

Desarrollo de cronologías de ancho de anillos para alerce (*Fitzroya cupressoides*) en Contao y Mirador, Chile

Development of tree-ring chronologies for alerce (*Fitzroya Cupressoides*) in Contao and Mirador, Chile

EDUARDO NEIRA¹ & ANTONIO LARA¹

¹Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile,
e-mail: eneira@uach.cl

RESUMEN

Se desarrollaron dos cronologías de ancho de anillos de crecimiento a partir de muestras de alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) Johnston), colectadas en dos sitios: Contao, Cordillera de los Andes (41° 33'S, 72° 38'W), y Mirador, en la Cordillera de la Costa (40° 10'S, 73° 42'W). En la elaboración de las cronologías se utilizó el programa COFECHA para verificar el cofechado y se desarrolló para cada sitio una cronología utilizando el programa computacional ARSTAN. Se compararon las cronologías Contao y Mirador, con otras existentes para alerce encontrándose una alta similitud de la cronología Contao con la desarrollada para Lenca (41° 33'S, 72° 36'W). Contao presentó los valores más altos en los estadígrafos analizados con relación a las demás cronologías. Se observaron diferencias entre las cronologías provenientes de la Cordillera de la Costa y de los Andes en los últimos 150 años, probablemente producto de explotaciones humanas e incendios ocurridos en la cordillera de la Costa. La correlación con variables climáticas fue similar en su tendencia a la de otros estudios previos, documentando una correlación negativa con las temperaturas y positiva con las precipitaciones del verano anterior al período de crecimiento.

Palabras clave: dendrocronología, alerce, *Fitzroya cupressoides*, perturbaciones, incendios.

ABSTRACT

Two ring-width chronologies were developed using samples from alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) Johnston). These were collected from two different sites; Contao, in the Andean Range and Mirador, in the Coastal Range. The series from the each site were cross-dated and COFECHA program was used to verify this process. Once correctly cross-dated, ARSTAN program was used to build up a chronology for each site (Contao and Mirador). These chronologies were compared with other existing chronologies. Contao presented the best statistics when compared to the other chronologies. Differences between chronologies from the Coastal and Andes Ranges were detected mainly during the last 150 years. Before this period, chronologies were quite similar. Differences are attributed to factors other than climate, such as human-set fires and logging. Correlations, with climatic variables revealed similar trends to those reported in previous work. Results showed significant correlations with the previous summer's growing conditions; negative correlation with temperature and positive with precipitation.

Key words: dendrochronology, alerce, *Fitzroya cupressoides*, disturbance, fire.

INTRODUCCION

Alerce (*Fitzroya cupressoides*), especie declarada monumento natural en 1976, puede vivir sobre 3600 años, siendo la segunda especie más longeva del mundo superada tan sólo por *Pinus longaeva* (Lara & Villalba 1993).

A pesar del alto potencial de ésta y otras especies arbóreas de Chile para la reconstrucción de eventos pasados por medio del estudio y fechado de anillos de crecimiento, o dendrocronología, esta

disciplina científica está incipientemente desarrollada en este país (Lara et al. 1994). El lento desarrollo de cronologías de alerce se debió en gran parte a las dificultades para cofechar las muestras. El cofechado (cross-dating), consiste en comparar los patrones de variación de los anchos de los anillos de muestras de diferentes árboles, lo cual permite identificar el año exacto en el cual cada anillo de crecimiento fue formado (Fritts 1976).

Los primeros trabajos realizados en Chile datan de 1943, cuando Patton colectó muestras, princi-

palmente de alerce, desde Hornopirén (al sur de Puerto Montt), que fueron analizadas en la Universidad de Arizona. Schulman (1956), hizo un reconocimiento en Chile y Argentina colectando muestras de varias especies de coníferas, como ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), araucaria (*Araucaria araucana*) y alerce (*Fitzroya cupressoides*), describiendo su potencial dendrocronológico.

LaMarche y colaboradores, entre 1974 y 1978 colectaron muestras tanto en Chile como Argentina, generando 32 cronologías (21 en Argentina y 11 en Chile, LaMarche et al. 1979a y b). A partir de una cronología de anchos de anillos de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), en su hábitat más septentrional (El Asiento, Provincia de Aconcagua), LaMarche (1975) reconstruyó las precipitaciones para la ciudad de Santiago. Boninsegna (1988) reconstruyó la precipitación de invierno de Santiago usando una versión mejorada de la misma cronología desde el año 1200.

Latorre (1973) en un estudio de la potencialidad de alerce para estudios dendrocronológicos, concluyó que la sensibilidad de la especie, si bien no era alta, estaba dentro de los rangos de especies estudiadas en el mundo hasta ese momento, siendo este el primer estudio realizado en Chile para alerce en este tema. No obstante, este trabajo no presentó cronologías para alerce.

La primera cronología de anchos de anillos para alerce fue desarrollada por Boninsegna y Holmes (1985), para la localidad de Río Cisne, Argentina, con una longitud de 1534 años, casi 40 años después que se colectaron y analizaron las primeras muestras de esta especie. Villalba et al. (1990), realizaron una reconstrucción de las fluctuaciones de los glaciares en el cerro Tronador en Argentina, mediante una cronología de ancho de anillos de alerce de 1128 años para Río Alerce. Villalba et al. (1990) también presentaron una reconstrucción de paleo-temperaturas de verano de 1122 años de longitud.

Lara & Villalba (1993), reconstruyeron las temperaturas de verano para el sur de Sudamérica para los últimos 3622 años a partir de anillos de crecimiento de alerce de muestras colectadas en Lenca, cerca de Puerto Montt. Este es el registro de temperaturas basado en anillos de crecimiento más largo publicado hasta la fecha.

Villalba et al. (1996) analizaron los patrones espaciales, periodicidad del crecimiento y la variación climática usando una red conformada por 7 cronologías de alerce en Argentina y la cronología Lenca en Chile. Posteriormente Villalba et al. (en prensa), presentaron una red de 23 cronologías de alerce en Chile y Argentina mostrando un alto grado de similitud en los patrones genera-

les de crecimiento de las poblaciones estudiadas y tendencias de un forzante climático común que se expresaría en toda el área de distribución de la especie.

