

Fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años: sus relaciones con la Oscilación del Sur

Climatic fluctuations in mid-latitudes of South America during the last 1000 years: their relationships to the Southern Oscillation

RICARDO VILLALBA

Laboratorio de Dendrocronología, CRICYT - Mendoza
Casilla de Correo 330. 5500 - Mendoza, Argentina

RESUMEN

Las fluctuaciones climáticas en latitudes medias (30-45°S) de América del Sur durante los últimos 1000 años fueron documentadas a través de evidencias dendrocronológicas y glaciológicas. En Chile Central, las variaciones en la precipitación invernal fueron reconstruidas a partir de anillos de árboles desde el año D.C. 1220. Los tres intervalos húmedos más significativos ocurrieron desde D.C. 1220 a 1280, desde 1450 a 1550, y desde 1840 a 1900. Prolongadas sequías se registraron entre D.C. 1280 y 1450, entre 1570 y 1650, y finalmente entre 1770 y 1820. En el norte de Patagonia, se usó el ancho de los anillos de árboles para producir una reconstrucción de las temperaturas de verano desde el año D.C. 870. Se reconstruyeron veranos relativamente frescos para el intervalo comprendido entre aproximadamente el año D.C. 900 y el año 1070. Un intervalo cálido se registró entre los años D.C. 1080 y 1250. Dos importantes intervalos fríos ocurrieron entre los años D.C. 1270 y 1380 el primero, y entre D.C. 1540 y 1670 el segundo. En Chile Central, se registraron avances glaciales a comienzos del siglo XIV y más recientemente, alrededor de D.C. 1860. En el norte de Patagonia, los avances glaciales más importantes ocurrieron durante los siglos XIV y XVII. Finalmente, en el sur de Patagonia, avances glaciales han sido señalados desde comienzos del siglo XIV hasta el intervalo que va desde fines del siglo XVII hasta comienzos del siglo XIX. Una comparación de las fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur, muestra que los intervalos con inviernos lluviosos más importantes en Chile Central fueron sincrónicos con veranos cálidos en el norte de Patagonia, y viceversa, sequías en Chile Central fueron sincrónicas con veranos fríos en el norte de Patagonia. Este patrón de variación paleoclimática es similar al patrón de circulación actual asociado con la Oscilación del Sur. Una cronología de la frecuencia relativa de eventos ENSO a partir de D.C. 1220 fue elaborada empleando simultáneamente las reconstrucciones de precipitación invernal en Chile central y de temperatura de verano en el norte de Patagonia. En ambas reconstrucciones a partir de anillos de árboles, los años 1468-69 representan simultáneamente los inviernos de mayores precipitaciones en Chile Central y los veranos con más altas temperaturas en el norte de Patagonia durante los últimos 1000 años. Un evento extraordinario de la Oscilación del Sur, probablemente de mayor intensidad a los registrados históricamente, podría estar asociado con estas anomalías climáticas en dos regiones de América del Sur distanciadas entre sí 1000 km.

Palabra claves: dendrocronología, glaciología, El Niño, paleoclimatología.

ABSTRACT

Climatic fluctuations in mid-latitudes (30-45°S) of South America during the last 1000 years were reconstructed using dendrochronological and glaciological records. Variations of winter precipitation in central Chile were reconstructed going back to the year A.D. 1220. Precipitation was above the long-term mean from D.C. 1220 to 1280, from 1450 to 1550, and from 1840 to 1900. Extended droughts were recorded from A.D. 1280 to 1450, from 1570 to 1650, and from 1770 to 1820. In northern Patagonia, tree-rings variations were employed to reconstruct the summer temperature deviations since A.D. 870. From A.D. 900 to 1070, summer temperature was below the long-term mean. Warmer conditions were recorded between A.D. 1080 and 1250. Cool summers prevail between A.D. 1270 and 1380, and lately between A.D. 1540 and 1670. In central Chile, glacier advances early in the 14th century, and more recently around A.D. 1860. In northern Patagonia, glacier advances were dated for the 14th and 17th centuries. Finally, in southern Patagonia, neo-glacial advances have been reported from early in the 14th century to late 17th-early 19th centuries.

