

# Potencialidad de *Fitzroya cupressoides* para reconstrucciones climáticas durante el Holoceno en Chile y Argentina

Potential of *Fitzroya cupressoides* tree rings for climate reconstruction during the Holocene in Chile and Argentina

ANTONIO LARA<sup>1</sup> y RICARDO VILLALBA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile

<sup>2</sup>Laboratorio de Dendrocronología, CRICYT-Mendoza, Casilla de Correo 330, 5500 Mendoza, Argentina

## RESUMEN

*Fitzroya cupressoides* (alerce) ha demostrado ser una especie con un alto potencial para reconstrucciones dendroclimáticas. En este trabajo se presenta una revisión de los estudios dendrocronológicos efectuados en Chile y en Argentina con alerce, y se comparan cronologías de ancho de anillos de crecimiento desarrolladas con esta especie para diferentes sitios. Dichas cronologías han servido como base para reconstrucciones de temperaturas regionales que abarcan los últimos 3620 años. Otros estudios han empleado cronologías de alerce para datar las fluctuaciones glaciales, y los cambios pasados en la circulación climática regional (ENSO, y anticiclón del Pacífico Este). Los estudios realizados evidencian la necesidad de construir una red de cronologías y de extender temporalmente los registros dendroclimáticos existentes a través de programas de cooperación científica internacional.

**Palabras claves:** dendrocronología, *Fitzroya*, paleoclimatología.

## ABSTRACT

*Fitzroya cupressoides* (alerce) tree rings has a high potential for reconstructing past climatic conditions. In this paper, we discuss dendrochronological studies of alerce in Chile and Argentina, and we compare tree-ring width chronologies for different sites. These chronologies has been used for regional temperature reconstructions for the last 3620 years. Tree-rings from alerce have been also used to dating glacial fluctuations in Patagonia and for reconstructing past changes in the regional atmospheric circulation (ENSO events and fluctuations in the eastern Pacific anticyclone positions). Our study emphasizes the need of developing a spatial grid of tree-rings chronologies as well as temporally expanding the available records. Cooperative work between South American countries in combination with international scientific teams should be encouraged.

**Key words:** dendrochronology, *Fitzroya*, paleoclimatology.

## INTRODUCCIÓN

A pesar del alto potencial que posee el estudio de los anillos de crecimiento de varias especies arbóreas para reconstruir los paleoclimas en Chile, la dendroclimatología ha sido escasamente desarrollada en este país. Las primeras colecciones con fines dendrocronológicos las efectuó Patton en 1943 en Chile, quien colectó tarugos de incremento de *Fitzroya cupressoides* (alerce) en el área del Volcán Hornopirén (Schulman 1956). Posteriormente, Schulman en 1949 y 1950 colectó muestras en Chile y Argentina y produjo las primeras cronologías (series correcta-

mente fechadas de anchos de anillos) para *Austrocedrus chilensis* y *Araucaria* en Argentina (Schulman 1956). Sin embargo, las colecciones efectuadas en Chile no pudieron ser cofechadas, y al igual que la colección efectuada en 1943 no llegaron a producir cronologías (Schulman 1956). Más tarde, entre 1974 y 1978 V.C. LaMarche y otros colaboradores del Laboratorio de Dendrocronología (disciplina que estudia la reconstrucción de eventos climáticos o procesos ambientales a partir de los anillos de crecimiento) de la Universidad de Arizona colectaron muestras en más de 50 sitios, y produjeron un total de 32 cronologías (21 en Argentina y 11 en Chile, LaMarche *et al.* 1979a, 1979b). Los avances mas recientes de esta disciplina en

Argentina están asociados a la creación del Laboratorio de Dendrocronología en Mendoza desde principios de la década de 1980. Hoy se cuenta con más de 100 cronologías en dicho país, desde la zona subtropical a la zona subantártica en Tierra del Fuego (220-550 S) a lo largo de más de 3400 km (Boninsegna 1992).

En Chile, los estudios dendrocronológicos son mucho más recientes, y mientras en Argentina la primera cronología fue presentada en 1956, las primeras cronologías para Chile se obtuvieron en 1975. Estas fueron utilizadas en la primera reconstrucción climática de la precipitación de Santiago de Chile basada en anillos de crecimiento de árboles de *A. chilensis* creciendo en la provincia de Aconcagua (LaMarche 1975). Durante más de 12 años no hubo mayor actividad hasta que a partir de 1990 se realizaron nuevas colecciones y se logró producir una reconstrucción, basada en anillos de crecimiento de *Pilgerodendron uviferum*, de la precipitación de Chiloé para los últimos 426 años (Roig y Boninsegna 1992). Más recientemente, los anillos de crecimiento de *Fitzroya cupressoides* de muestras de árboles vivos y tocones de árboles cortados con anterioridad en Lenca, cerca de Puerto Montt, permitieron reconstruir la temperatura de verano para los últimos 3622 años. Este es el registro de temperatura basado en anillos de crecimiento más largo publicado hasta el presente (Lara & Villalba 1993).