El número de cronologías desarrolladas en Chile y Sudamérica austral hasta el momento es escaso, en comparación a las desarrolladas en el Hemisferio Norte, las que cubren una gran área geográfica y variedad de especies. Es importante por lo tanto ampliar el área geográfica de las cronologías, así como también la diversidad de especies, con el fin de crear una extensa red que entregue registros climáticos que permitan explicar la variación regional de las fluctuaciones climáticas en los últimos 1000 años (Lara & Villalba 1994).

Este trabajo presenta dos nuevas cronologías de alerce a partir de muestras colectadas en localidades de la Cordillera de la Costa y de los Andes, como parte de la tesis desarrollada por Neira (1995). El objetivo es aportar a la red de cronologías necesarias para caracterizar mejor los cambios climáticos en esta región geográfica y comparar con otras cronologías desarrolladas para alerce.

MATERIAL Y METODOS

Alerce (*Fitzroya cupressoides*) se distribuye en áreas remotas de las Cordilleras de los Andes y de la Costa (39°50' a 43°30' S) (Donoso 1993), estando presente también en áreas adyacentes de Argentina. Este trabajo considera el desarrollo de cronologías para dos sitios: Mirador y Contao las cuales se comparan con otras cronologías, cuya ubicación se muestra en la Fig. 1.

Mirador está ubicado en la Cordillera de la Costa dentro del monumento natural alerce costero (40° 10' S). Alerce forma bosques puros o mixtos creciendo junto a *Nothofagus nitida*, en esta área de estudio. Históricamente, estos bosques han estado afectados por disturbios reiterados tales como incendios y explotación maderera, por lo que hay un alto número de árboles muertos. La topografía del área donde se extrajo las muestras es ondulada, con una pendiente media de 21% y una altitud que fluctúa entre los 700 y 940 msnm. El suelo está catalogado como suelo podzolizado y se caracteriza por presentar pH bajos cercanos a 5,0 (Peralta et al. 1982), siendo más o menos constante en profundidad. Estos suelos son delgados a muy delgados, el arraigamiento es bueno hasta los 230 mm siendo escaso en profundidad. El drenaje es imperfecto a moderadamente bueno. El material parental del suelo es micaesquisto con sectores ricos en cuarzo (Peralta et al. 1982).

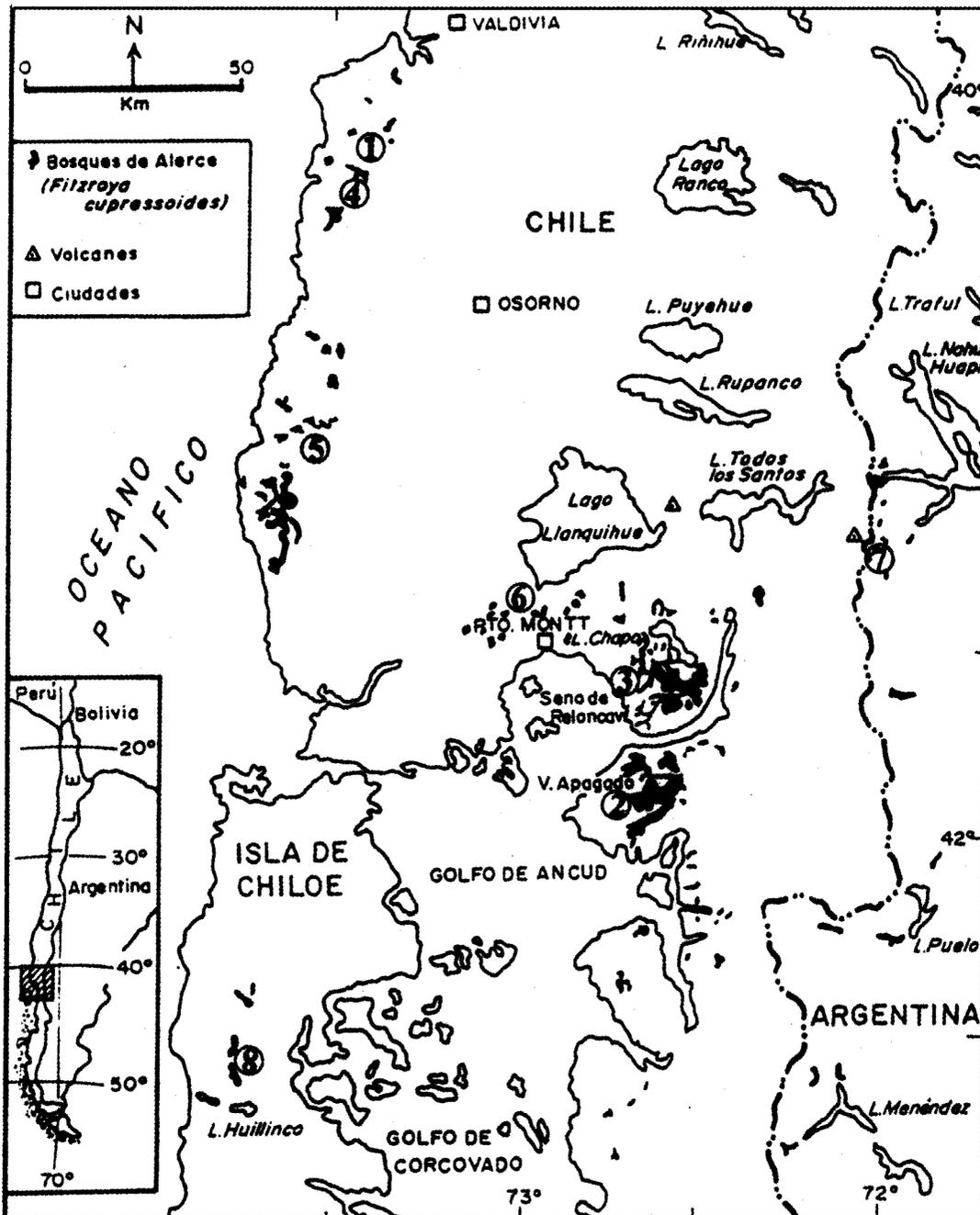


Fig. 1. Mapa de la zona centro-sur de Chile donde se muestran los sitios de estudio y la distribución de los bosques de *Fitzroya cupressoides* según Lara (1991), y la ubicación de las cronologías de ancho de anillos presentadas en el texto: 1• Mirador, 2• Contao, 3• Lenca, 4• Pelada, 5• Pabilos, 6• Neuman, 7• Río Alerce, 8• Chiloé.

