 mayo 2019]. ISBN 978-0-7923-0559-0. Disponible en:
<https://www.springer.com/us/book/9780792305590>.
- SUAREZ, M.L., GHERMANDI, L. y KITZBERGER, T., 2004. Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology* [en línea], vol. 92, no. 6, pp. 954-966. [Consulta: 9 mayo 2019]. ISSN 1365-2745. DOI 10.1111/j.1365-2745.2004.00941.x.
Disponible en:
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.13652745.2004.00941.x>.
- Thabeet, A., Vennetier, M., Gadbin-Henry, C., Denelle, N., Roux, M., Caraglio, Y. y Vila, B., 2009. Response of *Pinus sylvestris* L. to recent climatic events in the French Mediterranean Region. *Trees*, 23(4), 843-853. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s00468-009-0326-z>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2019 Patricio Corvalán Vera, Jaime Hernández Palma