La cantidad de cronologías de anchos de anillos descritos para Chile y Argentina resulta muy escasa en comparación con los de las zonas templadas del Hemisferio Norte, donde se cuenta con redes densas de cronologías usando diferentes especies y cubriendo extensas áreas geográficas principalmente en Estados Unidos, Canadá y varios países de Europa. Sin embargo, los registros paleoclimáticos del Hemisferio Sur son fundamentales para el entendimiento del sistema climático global. Las diferencias climáticas entre el Hemisferio Norte y Sur pueden proporcionar claves importantes para dilucidar los mecanismos que explican los cambios climáticos globales (Pittock *et. al* 1978). Esto explica el interés reciente de investigadores de am-

bos hemisferios por desarrollar estudios cooperativos que no sólo permitan avanzar en el conocimiento de los paleoclimas del Hemisferio Sur, sino que permitan compararlos con los del Hemisferio Norte a fin de entender mejor los patrones espaciales y la extensión real del cambio climático global.

El objetivo de este artículo es presentar una visión sucinta de los principales estudios dendroclimáticos con alerce, discutir las potencialidades y limitaciones de esta especie en este campo, y finalmente proponer algunos criterios para orientar las investigaciones futuras de la dendroclimatología en Chile.

#### *Estado actual de los estudios dendrocronológicos en alerce*

El desarrollo de cronologías de anchos de anillos en alerce fue dificultoso, y los primeros intentos de trabajar con muestras de esta especie no fueron exitosos. No fue sino hasta 1985 en que se produjo la primera cronología de alerce de 1534 años para Río Cisne, Argentina (Boninsegna y Holmes 1985). El lento desarrollo de cronologías de alerce obedeció en gran parte a las dificultades para cofechar las muestras. El cofechado (cross-dating) consiste en comparar las variaciones en los anchos de los anillos de muestras de distintos árboles lo que permite identificar el año exacto en el cual cada anillo de crecimiento fue formado (Fritts 1976). Las dificultades para cofechar las muestras de alerce se deben principalmente a la presencia de grupos de microanillos y a sectores de las muestras con un alto porcentaje de anillos ausentes (Boninsegna & Holmes 1985, Villalba 1990). En una colección normalmente se pueden cofechar alrededor de un 50% de las muestras, pero este porcentaje varía entre sitios (Boninsegna & Holmes 1985, Villalba 1990, Lara & Villalba 1993). Las muestras que no cofechan normalmente provienen de árboles cuyo crecimiento ha estado fuertemente influenciado por condiciones locales (por ejemplo, competencia, perturbaciones endógenas), y no en respuesta a una señal climática regional común para un conjunto de árboles.

Hasta el momento se han producido las siguientes cronologías de anchos de anillos de alerce (Fig. 1): Río Cisne (Boninsegna & Holmes 1985), Río Alerce (Villalba 1990), Chiloé (Villalba, no publicada) y Lenca (Lara & Villalba 1993). Una comparación de la variación en el ancho de los anillos entre las distintas cronologías muestra que a pesar de la existencia de diferencias entre ellas, los anillos extremadamente angostos son coincidentes en la mayoría de las cronologías (Fig. 2). Actualmente se trabaja en la preparación de más de 10 cronologías de alerce, de colecciones efectuadas principalmente en Chile y también en Argentina, y hay planificadas nuevas colecciones (Lara & Aravena 1992, Lara 1992).

Las cronologías de alerce han demostrado tener una correlación negativa, estadísticamente significativa, con las temperaturas del verano anterior (Diciembre a Marzo) al período de crecimiento, lo que ha

permitido el desarrollo de largas reconstrucciones de temperatura (Villalba 1990, Lara & Villalba 1993). Las cronologías de anchos de anillos tienen también una correlación positiva con la precipitación del verano anterior, aunque esta correlación no es tan alta como aquella observada con las temperaturas (Villalba et al., 1990), por lo cual aún no se han desarrollado reconstrucciones de la precipitación a partir de esta especie. Recientemente se han efectuado estudios densitométricos en alerce utilizando rayos X, y se ha logrado producir varias cronologías de variación de la densidad de la madera temprana y tardía y se ha encontrado correlación entre estas cronologías y los registros regionales de temperatura (Roig 1993). Finalmente, series cofechadas provenientes del Parque Nacional Alerce Andino, han sido utilizadas para reconstruir las variaciones pasadas de los isótopos estables C13/C12 (Leavitt & Lara, en prensa).