Map of south-central Chile, showing the distribution of *Fitzroya cupressoides* forests according to Lara (1991). Location of the tree-ring width chronologies mentioned in the text: 1• Mirador, 2• Contao, 3• Lenca, 4• Pelada, 5• Pabilos, 6• Neuman, 7• Río Alerce, 8• Chiloé.

Contao está ubicado en la Cordillera de los Andes en las laderas del Volcán Apagado (41° 53' S). La topografía presenta pendientes moderadas con un promedio de 30% y una altitud que varía

entre los 900 y 1050 msnm. El suelo de Contao es descrito como suelo volcánico (Peralta et al. 1982). Estos suelos presentan un alto contenido de materia orgánica; pH bajo entre 4 y 5,1 aumentando en

profundidad, presenta un arraigamiento mayor que los suelos de la Cordillera de la Costa, aunque en algunos suelos más evolucionados se presenta una capa de fierrillo impidiendo el buen drenaje (Peralta et al. 1982).

El régimen climático donde habita alerce es del tipo templado oceánico (Donoso 1981, 1993, Cortés 1990); se caracteriza por temperaturas medias moderadas cercanas a 10°C, sin grandes oscilaciones y precipitaciones entre los 4000 y 5000 mm, distribuidas a lo largo del año con una disminución en los meses de verano, presentándose en los meses de invierno precipitación en forma de nieve sobre los 700 metros en ambas cordilleras (Donoso 1981, Cortés 1990).

En cada uno de los sitios se colectó tarugos de árboles vivos, así como rodela y cuñas de árboles cortados con anterioridad, obteniéndose uno o dos radios por árbol. En Contao las muestras fueron colectadas en febrero de 1989, y en Mirador la colecta se efectuó en enero de 1993 y 1994. Se colectó un mínimo de 100 radios por sitio (tarugos, rodela y cuñas), de modo de asegurar un número de al menos 30 series útiles para el cofechado por sitio. Las muestras fueron montadas, lijadas y posteriormente fueron cofechadas según los procedimientos descritos por Stokes & Smiley (1968), comparando visualmente el ancho de los anillos de cada serie respecto a los años anterior y posterior.

Luego del cofechado visual el ancho de los anillos fue medido con un equipo Velmax, conectado a un computador; quedando registrada la medida en un archivo, el cual es la fuente para los programas computacionales COFECHA (Holmes 1983), que permite comprobar y corregir el cofechado y ARSTAN (Cook & Holmes 1984), con el cual se produce la cronología. Este último programa realiza la estandarización, que consiste en ajustar cada serie de crecimiento individual, por medio del ajuste de diversas funciones, (exponencial negativa, recta o curva flexible (spline), con el fin de homogeneizar la varianza y remover los efectos del cambio de la tasa de crecimiento del árbol debido al aumento de la edad. El spline utilizado fue de 128 años el cual conserva el 97% de varianza en períodos superiores a 50 años y 71% de la varianza en períodos superiores a 100 años.

Posteriormente se estudió la relación entre los anchos de anillos de crecimiento previamente estandarizados con las variables climáticas precipitación y temperatura, a partir de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas próximas a los sitios de estudio (Tabla 1).

Para medir la relación entre los grupos de datos (índice de ancho de anillo con los registros

climáticos), se utilizó el coeficiente de correlación, desde el programa computacional RESPONSE (Holmes 1994), en el cual las variables independientes fueron temperatura y precipitación mensual o estacional.

TABLA 1

Estaciones meteorológicas utilizadas en este trabajo

Meteorological stations used in this study

Estación o grupo de estaciones	Período	Número de años
Promarg (t)	1901-1987	87
Valdivia (t,pp)	1901-1963	63
Pto. Montt (pp)	1889-1987	99

t: Temperatura; pp: Precipitación; Promarg: Promedio de las estaciones ubicadas en la Norpatagonia Argentina: Colluncó; Bariloche, Mascardi, Esquel y Sarmiento (Lara y Villaba, 1993). Valdivia: Período común para las variables climáticas temperatura y precipitación Pto. Montt: Promedio de las estaciones Puerto Montt y Chapo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La cronología Contao (41° 53' S; 72° 38' W), en la Cordillera de los Andes, presentó una amplitud de 767 años, con un promedio de 407 años para un total de 30 series (138-639 años, Fig. 2). En la Cordillera de la Costa, la cronología Mirador (40° 10' S; 73° 42' W), presentó una longitud de 874 años, con un promedio de 382 años para un total de 33 series (145-874 años, Fig. 2).

La cronología Contao presentó series de longitud más homogénea que las series que integran la cronología Mirador (Fig. 2). En esta última cronología un mayor número de series superó la longitud promedio, en comparación a la cronología Contao. Se encontró una buena cobertura de muestras en los períodos 1500 a 1987 con más de 18 series para Contao y más de 10 series para Mirador.

La descripción de las características de las cronologías desarrolladas en este trabajo, así como también los estadígrafos globales se presentan en la Tabla 2. Con fines comparativos, se incluye información de otras cronologías para alerce en la región.

La cronología Mirador presentó un ancho de anillo máximo entre 2 y 3 veces mayor al de las demás cronologías de la Cordillera de la Costa (Tabla 2). La cronología Contao presentó los