Wet periods in central Chile were mostly coincident, with warm summers in Patagonia. Conversely, extended dry winter conditions in central Chile were synchronous, with few exceptions, with cool summer in northern Patagonia. These regional patterns of climatic variations resemble the current climatic patterns related to El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Based on these relationships, a chronology of relative frequencies of ENSO events was developed for the last 7 centuries using both the central Chile precipitation and the northern Patagonia temperature reconstructions. The years A.D. 1468-69 represent in both reconstructions the highest departures during the last 1000 years. An ENSO event of greater magnitude than anyone recorded historically, could be associated with extreme climatic conditions in two regions separate by 1000 km.

Key words: dendrochronology, glaciology, El Niño, paleoclimatology.

INTRODUCCION

Evidencias glaciológicas, dendrocronológicas, e históricas han sido usadas para inferir las fluctuaciones climáticas durante los últimos 1000 años en las regiones templadas de América del Sur (Taulis 1934, Mercer 1982, Villalba et al. 1990, Boninsegna 1992, Prieto 1985). Las reconstrucciones climáticas derivadas a partir de un solo tipo de evidencia (por ejemplo, a partir de anillos de árboles o datos históricos) son valiosas. No obstante, aquellas reconstrucciones climáticas basadas en la combinación de diferentes tipos de registros paleoambientales serán sin duda las más confiables (Bradley & Jones 1992). Dado el mayor o menor grado de incertidumbre asociado a cada método de reconstrucción, la verificación de las reconstrucciones climáticas empleando datos independientes (o verificación cruzada) es un requisito muy importante. En América de Sur, dependiendo de la región de estudio, dos o más fuentes de información paleoclimática pueden ser usadas para reconstruir las fluctuaciones climáticas durante las últimas centurias.

Reconstrucciones de parámetros climáticos e hidrológicos han sido elaboradas empleando anillos de árboles a lo largo de los Andes desde los 32 a los 54°S (Boninsegna 1992). Asimismo, avances y retrocesos glaciales durante los últimos 1000 años han sido claramente documentados en los Andes Centrales de Chile y en los Andes patagónicos (Mercer 1982, Röthlisberger 1988, Rabassa & Clapperton 1990). En este trabajo, evidencias dendrocronológicas y glaciológicas conjuntas fueron usadas para inferir las fluctuaciones climáticas en las latitudes medias de América del Sur durante las últimas centurias.

El análisis conjunto de las variaciones climáticas de los últimos 1000 años en la región central de Chile y en el norte de la Patagonia indica la existencia de patrones paleoclimáticos asociados al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (Aceituno 1988, Kiladis & Diaz 1989). Inviernos con altas precipitaciones en la región Central de Chile son seguidos por veranos cálidos en el norte de Patagonia. Basada en estas relaciones se elaboró una cronología de la recurrencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur

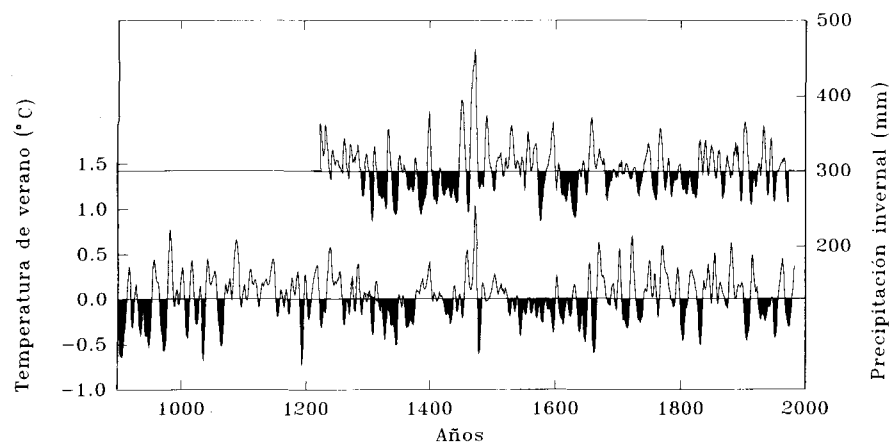


Fig. 1: Reconstrucciones dendrocronológicas de la precipitación invernal en Santiago de Chile y de las desviaciones de la temperatura de verano en el norte de Patagonia. Se observa una tendencia general a la ocurrencia simultánea de períodos húmedos en Chile Central y veranos cálidos en Patagonia. Asimismo, extensos períodos secos en Chile Central son cronológicamente coincidentes con bajas temperaturas de verano en Patagonia. Las reconstrucciones han sido suavizadas con un filtro de baja frecuencia para resaltar las variaciones temporales mayores de 5 años.