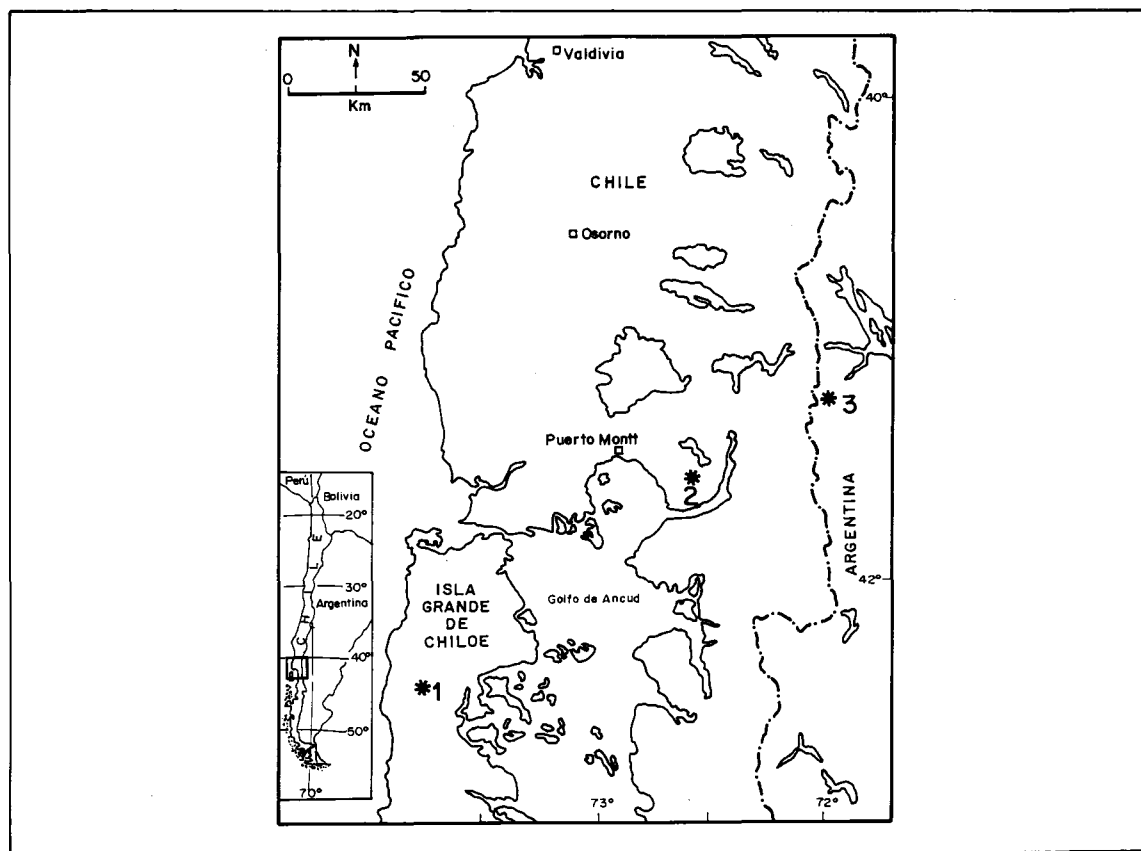


Fig. 1: Ubicación de las cronologías de ancho de anillos discutidas en el texto. 1: Chiloé, 2: Lenca, 3: Río Alerce.

Location of the tree-ring chronologies discussed in the text. 1: Chiloé, 2: Lenca, 3: Río Alerce.

*Fluctuaciones climáticas en la región austral de Sudamérica durante los últimos milenios.*

Las reconstrucciones climáticas efectuadas a partir de los anillos de crecimiento de Lenca y Río Alerce muestran que la temperatura aumentó o disminuyó por períodos de varios siglos, así como períodos en los cuales las temperaturas fluctuaron en torno a la media (Fig. 2). Las temperaturas de verano aumentaron durante el período 1400 a 750 AC., y disminuyeron desde el año 20 al año 500 DC. El período mas largo en el cual las temperaturas estuvieron sobre la media fue desde el año 80 AC al 160 DC (Fig. 2). La reconstrucción basada en la

cronología de Río Alerce muestra un período cálido entre los años 1080 y 1250 DC, que es contemporáneo con la época óptimo Medieval descrito para Europa, y dos eventos fríos (AD 1270 a 1380 y 1520 y 1670 DC) contemporáneos con eventos de la Pequeña Edad del Hielo. Estos períodos no son aparentes en la cronología de Lenca (Fig 2).