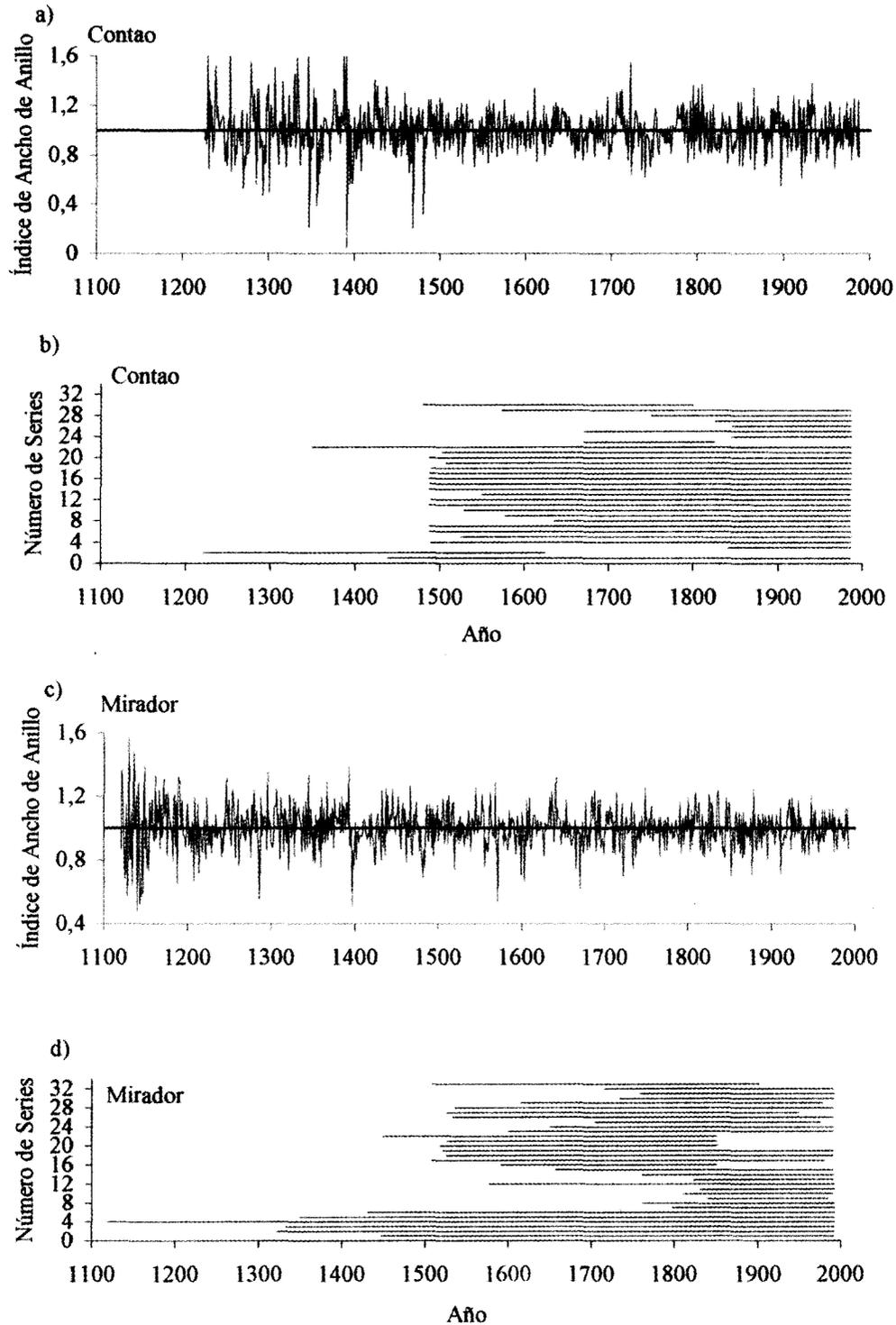


Fig. 2. a) y c) Cronologías de ancho de anillo desarrolladas para Contao y Mirador respectivamente, representadas como un índice no dimensional, ajustadas con un filtro de 100 años. b) y d) Número de series (radios de árboles individuales), para los diferentes períodos de tiempo, en cada una de las localidades.

a) and c) Tree-ring chronologies, represented as a non-dimensional index for Contao and Mirador respectively; the chronologies have been adjusted with 100 year filter; b) and d) Number of series (radii of individual trees) for the different time periods.

valores de ancho de anillo medio (0,28 mm) y ancho máximo (1,5 mm) más bajos, lo cual indica probablemente condiciones de sitio más estresantes, relacionadas con su mayor altitud y suelos menos desarrollados en comparación a los demás sitios.

Las cronologías promedio para cada sitio indicando el ancho de anillo como un índice adimensional para cada uno de los sitios estudiados se presentan en la Fig. 2. Para analizar y comparar las tendencias de incremento de las cronologías Contao y Mirador en períodos de décadas o siglos, se obtuvo la media móvil de los índices de ancho de anillo para períodos de 100 años a partir del año 1300 (Fig. 3).

El principal y más largo período de crecimiento por sobre la media para las cronologías Contao y Mirador es el de los años 1320-1480, durante el cual ambas cronologías presentaron tendencias muy similares (Fig. 3). Se observa, además, períodos comunes cortos por debajo del valor medio como los de 1480-1506; 1744-1792 y 1884-1940, siendo el año 1490 el que presenta el valor más extremo para ambas cronologías. A partir del año 1500 hubo más diferencias entre las cronologías y los períodos por sobre o bajo la media son más cortos y menos evidentes. Los períodos de mayor disimilitud entre las cronologías son los comprendidos entre 1506-1571; 1822-1863. En estos períodos la curva que representa a la cronología Contao está por debajo del valor promedio, mientras que los valores de la cronología Mirador están por sobre el promedio, lo que indica que las condiciones fueron opuestas para el crecimiento

de alerce en estos sitios. Desde 1930 en adelante se observó diferencias entre ambas cronologías, decreciendo fuertemente la cronología Mirador (por debajo del valor medio), lo que se debe probablemente a incendios y explotaciones ocurridos en el área (Cortés 1990, Veblen & Ashton 1982, Lara et al. 1999).

Correlación con variables climáticas

Se analizó la relación entre los registros de temperatura y precipitación con las cronologías Contao y Mirador para un período de 87 años (1901-1987).

Temperatura : La cronología Contao presentó una correlación negativa con los meses de diciembre y enero del año previo y el mes de septiembre del año de crecimiento, mientras que para los meses de agosto y septiembre del verano anterior y febrero del año de crecimiento la correlación fue positiva (Fig. 4). La cronología Mirador presentó correlación negativa con los meses de diciembre y febrero del verano anterior y con el mes de agosto del año de crecimiento.

Precipitación: La cronología Contao presentó correlación positiva con los meses de diciembre y enero del verano anterior y enero del año de crecimiento, mientras que la correlación es negativa con el mes de abril del año de crecimiento (Fig. 5). La cronología Mirador presentó correlación positiva con los meses de septiembre, diciembre y marzo del año previo al período de crecimiento.