Dendrochronological reconstructions of winter precipitation in Central Chile and departures from the regional temperature in northern Patagonia. Wet intervals in Central Chile are mostly coincident with warm summer intervals in Patagonia. Conversely, most dry intervals in Central Chile are synchronous with cool summers in northern Patagonia. The series have been smoothed to emphasize low frequency variance.

hasta el año D.C. 1220, empleando simultáneamente las reconstrucciones dendrocronológicas de la precipitación invernal en Chile Central y de la temperatura de verano en el norte de Patagonia. Finalmente se discute la existencia de eventos de la Oscilación del Sur anteriores al período de recopilación histórica según Quinn & Neal (1992).

Evidencias dendrocronológicas

Las precipitaciones en la región central de Chile fueron reconstruidas a partir del año D.C. 1220 (Boninsegna 1988). Muestras de *Austrocedrus chilensis* Florin & Boutleje (ciprés de la cordillera) creciendo en El Asiento, provincia de Aconcagua (32°39'S), se emplearon para reconstruir la precipita-

ción invernal de Santiago de Chile (33°27'S). La reconstrucción, que explica el 41% del total de la variancia en la precipitación invernal de Santiago, muestra dos períodos húmedos importantes, el primero desde D.C. 1220 a 1280 y el segundo desde D.C. 1450 a 1550 (Fig. 1). Extensos períodos secos ocurrieron entre D.C. 1280 y 1450, entre D.C. 1570 y 1650, y desde 1770 a 1820 (Boninsegna 1988).

En el norte de Patagonia, muestras de *Fitzroya cupressoides* Mol. Jhonst. (alerce) provenientes del valle del Río Alerce (41°10'S) fueron empleadas para reconstruir las desviaciones estivales de la temperatura regional (Villalba 1990). El registro, que comienza en D.C. 870 muestra un período relativamente frío desde aproximadamente D.C. 900 a D.C. 1070 (Fig.1). Este episodio frío fue seguido por un inter-