Las reconstrucciones de temperatura de Lenca y Río Alerce no muestran evidencias de una tendencia al calentamiento durante las últimas décadas, lo cual es consistente con los registros de la temperatura de la superficie del mar y las estaciones meteorológicas entre los 35 y 42° S (Aceituno *et al.*, 1993, Lara & Villalba 1993). Por el contrario, los registros de temperatura de

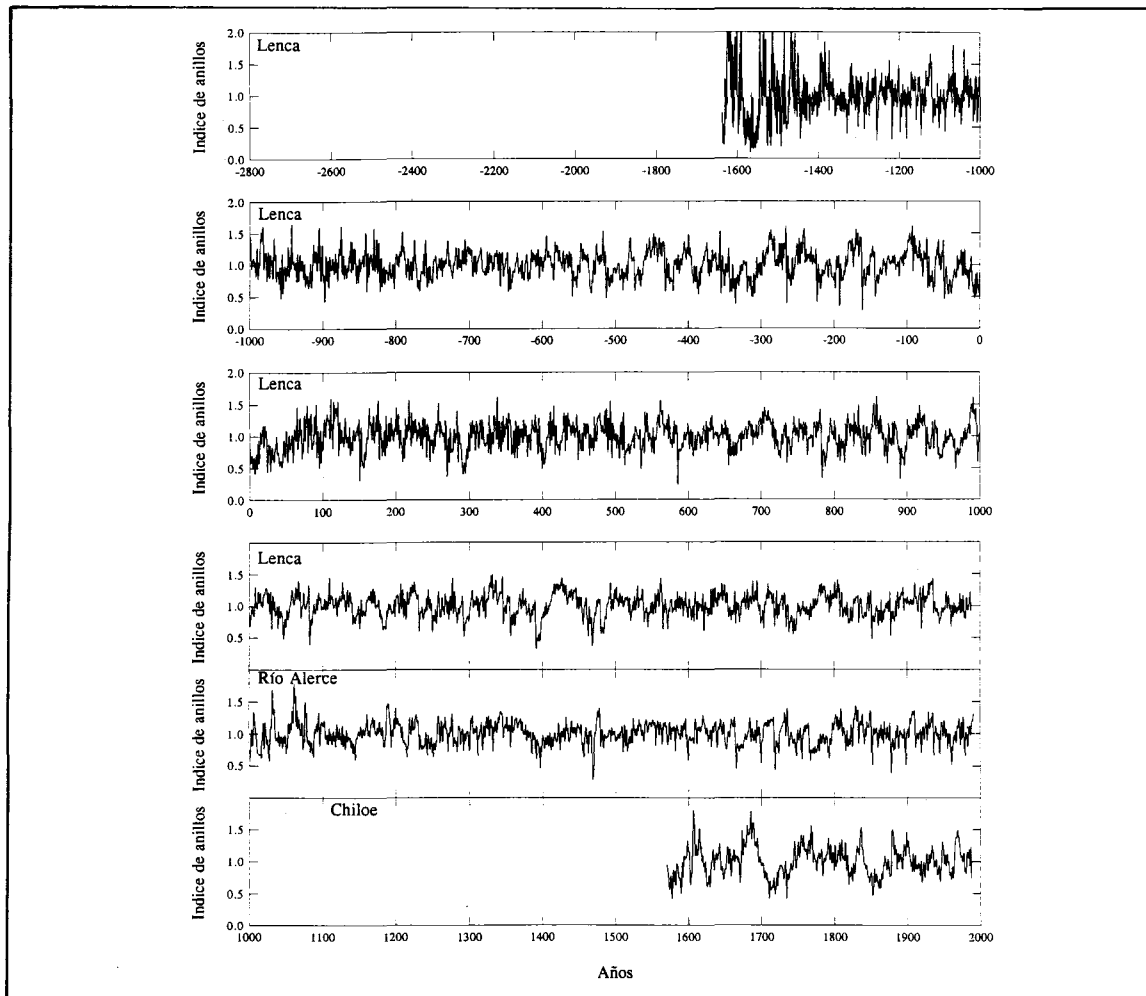


Fig. 2: Cronologías de anchos de anillos para *Fitzroya cupressoides* expresadas como un índice no dimensional, para Lenca, Río Alerce y Chiloé.