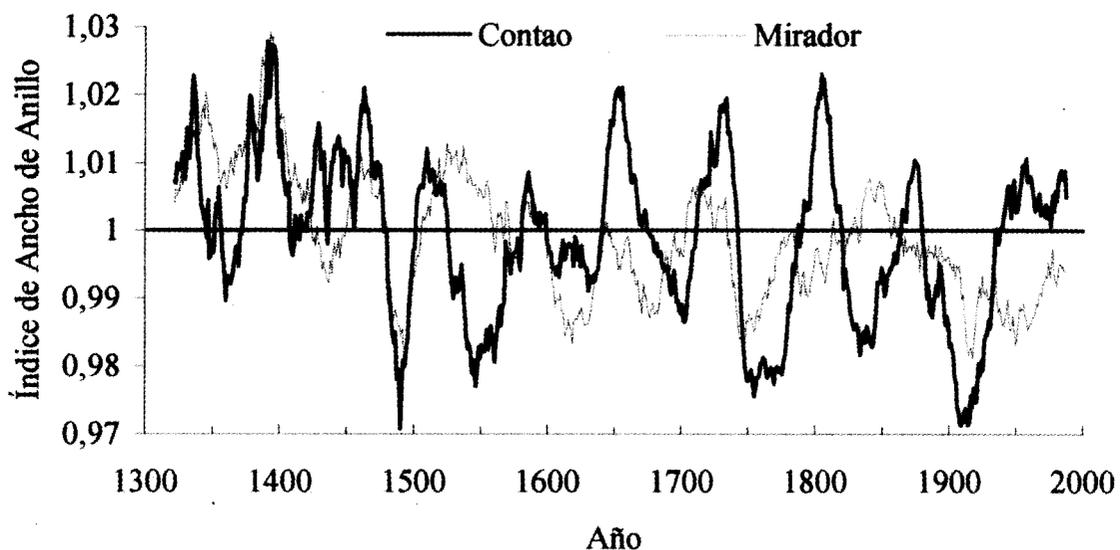


Fig. 3. Cronologías Contao y Mirador ajustadas con una media móvil de 100 años con el fin de captar ciclos de crecimientos largos.

Chronologies for Contao and Mirador sites, adjusted to 100 year moving average, in order to include long growth cycles.

TABLA 2

Comparación de cronologías de este trabajo (Contao y Mirador) con cronologías previamente publicadas de alerce (Lara y Villalba (1993); Lara, Aravena y Villalba (1994); Lara y Villalba (1994); Villalba(1990)) en la misma región

Cronologies comparison of this article (Contao y Mirador) with previous cronologies published of alerce in the same region (Lara y Villalba (1993); Lara, Aravena y Villalba (1994); Lara y Villalba (1994); Villalba(1990))

	Contao	Mirador	Lenca	Pelada
Fuente (a) :	1	1	2	3
Latitud, Longitud	41° 3'S, 72° 38'W	40° 10'S, 72° 42'W	41° 33'S, 72° 36'W	41° 00'S, 73° 43'W
Area geográfica	Vertiente Occidental C. De los Andes	Cordillera de la Costa	Vertiente Occidental C. De los Andes	Cordillera de la Costa
Altitud (msnm)	900-1050	700-940	875	850
Ancho de Anillos (mm)				
Media	0,28	0,42	0,32	0,36
Máximo	1,50	4,91	2,50	2,53
Estadígrafos globales				
Período total	1221-1987 DC	1119-1991 DC	1637 AC-1987 DC	650-1992 DC
Número de años	767	874	3625	1343
Número de series (Radios)	30	33	50	43
Sencibilidad media (b)	0,17	0,14	0,21	0,13
Autocorrelación de orden 1 (c)	0,58	0,70	0,54	0,67
Período 1750-1849				
Número de series	22	25	30	32
Correlación entre árboles	0,30	0,13	0,25	0,18
(d) Varianza contenida en el primer componente principal (%)	33,84	18,39	28,93	21,34
Período 1881-1980				
Número de series	27	25	21	29
Correlación entre árboles	0,33	0,10	0,25	0,15
(d) Varianza contenida en el primer componente principal (%)	36,06	15,64	29,15	18,65
	Pabilos	Chiloé	Neumann	Río Alerce
Fuente (a) :				
Latitud, Longitud	40° 54'S, 73° 45'W	42° 30'S, 73° 55'W	41° 22'S, 73° 03'W	41° 10'S, 71° 50'W
Area geográfica	Cordillera de la costa	Cordillera de la costa	Depresión Intermedia	Vertiente Oriental C. De los Andes
Altitud (msnm)	800	750	100	835
Ancho de Anillos (mm)				
Media	0,40	0,45	0,79	0,47
Máximo	1,70	2,99	5,60	2,63
Estadígrafos globales				
Período total	365-1991 DC	1570-1987 DC	1686-1992 DC	864-1991 DC
Número de años	1642	418	307	1128
Número de series (Radios)	16	25	34	74
Sencibilidad media (b)	0,16	0,15	0,14	0,16
Autocorrelación de orden 1 (c)	0,71	0,76	0,83	0,66
Período 1750-1849				
Número de series	7	11	5	27
Correlación entre árboles	0,22	0,21	0,24	0,22
(d) Varianza contenida en el primer componente principal (%)	33,13	28,11	39,77	25,13
Período 1850-1949				
Número de series	7	13	25	28
Correlación entre árboles	0,25	0,21	0,23	0,30
(d) Varianza contenida en el primer componente principal (%)	36,23	26,76	26,96	33,16