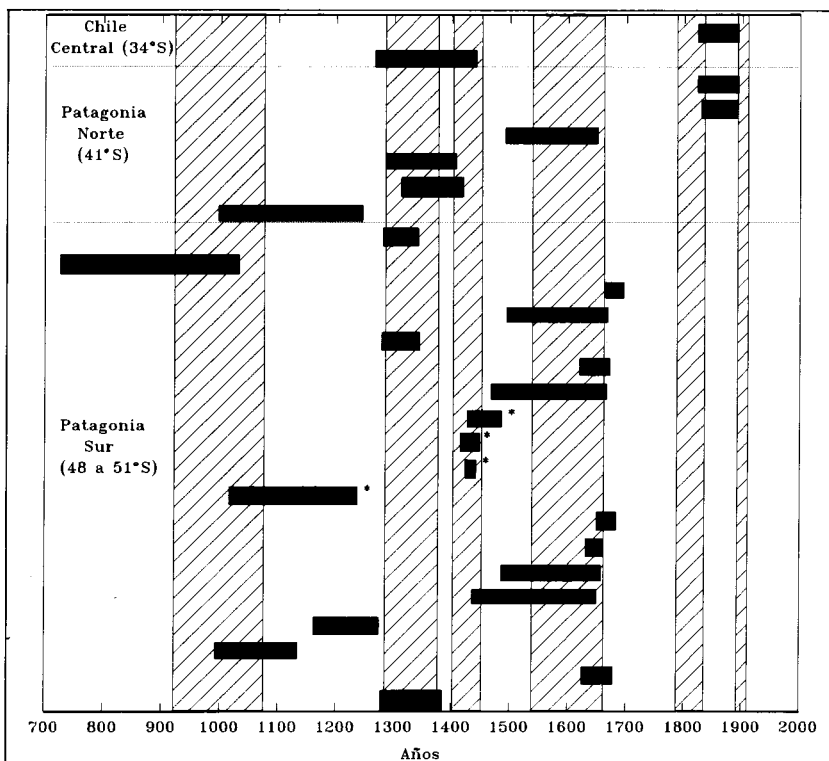


Fig. 2: Dataciones radiométricas, tomadas de Röthlisberger (1986) y Mercer (1968, 1970), relacionadas a avances glaciales en los Andes entre los 30 y 50°S. Las dataciones radiométricas están representadas por rectángulos, el tamaño de los cuales representa el error asociado a cada datación (desviación estandar). Los áreas rayadas representan intervalos con veranos frescos en Patagonia reconstruidos a partir de anillos de árboles. Los asteriscos corresponden a dataciones radiométricas de leño no *in situ*.

Radiocarbon dates (Röthlisberger 1988, Mercer 1968, 1970) associated with glacial advances in the Andes between 30 and 50°S. Radiocarbon dates are indicated by boxes. The sizes of the boxes represent the standard deviations (errors) of the radiocarbon dates. Striped intervals correspond to cool summer periods in northern Patagonia reconstructed from tree-rings. Asterisks (*) indicate radiocarbon dates from trunks not *in situ*.

valo cálido que se extendió desde D.C. 1080 hasta A.D 1250. Veranos frescos aparecen nuevamente a partir del año D.C. 1270 hasta 1380 y particularmente desde D.C. 1520 a 1660. Condiciones cálidas fueron registradas más recientemente para los intervalos D.C. 1720-1790 y D.C. 1850-1890. El modelo empleado en la reconstrucción de explica el 41% de la variancia total en el registro de la temperatura regional.

Evidencias glaciológicas

Un detallado registro de dataciones radiométricas asociado a avances y retrocesos glaciales fue realizado para los Andes por Röthlisberger (1986). En el glaciar Los Cipreses, Chile Central (34°S), avances glaciales fueron datados para el comienzo del siglo XIV y alrededor de D.C. 1860 (Fig. 2). En el norte de Patagonia, a los 41°S, las dataciones radiocarbónicas indican que avances del glaciar del Río Manso ocurrieron en D.C. 1040, 1330, 1365, 1640, y durante el intervalo D.C. 1800-1850 (Fig.2). En el glaciar Frías, aproximadamente a la misma latitud del

glaciar del Río Manso, los avances y retrocesos glaciales fueron fechados empleando evidencias históricas y dendrocronológicas (Villalba et al. 1990). Durante los últimos 1000 años, el glaciar alcanzó su máxima extensión alrededor de D.C. 1640-1660. Posteriormente, otros avances menores ocurrieron alrededor de D.C. 1720, 1750, 1840, 1910, 1940 y 1977.

En la región del Hielo Patagónico Sur, las dataciones dendrocronológicas y radiométricas indican que algunos glaciares comenzaron a avanzar alrededor de D.C. 1300 (Mercer 1968, 1970, 1982). La culminación de estos avances neoglaciales ha sido estimada entre el fin de siglo XVII y comienzos del siglo XVIII.

En general, las dataciones de avances glaciales en Patagonia aparecen agrupadas en tres períodos principales: desde D.C. 1280 a 1460, desde D.C. 1560 a 1690, y finalmente alrededor de A.D 1860 (Fig.2). Los frentes glaciares probablemente retrocedieron entre D.C. 1100 y 1280, entre 1440 y 1560, entre 1730 y 1800 y entre 1850 y 1900. Un retroceso generalizado de los glaciares en los Andes ha sido observado en las últimas décadas (Rabassa & Clapperton 1990).