Chronologies of ring-width indices for *Fitzroya cupressoides* for Lenca, Río Alerce and Chiloé.

estaciones meteorológicas y aquellos reconstruidos dendroclimatológicamente para el extremo Austral de Sudamérica (Tierra del Fuego) y otras áreas del Hemisferio Sur, muestran un sostenido incremento en las temperaturas durante las últimas décadas (Jones *et al.* 1986, Rosenbluth & Fuenzalida 1991, Boninsegna *et al.* 1990, Cook *et al.* 1992). Estas diferencias plantean la necesidad de realizar nuevos estudios y de contar con más registros de temperatura que permitan explicar los mecanismos responsables de la variación espacial de las fluctuaciones de temperatura en la parte Sur de Sudamérica durante las décadas recientes.

Los anillos de crecimiento de alerce han sido utilizadas no sólo para reconstrucciones de temperatura sino también para producir una cronología de la frecuencia relativa de los eventos ENSO. Esta cronología se desarrolló mediante la comparación de la reconstrucción de temperatura basada en la cronología de Río Alerce con la reconstrucción de precipitación para Santiago de Chile, basada en una cronología de anillos de *Austrocedrus chilensis* de la Provincia de Aconcagua (Villalba 1994).

#### Variación geográfica en las cronologías de anchos de anillos de alerce

Un aspecto interesante en el potencial de alerce para producir reconstrucciones de temperatura ha sido no sólo la longitud de ellas, sino la significación regional de la señal climática contenida en las series de anchos de anillos. Al respecto, es interesante señalar que se ha encontrado que la variación del ancho de los anillos de crecimiento para la cronología de Lenca, explica un 22% de la varianza de la temperatura media de la superficie del mar en verano (Enero a Marzo) durante un período de 130 años (1856-1986) para un área de más de 8 millones de km<sup>2</sup>. Esta área corresponde al Sur de los Océanos Atlántico y Pacífico en torno a la parte Austral de Sudamérica (35°-55° Sur y 50°-100° Oeste, Lara y Villalba 1993).

A su vez, un análisis de los cambios en la temperatura regional muestran que las variaciones en el espesor de los anillos en la cronología de Río Alerce explica un 40, 30 y 20 % de la varianza de la temperatura del verano para estaciones meteorológicas

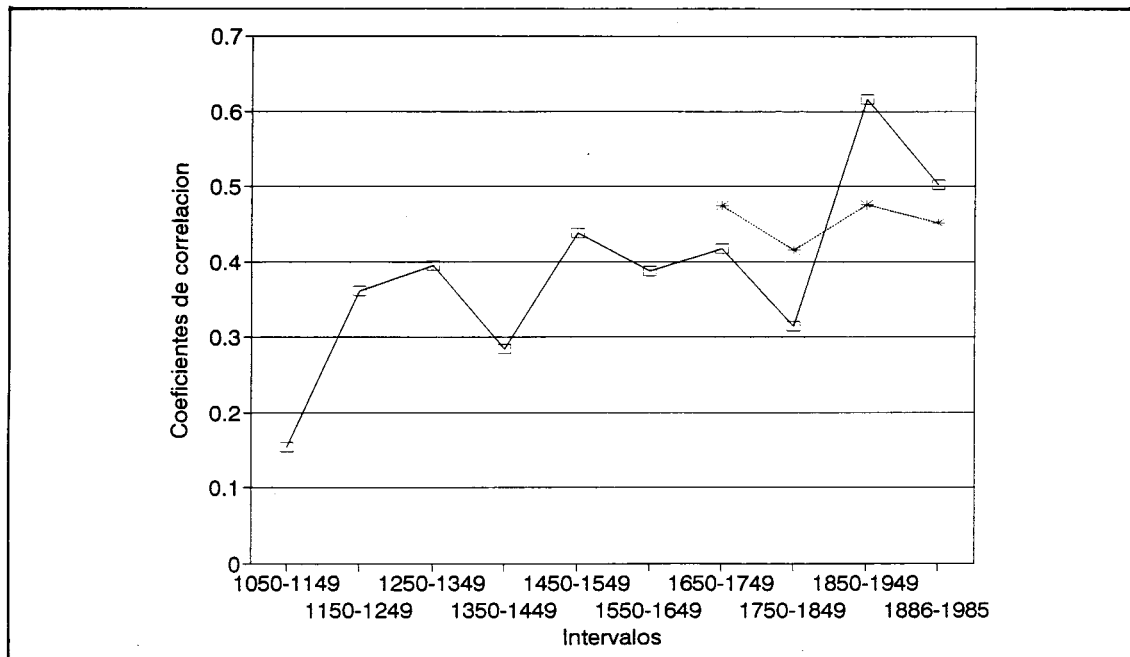


Fig. 3: Coeficientes de correlación con la cronología de anchos de anillo de crecimiento de Lenca. Línea sólida con cuadrados: Lenca-Río Alerce; línea segmentada con asteriscos: Lenca-Chiloé.