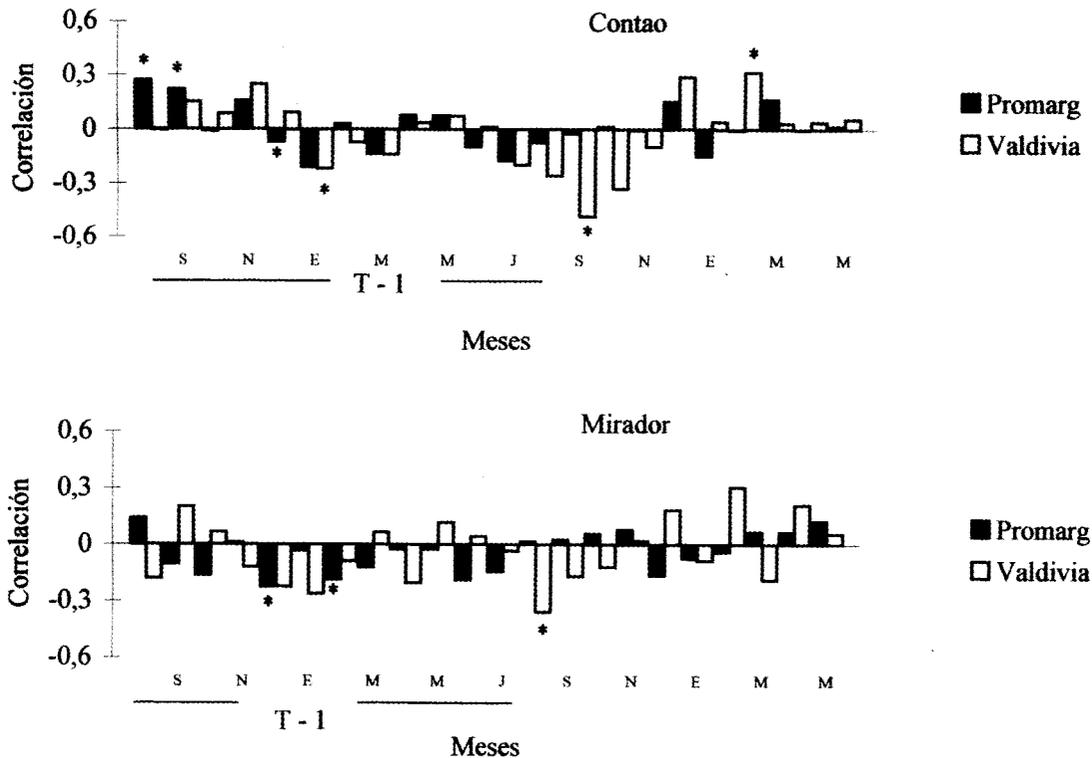


Fig. 4. Relación entre las cronologías de Contao y Mirador con la variable climática temperatura. Donde: Promarg y Valdivia son las estaciones meteorológicas (Tabla 1), T-1 : corresponde a los meses del año previo al período de crecimiento; * : indica correlaciones significativas ($P < 0,05$).

Relation between temperature and the chronologies developed for Contao and Mirador. Promarg and Valdivia are the meteorological stations described in Table 1. T-1 corresponds to the months of the previous growing period; * indicates significant correlations ($P < 0.05$).

Las tendencias observadas en las Figuras 4 y 5 son similares a los resultados presentados por Villalba et al. (1990) y Lara & Villalba (1993), quienes obtuvieron una correlación, estadísticamente significativa, con el verano previo al período de crecimiento, de signo positivo con las precipitaciones y negativo con las temperaturas.

Comparación entre cronologías

Se compararon las cronologías desarrolladas para alerce en la región (Tabla 2). Con relación al ancho de anillos, la cronología Neumann, proveniente de la Depresión Intermedia, tiene los valores de ancho de anillo más grandes, tanto en su media (0,79 mm), como en el ancho máximo (5,6 mm), en comparación a las cronologías de ambas cordilleras (Tabla 2). Este mayor crecimiento sugiere condiciones favorables de suelo y clima en la Depresión Intermedia para el desarrollo de alerce.

Los estadígrafos de la cronología Contao (Tabla 2), muestran que el sitio es bueno para estu-

dios dendrocronológicos y probablemente también dendroclimáticos, puesto que los valores de sensibilidad media y correlación entre árboles para los distintos períodos analizados fueron más altos que las demás cronologías, a excepción de la cronología Lenca. La cronología Mirador presentó un valor de sensibilidad media similar al de otras cronologías de la Cordillera de la Costa. Sin embargo, la correlación entre árboles, para los distintos períodos, es baja en comparación a las demás cronologías (Tabla 2). En el período 1881–1980, las cronologías Mirador y Pelada, geográficamente muy próximas (Fig. 1), presentaron una fuerte disminución en la varianza contenida en el primer componente principal respecto de los demás períodos, probablemente una consecuencia de las alteraciones de origen antrópico ocurridos en los sitios en los últimos 100 años.

A fin de ilustrar el grado de similitud entre las cronologías desarrolladas en este estudio y aquellas que se presentan en la Tabla 2 se realizó un análisis de correlación (Fig. 6). En el dendrograma