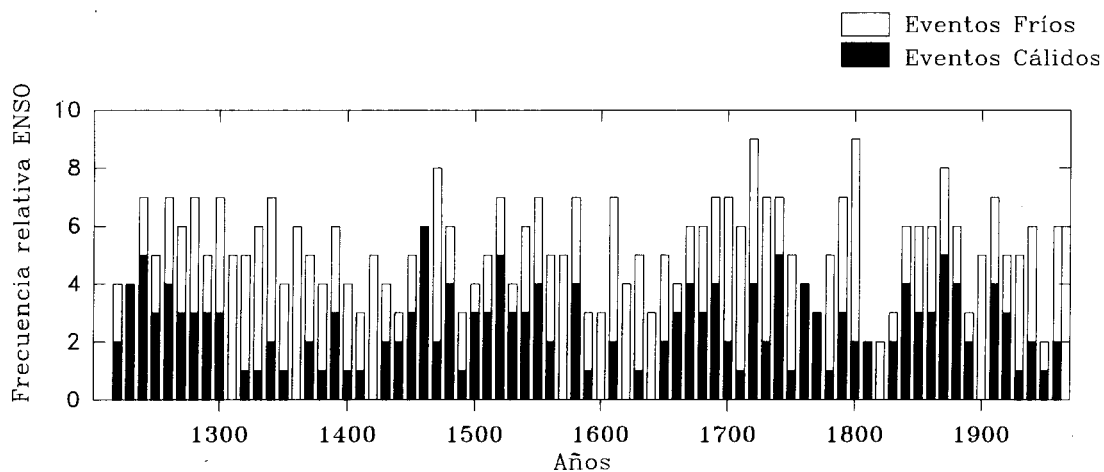


Fig. 3: En base a las reconstrucciones dendrocronológicas, las barras llenas representan el número de años por década con precipitaciones invernales abundantes en Chile Central seguidos por veranos cálidos en el norte de Patagonia. A su vez, las barras vacías representan el número de años por década con precipitaciones escasas en Chile Central seguidos por veranos frescos en el norte de Patagonia. Las barras llenas y vacías representarían frecuencias relativas de eventos ENSO cálidos y fríos respectivamente.

Based on the tree-ring reconstructions, black bars represent the number of year by decade in which heavy winter precipitation in Central Chile was followed by warm summer conditions in northern Patagonia. On the other hand, empty bars represent the number of year by decade with dry winter conditions followed by cool summers in Patagonia. Black and empty bars could be considered as a relative frequency of warm and cold ENSO events, respectively.

Comparación de registros dendrocronológicos y glaciológicos

La escasez de dataciones absolutas relacionadas con avances y retrocesos glaciales en los Andes entre 30 y 35°S imposibilita una directa comparación entre registros dendrocronológicos y glaciológicos. Los avances del glaciar de Los Cipreses (34°S) al comienzo del siglo XIV podrían estar asociados al período húmedo D.C. 1220-1280. En forma similar, los avances datados alrededor de D.C. 1860, podrían responder al período húmedo que se inició en D.C. 1820. Sin embargo, los registros históricos para el glaciar de los Cipreses indican un proceso de recesión relativamente constante desde D.C. 1858, año en el cual se efectuó la primera medición de la elevación del frente glacial (Pissis 1875, Gussfeldt 1892, Cobos & Boninsegna 1983).

En Patagonia, las dataciones radiométricas y dendrocronológicas de avances glaciales son altamente coincidentes con

los períodos fríos inferidos a partir de la reconstrucción dendrocronológica de la temperatura de verano (Fig.2). Las dataciones radiométricas agrupadas temporalmente en los intervalos D.C. 1280-1460, 1560-1690 y alrededor de 1860, podrían estar asociadas con los intervalos fríos D.C. 1270-1380, 1520-1660 y 1800-1840, respectivamente. Asimismo, los períodos de retracción glacial se relacionarían con los intervalos cálidos que se extendieron desde D.C. 1070 a 1270, desde 1380 a 1500, desde 1680 a 1780, y posteriores a 1850.

Relaciones con El Niño-Oscilación del Sur

Las variaciones de la precipitación en la región central de Chile están relacionadas con los eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Durante los eventos cálidos de ENSO, las precipitaciones son abundantes. Por el contrario, precipitaciones escasas ocurren durante eventos fríos de ENSO