Correlation coefficients with the Lenca tree-ring width chronology. Solid line with squares: Lenca-Río Alerce; dotted line with asterisks: Lenca-Chiloé.

ubicadas hasta 400, 800 y 1000 km respectivamente del sitio de estudio (Villalba 1990).

Un análisis más detallado de las variaciones en el espesor de los anillos de árboles de las cronologías de Lenca, Río Alerce y Chiloé, muestran la existencia de períodos de mayor o menor homogeneidad. La correlación entre la cronología de Lenca y las cronologías de Chiloé y Río Alerce es similar para el período común que va desde 1650 a 1985 ( $r = 0.454$  y  $0.460$  respectivamente, Fig. 3). Los coeficientes de correlación entre Lenca y Chiloé permanecen relativamente constantes en el tiempo, indicando que el grado de homogeneidad de crecimiento (y probablemente climática) entre ambos sitios no ha experimentado grandes variaciones desde 1650. Por el contrario, los coeficientes de correlación entre las cronologías de anchos de anillos de Lenca y Río Alerce indican que hasta el período 1750-1849 el grado de homogeneidad ha oscilado dentro de límites relativamente estrechos, aumentando por el contrario en forma notoria para los períodos 1850-1949 y 1886-1985 (Fig. 3). El bajo coeficiente de correlación entre las cronologías de Lenca y Río Alerce durante el período 1050-1149 probablemente esté asociado al escaso número de muestras de la cronología de Río Alerce para este intervalo. Los cambios temporales de la relación entre las cronologías de las vertientes Occidental y Oriental de la Cordillera de los Andes podrían obedecer a períodos de mayor o menor dominancia de los vientos del Oeste sobre toda la región. Los posibles cambios en la circulación atmosférica regional sugeridos por esta falta de estabilidad en las relaciones de crecimiento en el tiempo indican la necesidad de contar con una red más densa de cronologías que puedan validar la hipótesis planteada.

Los estadígrafos de las cronologías de Chiloé, Lenca y Río Alerce, permiten establecer una comparación del potencial dendrocronológico de la especie alerce en sitios ubicados en la Cordillera de la Costa y en ambas vertientes de la Cordillera de los Andes (Tabla 1). Las características de estas cronologías y de otras que actualmente se están desarrollando, indican que

los sitios donde más fácilmente se pueden desarrollar cronologías más largas son los ubicados en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, por contener árboles vivos o cortados en las últimas décadas que alcanzan una mayor edad. Los estadígrafos indican que si bien existen ciertas diferencias entre las cronologías de las tres áreas geográficas analizadas, dichas áreas tienen el potencial de proveer cronologías de alerce de buena calidad para fines dendroclimáticos (Tabla 1).

#### *Criterios sugeridos para estudios dendrocronológicos de alerce*

##### *1) Construcción de una red de cronologías*

###### *a) Ampliación de la cobertura espacial*

El bajo número de cronologías de anillos de árboles desarrolladas hasta la fecha con alerce, indican la necesidad de incrementar fuertemente su número, trabajo que en cierta medida se está realizando en la actualidad. Asimismo, las diferencias encontradas entre las cronologías desarrolladas para diferentes localidades geográficas demuestra la necesidad de contar con una red de cronologías que permitan estudiar los patrones espaciales de las fluctuaciones climáticas durante los últimos 2 a 3 milenios. Esta variabilidad geográfica daría información clave para inferir los patrones de circulación y su evolución durante este período de tiempo. Esta red de cronologías debiera incluir además otras especies que han demostrado ser adecuadas para estudios dendrocronológicos. Entre ellas se destacan *Austrocedrus chilensis*, *Araucaria araucana*, *Pilgerodendron uvifera*, *Nothofagus pumilio*, y *N. betuloides*, cubriendo el área entre los 32° 30' y 55° Sur. Se debiera poner énfasis en la zona entre los 43° y 55° Sur, donde en el caso de Chile no se ha desarrollado cronología alguna.