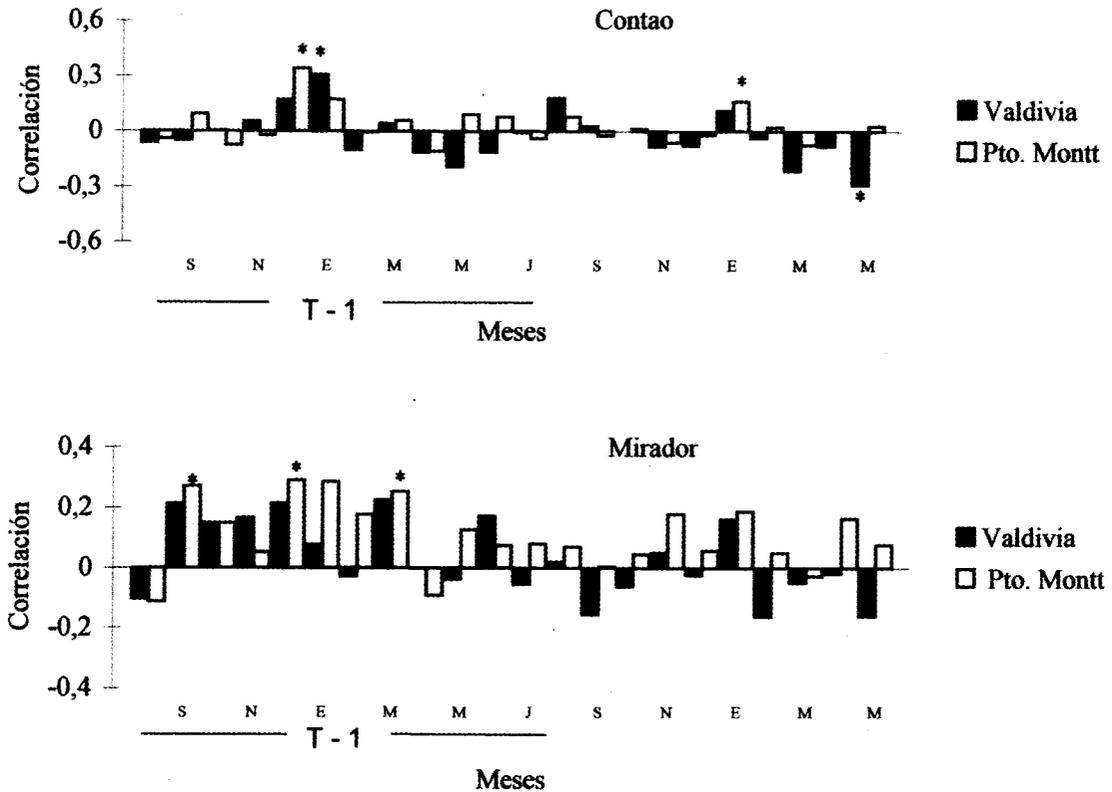


Fig. 5. Relación entre las cronologías de Contao y Mirador con la variable climática precipitación. Donde: Valdivia y Pto. Montt son las estaciones meteorológicas descritas en el Tabla 1; T-1: Corresponde a los meses del año previo al período de crecimiento; * : indica correlaciones significativas (P < 0,05).

Relation between precipitation and the chronologies developed for Contao and Mirador. Valdivia and Pto. Montt are the meteorological stations described in Table 1. T-1 corresponds to the months of the previous growing period; * indicates significant correlations (P<0.05).

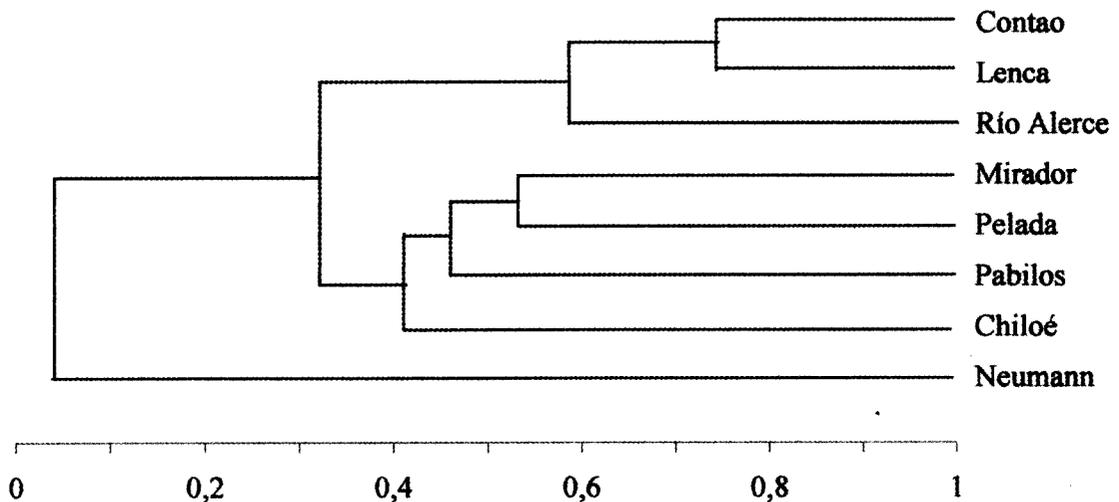


Fig. 6. Dendrograma de correlación (r), entre todas las cronologías de ancho de anillo de alerce (Tabla 2). El valor 1 indica cronologías idénticas, mientras que un valor 0 indica que no existe ninguna correlación. Dendrogram showing the correlation (r) between the tree-ring chronologies for alerce from different sites (Table 2). A value of 1 indicates that chronologies are identical, while 0 indicates no correlation between chronologies.

de la Fig. 6 se distinguen dos grupos. El primer grupo, con una alta similitud ($r = 0,6$), lo conforman las cronologías de los sitios Contao, Lenca y Río Alerce todas de la Cordillera de los Andes. El segundo grupo lo conforman las cronologías Mirador, Pelada, Pabilos y Chiloé, provenientes de sitios de la Cordillera de la Costa ($r = 0,43$). Finalmente, la cronología Neumann (Depresión Intermedia), se separa de estos dos grupos por su correlación muy baja ($r = 0,05$), con las demás cronologías. Lara et al. (1999) encontraron similares patrones de variación espacial en las cronologías de la cordillera de los Andes y de la Costa.

CONCLUSIONES

Alerce es una especie útil para estudios dendrocronológicos, ya que es posible desarrollar cronologías extensas, sensibles a cambios de temperatura y precipitación. Entre las cronologías desarrolladas, Contao presentó los valores más altos de sensibilidad media, correlación entre árboles y varianza contenida en el primer autovector, lo que indica una señal climática más fuerte común a todos los árboles. Esto probablemente se relaciona con las restricciones al crecimiento arbóreo que presentan los sitios de mayor altitud y con suelos incipientes.

Se comparó las cronologías Contao y Mirador a través una media móvil de 100 años, encontrándose períodos de crecimiento homogéneos. El período más largo de crecimiento por sobre el promedio estimado para ambas cronologías fue el de 1320-1480. Se observó que 1490 fue el año de menor crecimiento en ambas cronologías.

A partir del año 1500 se observan mayores diferencias entre las cronologías, atribuidas a diferencias en la ocurrencia de incendios y explotaciones entre los Andes y la Costa.

El análisis de correlación entre las cronologías desarrolladas y los registros de temperatura y precipitación mostró correlaciones negativas con las temperaturas de los meses diciembre y enero del verano anterior para la cronología Contao y los meses de diciembre y febrero del verano anterior para la cronología Mirador. La correlación con los registros de precipitación fue positiva con los meses de diciembre y enero del verano anterior y enero del año de crecimiento para la cronología Contao y septiembre, diciembre y marzo del año previo para la cronología Mirador.

Se observó una señal común más fuerte entre las cronologías provenientes de la Cordillera de los Andes que las cronologías provenientes de la Cordillera de la Costa. Las primeras presentaron valores de sensibilidad media, correlación entre

árboles e índices de similitud más altos, lo que indica fuertes efectos climáticos sobre el crecimiento de alerce en los Andes. A lo anterior se agrega el menor grado de alteración antropogénica en esta zona geográfica respecto de la Cordillera de la Costa y Depresión Intermedia.