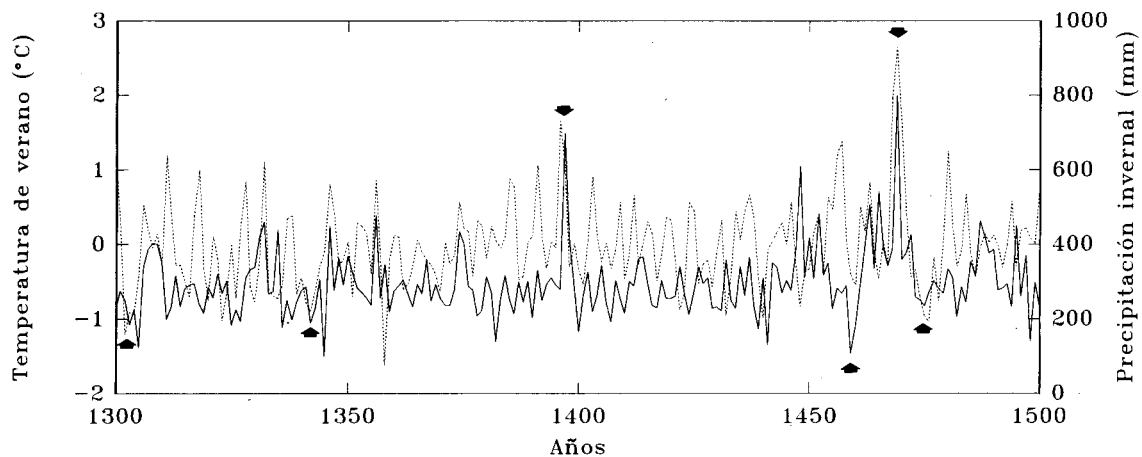


Fig. 4: Precipitación invernal de Santiago de Chile (línea entera) y desviaciones de la temperatura en el norte de Patagonia (línea de puntos) para el intervalo D.C. 1300-1500, reconstruidas a partir de anillos de árboles. La ocurrencia simultánea de precipitaciones muy abundantes y extremadamente altas temperaturas para los años 1395-96 y 1468-69 (flechas superiores) estarían asociadas con eventos ENSO cálidos extraordinarios. Contrariamente, situaciones con severas sequías en Chile Central seguidas por veranos relativamente fríos en Patagonia, tales como las observadas en D.C. 1302-1303, 1341-42, 1458-59, y 1470-71 (flechas inferiores), estarían asociadas con eventos ENSO fríos de gran intensidad.

Tree-ring reconstructions of winter rainfall in central Chile (solid line) and summer temperature deviations in northern Patagonia (dotted line) for the interval A.D. 1300-1500. The synchronous occurrence of heavy winter precipitation in Central Chile and extremely warm summers in northern Patagonia for the years A.D. 1395-96 and 1468-69 (upper arrows) could be related to very strong warm ENSO events. Conversely, extremely dry conditions in Central Chile and cold summers in Patagonia, as those recorded in A.D. 1302-03, 1341-42, 1458-59, and 1470-71 (lower arrows), could be related to very strong cold ENSO events.

(Aceituno 1988, Rutland & Fuenzalida 1991). En el norte de Patagonia, veranos cálidos normalmente siguen los eventos cálidos de ENSO (Kiladis & Diaz, 1989). Las reconstrucciones de precipitación en Chile Central y temperatura en el norte de Patagonia fueron comparadas simultáneamente con eventos cálidos y fríos de ENSO, según Kiladis y Diaz (1989), y Quinn y Neal (1992). El análisis estadístico de estas relaciones indica que la ocurrencia simultánea de eventos cálidos de ENSO, precipitaciones abundantes en Chile Central y veranos cálidos en Patagonia, es altamente probable (significancia del 95%; Villalba en prensa). Asimismo, relaciones estadísticamente significativas (95%) fueron encontradas entre eventos fríos del ENSO, precipitaciones escasas en Chile central y veranos frescos en el norte de Patagonia.

La validez estadística de estas relaciones justifica el uso de las reconstrucciones dendrocronológicas para inferir históricamente la frecuencia de eventos ENSO. Empleando las reconstrucciones dendrocronológicas, aquellos años con abundantes precipitaciones en Chile central y con veranos cálidos en el norte de Patagonia podrían ser asignados como años con

eventos cálidos de ENSO. Contrariamente, la ocurrencia simultánea de escasas precipitaciones en Chile con veranos fríos en Patagonia respondería a eventos fríos de ENSO.