Otra justificación adicional al desarrollo de una red de cronologías, es el potencial que tiene la comparación de cronologías dentro de una región geográfica amplia para la extracción de nuevas señales climáticas, que eventualmente no son evi-

dentes en ninguna cronología particular. Tal es el caso de la cronología de frecuencia relativa de eventos ENSO ya comentada (Villalba 1994) o de la reconstrucción de la posición del Anticiclón del Pacífico usando 8 cronologías de *A. chilensis*, 7 de *A. araucana* y 2 de *F. cupressoides* (Villalba 1989).

*b) Ampliación de la cobertura temporal de las cronologías*

Alerce es la segunda especie más longeva a nivel mundial, pudiendo vivir sobre 3600 años (Lara y Villalba 1993). Un objetivo importante es el de desarrollar cronologías que cubran el período anterior a estos 3600

TABLA 1

Estadígrafos de las cronologías de anchos de anillos de crecimiento de Chiloé, Lenca y Río Alerce.

Statistics for the tree-ring width chronologies in Chiloé, Lenca and Río Alerce.

	Cronología		
	Chiloé	Lenca	Río Alerce
<b>Características del sitio</b>			
Latitud, Longitud	42 30 S, 73 55 W	41 33'S, 72 36'W	41 10' S, 71 50' W
Area Geográfica	Cordillera de la Costa	Vertiente Occidental Cordillera de los Andes	Vertiente Oriental Cordillera de los Andes
<b>Estadígrafos globales</b>			
Período total	1570-1987 D.C.	1637 A.C.-1987 D.C.	864-1991 D.C.
Número de años	4187	3625	1128
Numero de series (radios)	25	50	74
Sensibilidad media*0,152	0,208	0,154	
Autocorrelación de orden 1**	0,761	0,539	0,661
<b>Período 1750-1849</b>			
Número de árboles	11	30	27
Correlación entre árboles	0,211	0,204	0,224
Varianza contenida en el primer autovector (%)	28,11	23,61	25,13
<b>Período 1850-1949</b>			
Número de árboles	13	25	28
Correlación entre árboles0,206	0,251	0,302	
Varianza contenida en el primer autovector (%)	26,76	28,93	33,16
<b>Período 1881-1980</b>			
Número de árboles	13	21	28
Correlación entre árboles	0,262	0,248	0,268
Varianza contenida en el primer autovector (%)	31,92	29,15	30,05

\* Sensibilidad media: estadígrafo que mide el cambio relativo entre el ancho de anillos de crecimiento adyacentes. Valores más altos indican un sitio con mejores características para estudios dendrocronológicos y dendroclimáticos.

\*\* Autocorrelación de orden 1: correlación entre el ancho del anillo de un año y el ancho del anillo del año anterior.

años. De acuerdo con la experiencia que se cuenta hasta hoy, es difícil encontrar sitios con árboles vivos de alerce de más de 2000 años, especialmente en la Cordillera de la Costa. Las demás especies de interés dendrocronológico tienen una longevidad significativamente menor que el alerce. Debido a estas limitaciones, los esfuerzos para extender estas cronologías deben considerar la necesidad de utilizar material sub-fosil, tales como árboles muertos y parcialmente enterrados en el suelo, árboles sepultados por capas de ceniza volcánica, aluviones y morrenas glaciales. Algunos esfuerzos de colección reciente se están haciendo precisamente a partir de este tipo de material. Muestras de alerce extraídas de tocones que quedaron enterrados *in situ* supuestamente por un lahar en Punta Pelluco, en el área de Puerto Montt, han arrojado una edad radiocarbónica de 45.000 años B.P. (Grudd 1993).

### 2) Comparación con otros registros paleoambientales

Las limitaciones asociadas con los métodos de reconstrucción dendroclimáticas sugiere la necesidad de comparar los resultados obtenidos con otros tipos de registros paleoclimáticos tales como evidencias históricas, fluctuaciones glaciales y registros polínicos. El uso conjunto de estos paleo-indicadores servirá no sólo para validar los resultados obtenidos por cada método, sino además para el desarrollo de cronologías de los cambios climáticos pasados más precisas y confiables.

### 3) Necesidad de cooperación científica internacional

Los recursos humanos y de infraestructura existentes en el campo de la dendrocronología en Chile y Argentina no son suficientes para cubrir todas las necesidades científicas y de aplicación requeridas. Por lo tanto, no sólo es necesario contar con mayores recursos económicos y un mayor número de profesionales adecuadamente capacitados, sino también con programas de colaboración mutua entre Chile y Argentina, apoyado a su vez por progra-

mas internacionales con la participación de científicos de otros países. Dicha cooperación internacional es de particular interés debido a que la investigación dendroclimática en Chile y Argentina proporciona información que no sólo es relevante a un nivel regional sino que tiene la potencialidad de proporcionar información relevante para la comprensión del cambio climático global.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por los Proyecto Fondecyt No 93-049, y por el Proyecto WWF, y por fondos provistos por el Consejo Nacional de Ciencia y Técnica de Argetina (CONICET), y la Agencia Espacial de Estados Unidos (NASA).