A partir de los buenos estadígrafos obtenidos de la cronología Contao se recomienda completar una red de cronologías de sitios más estresantes para los árboles con relación al clima y suelo. También es necesario elaborar cronologías de sitios ubicados en la Depresión Intermedia, debido a que existe sólo una cronología en esta área. Esto permitiría ampliar la cobertura geográfica de cronologías de alerce e investigar su respuesta al clima, la cual probablemente difiera de la respuesta descrita en sitios cordilleranos, debido a importantes diferencias ambientales (menor altitud, suelos tipo ñadi anegados temporalmente), que caracterizan a los sitios donde crece el alerce en la Depresión Intermedia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado a partir de la tesis de Eduardo Neira. Se agradece el apoyo financiero otorgado por FONDECYT (Proyecto 1-93-0049), WWF (Proyecto QA- 28), Fundación Andes (Proyecto C12600/9) y National Geographic Society (Proyecto 4987-93). Agradecemos a CONAF por proporcionar los permisos y apoyo logístico en el Monumento Natural Alerce Costero. A la Sra. Alexia Wolodarsky por su ayuda en el desarrollo de la cronología Mirador. A INDUS S.A. y al Sr. Julio González por las facilidades para trabajar en Contao. Agradecemos también al Dr. Ricardo Villalba por proporcionar la cronología de Río Alerce. Al Dr. Juan Armesto y al Sr. Juan Carlos Aravena por sus comentarios y revisión de este manuscrito.

LITERATURA CITADA

- BONINSEGNA JA & R HOLMES (1985) *Fitzroya cupressoides* yields 1534- year long South American chronology. *Tree-Ring Bulletin* 45: 37-42.
- BONINSEGNA JA (1988) Santiago de Chile winter rainfall since 1200 as reconstructed by tree rings. *Quaternary of South America and Antarctica Penninsula* 6: 67-87.
- COOK ER & R L HOLMES (1984) User's manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson. 15 pp.
- CORTES M (1990) Estructura y dinámica de los bosques de Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) Johnston) en la Cordillera de la Costa de la Provincia de Valdivia. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 101 pp.

- DONOSO C (1981) Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de trabajo N° 38. Investigación y desarrollo forestal. Santiago, Chile. 70 pp.
- DONOSO C (1993) Bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria, Santiago. 438 pp.
- FRITTS HC (1976) Tree rings and climate. Academic Press, New York. 576 pp.
- HOLMES R (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 39: 77-82.
- HOLMES R (1994) Dendrochronology program library, User Manual. Laboratory of tree-ring Research. Tucson, Arizona. 25 pp.
- LAMARCHE V (1975) Potencial of tree rings for reconstruction of past climate variations in the Southern Hemisphere. Proceedings of the WMO/IAMAP Symposium on Long Term Climatic Fluctuations: 21-30. Norwich.
- LAMARCHE V, R HOLMES, P DUNWIDDIE & L DREW (1979a) Tree-ring Chronologies of the Southern Hemisphere, Argentina. Vol 1. Chronology Series V, University of Arizona, Tucson, Arizona. 47 pp.
- LAMARCHE V, R HOLMES, P DUNWIDDIE & L DREW (1979b) Tree-ring Chronologies of the Southern Hemisphere, Chile. Vol 2. Chronology Series V, University of Arizona, Tucson, Arizona. 45 pp.
- LARA A (1991) The dynamics and disturbance regimes of *Fitzroya cupressoides* forests in the south-central Andes of Chile. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Colorado, Boulder. Colorado. 183 pp.
- LARA A & R VILLALBA (1993) A 3,620-year temperature reconstruction from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260: 1104-1106.
- LARA A, JC ARAVENA & R VILLALBA (1994) Alerces, testigos milenarios del clima pasado. *Ambiente y Desarrollo (Chile)* 10: 71-78.
- LARA A & R VILLALBA (1994) Potencialidad de *Fitzroya cupressoides* para reconstrucciones climáticas durante el Holoceno en Chile y Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 443-451.
- LARA A, S FRAVER, JC ARAVENA & A WOLODARSKY-FRANKE (1999) Fire and dynamics of *Fitzroya cupressoides* (alerce) forests of Chile's Cordillera Pelada. *Ecoscience* 6: 100-109.
- LARA A, R VILLALBA, JC ARAVENA, A WOLODARSKY & E NEIRA (en prensa) Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (alerce) para Chile y Argentina. En: Roig F (ed) *Dendrocronología en América Latina*: 217-247. Editorial Nacional de Cuyo, Argentina.
- LATORRE M (1973) Posibilidades de un estudio dendrocronológico en la especie Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) Johnston). Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 60 pp.
- NEIRA E (1995) Desarrollo de cronologías para Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) Johnston) en las cordilleras de la Costa y de los Andes. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 92 pp.
- PERALTA M, M IBARRA & E OYANEDEL (1982) Suelos del tipo forestal Alerce. *Ciencias Forestales* 2: 39-60.
- SCHULMANE (1956) Dendroclimatic changes in semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 45 pp.
- STOKES M & T SMILEY (1968) An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago. 48 pp.
- VEBLEN T & D ASHTON (1982) The regeneration status of *Fitzroya cupressoides* in the Cordillera Pelada, Chile. *Biological Conservation* 23: 141-161.
- VILLALBA R, J LEIVA, S RUBULLS, J SUAREZ & L LENZANO (1990) Climate, tree-rings, and glacial fluctuation in the rio Frias valley, Rio Negro, Argentine. *Arctic and Alpine Research* 22: 215-32.
- VILLALBA R, JA BONINSEGNA, A LARA, T VEBLEN, F ROIG, JC ARAVENA & A RIPALTA (1996). Interdecadal climatic variations in millennial temperature reconstructions from southern South America. En: Jones PD, RS Bradley & J Jouzer (eds) *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 years*: 161-189. NATO ASI Series 141, Springer-Verlag Berlin – Heidelberg, Berlin.

Editor Asociado J. Armesto

Recibido el 6 de abril de 1999; aceptado el 15 de mayo de 2000