El análisis temporal de ambas reconstrucciones indica la ocurrencia relativa de un alto número de situaciones con precipitaciones invernales abundantes en Chile central seguidos por veranos cálidos en Patagonia en las siguientes décadas: D.C. 1240, 1460, 1520, 1740, y 1870 (Fig.3). Por otro lado, un gran número de situaciones con precipitaciones invernales escasas en Chile central seguidas por veranos frescos en Patagonia ocurrieron en D.C. 1360, 1470, y 1800. Debido a la autocorrelación que caracteriza las series de anillos de árboles, es difícil establecer si dos o más situaciones cálidas (frías) consecutivas responden a un único evento o a más de un evento cálido (frío) de ENSO. Consecuentemente, el número de situaciones por décadas sería una medida relativa del predominio de eventos cálidos (fríos) más que la frecuencia real de eventos cálidos (fríos) de ENSO.

Los años 1468 y 1469 representan las mayores desviaciones de precipitación y temperatura a partir del valor medio en

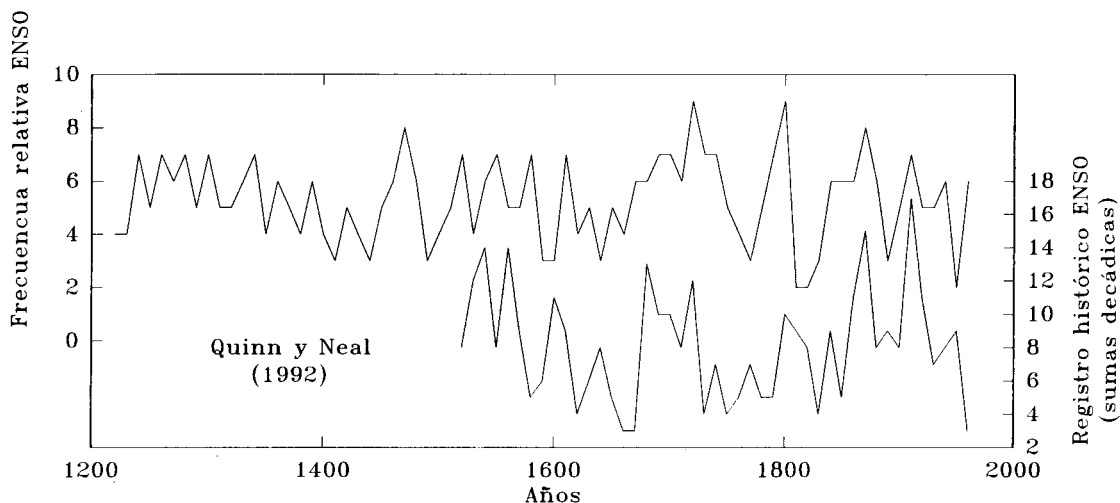


Fig. 5: Comparación entre el registro histórico de eventos ENSO (tomado de Quinn & Neal 1992 y sumado por décadas) y el número de eventos ENSO por décadas reconstruidos en base a anillos de árboles (este trabajo, tomado de la Fig 4).

Comparison between the historical record of ENSO events, grouped by decade (Quinn & Neal 1992), and the number of ENSO events by decade reconstructed from tree-rings (this study, from Figure 4).

ambas reconstrucciones. Las precipitaciones invernales reconstruidas en Chile central fueron 6,3 desviaciones estandar sobre el valor medio, mientras que en el norte de Patagonia la temperatura fue aproximadamente 2.6°C sobre el valor medio (Fig.4). Un evento ENSO cálido, de magnitud superior a todos aquellos registrados históricamente, podría muy probablemente estar asociado con estos valores extremos en dos reconstrucciones climáticas separadas espacialmente por 1000 km. Otro evento ENSO cálido extraordinario estaría asociado a las importantes desviaciones reconstruidas para los años 1395 y 1396 (Fig.4). Dataciones radiométricas de detritos leñosos presentes en sedimentos fluviales en la costa norte del Perú, indican coincidentemente la ocurrencia de eventos ENSO de tipo extraordinario en D.C. 1460 \pm 20, y D.C. 1380 \pm 140 (Wells 1987; evento 11, Wells 1990).