### LITERATURA CITADA

- ACEITUNO, PH FUENZALIDA, B. ROSENBLUTH. (1993). (pp. 61-69) in Mooney, H.A., B. Kronberg, E.R. Fuentes (eds). *Earth System Responses to Global Change: Contrasts Between North and South America*.
- BONINSEGNA JA (1992). South American dendroclimatological records. Pp. 446-462 in Bradley R.S. and P.D. Jones (eds.), *Climate since A.D. 1500*. Routledge, London and New York.
- BONINSEGNA JA, and J.L. HOLMES (1985). *Fitzroya cupressoides* yields 1534-year long South American chronology. *Tree-Ring Bull.* 45:37-42.
- BONINSEGNA JA, J. KEEGAN, G.C. JACOBY, R.D. D'ARRIGO and R.L. HOLMES (1989). Dendrochronological studies in Tierra del Fuego, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 7:315-326.
- COOK E.R., T. BIRD, M. PETERSON, M. BARBETTI, B. BUCKLEY, R. D'ARRIGO, R. FRANCEY, y P. TANS. (1991). Climatic change in Tasmania inferred from a 1089-year tree-ring chronology of Huon Pine. *Science* 253:1266-1268. Fritts, H.C. 1976. *Tree-Rings and Climate*. Academic Press. London.
- JONES PD, S.C.B. RAPER, and T.M.L. WIGLEY (1986). Southern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25:1213-1230.
- GRUDD H (1993). Tree-ring variability in AC. 45,000 year old sub-fossil *Fitzroya cupressoides* forest at Punta Pelluco (41° 30' S) in the Lake District of Chile. Taller Internacional «El Cuaternario de Chile». Universidad de Chile, Santiago 1-9 Noviembre 1993. Programa y Resúmenes P. 31.
- LAMARCHE VC (1975). Potential 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 VC, R HOLMES, PW DUNWIDDIE, and LG DREW. (1979a). Tree-ring Chronologies of the Southern Hemisphere. Vol 1: Argentina. Chronology Series V, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- LAMARCHE VC, R HOLMES, PW DUNWIDDIE, and LG DREW (1979b). Tree-ring Chronologies of the Southern Hemisphere. Vol 2: Chile Chronology Series V, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- LARA A y JC ARAVENA (1992). Dendroclimatología y Dendroecología de *Fitzroya cupressoides*. Proyecto FONDECYT No 93-049.
- LARA A (1992). Multimillennial Dendroclimatology and Dendroecology of Alerce (*Fitzroya cupressoides*). National Geographic Society Grant 4987-93.
- LARA, A AND R VILLALBA 1993. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. Science:260:1104-1106.
- PITTOCK AB, LA FRANKES, D R JENSEN, JA PETERSON and JWZILLMAN (eds.). (1978). Climatic change and variability. A southern perspective. Cambridge University Press, London.
- ROIG FA Y JA BONINSEGNA. (1992) Chiloe Island (Chile) summer precipitation reconstructed for 426 years from *Pilgerodendron uviferum* tree-ring chronologies. In: Bartholin T.S. et al. (eds.) Tree rings and Environment, Lundqua Report, 34: pp. 277-280.
- ROIG FA (1993). Variaciones espaciales del ancho de anillos y densidad e la madera de *Fitzroya cupressoides*. Consideraciones climáticas. Taller Internacional «El Cuaternario de Chile». Universidad de Chile, Santiago 1-9 Noviembre 1993. Programa y Resúmenes P. 17.
- SCHULMAN E (1956) Dendroclimatic changes in semiarid America. University of Arizona Press. Tucson.
- VILLALBA R (1989) Latitude of the surface high-pressure belt over Western South America during the last 500 years as inferred from tree-ring analysis. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 7:273-303.
- VILLALBA R (1990) Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. Quat. Res. 34:346-360.
- VILLALBA R (1994) Fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años, sus relaciones con la Oscilación del Sur. Rev. Chil Hist. Nat.
- VILLALBA R, JC LEIVA, S RUBULIS, J SUAREZ and L LENZANO (1990). Climate, tree-ring and glacial fluctuations in the Río Frías Valley, Río Negro, Argentina. Arctic and Alpine Research 22:215-32.