DISCUSION

Registros dendrocronológicos y glaciológicos a lo largo de los Andes se usaron para reconstruir en forma conjunta las fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años. El uso de dos tipos de evidencias paleoclimáticas aumenta la validez de los resultados presentados. Los anillos de árboles y las fluctuaciones glaciales indican que los veranos en Patagonia fueron más cálidos desde D.C. 1080 a 1250. Este intervalo cálido fue interrumpido solamente por un corto período frío alrededor de D.C. 1190. Otros intervalos cálidos en el norte de Patagonia, en los cuales sólo se han registrados avances glaciales menores, se extienden desde aproximadamente D.C. 1450 a 1520, 1680 a 1780, y 1840 a 1890. Por el contrario, veranos relativamente fríos en el norte de Patagonia acompañados con avances glaciales han sido registrados desde D.C. 1300 hasta 1380, y particularmente desde D.C. 1550 a 1660. Durante estos períodos fríos en el norte de Patagonia, la región central de Chile registró los dos períodos secos más intensos de los últimos 1000 años.

Los registros paleoclimáticos muestran una tendencia general a la ocurrencia simultánea de inviernos húmedos en Chile central seguidos por veranos secos en Patagonia, y viceversa, inviernos secos en Chile central seguidos por veranos relativamente fríos en Patagonia. Este tipo de patrón climático regional es similar al observado durante la ocurrencia de eventos ENSO cálidos y fríos, respectivamente. Kiladis y Diaz (1989) notaron que en aquellos años que preceden eventos ENSO cálidos, las anomalías climáticas tienden a ser opuestas a aquellas registradas durante el año de ocurrencia del evento. Esta tendencia bienal no siempre es correctamente reconstruida a partir de series dendrocronológicas como consecuencia de la autocorrelación presente en las series de anchos de anillos. En consecuencia, el número total de eventos ENSO reconstruidos (cálidos mas fríos) a partir de la comparación simultánea de las reconstrucciones dendrocronológicas, es mejor indicador del número de eventos ENSO, que el número de eventos cálidos y fríos considerados en forma independiente. Cuando los eventos ENSO cálidos y fríos son considerados conjuntamente (Fig.5), una alta recurrencia de eventos ENSO es estimada para los siguientes intervalos: D.C. 1240-1349, 1450-1489, 1510-1589, 1670-1759, 1780-1809, y 1840-1889. Contrariamente, una baja recurrencia de eventos ENSO es estimada en: D.C. 1350-1449, 1590-1669, y 1810-1839 (Fig.5). La mayoría de los períodos de alta recurrencia son coincidentes con aquellos históricamente reconstruidos por Quinn y Neal (1992).

Este estudio esta lejos de representar una etapa final y acabada sobre el conocimiento de las fluctuaciones climáticas de los últimos 1000 años en el extremo sur de América del Sur. El principal motivo de este trabajo ha sido presentar una metodología para el estudio de las fluctuaciones climáticas pasadas basada en el análisis conjunto de registros dendrocronológicos, glaciológicos e históricos. De la integración de todos los registros paleoambientales disponibles para una región resultarán las reconstrucciones climáticas mas confiables. A su vez, estas reconstruccio-

nes regionales serán piezas de un sistema más complejo destinado a reconstruir las fluctuaciones pasadas de forzantes climáticos que actúan en escala continental o hemisférica tal como el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur.

Es importante señalar la potencialidad que los estudios paleoclimáticos en latitudes medias y altas de América del Sur tienen en relación al conocimiento comprensivo del sistema climático, no solo a nivel regional, sino también hemisférico. Sin lugar a dudas, las cronologías del ciprés de la cordillera en Chile Central constituirán, a nivel mundial, una de las piezas fundamentales en el estudio pasado de los eventos El Niño-Oscilación del Sur y su relación más local con el anticiclón semipermanente del Pacífico. Las cronologías milenarias de alerce en Patagonia constituyen un buen indicador de las temperaturas del mar (Villalba 1990, Lara & Villalba 1993), proveyendo en esta forma un registro anual detallado de la temperatura del mar, uno de los forzantes climáticos más importantes en toda América del Sur. Finalmente, los registros dendrocronológicos de la región magallánica, el área boscosa más austral del mundo, conjuntamente con los testigos de hielos de Antártida, servirán para entender los mecanismos que en el pasado han regulado las relaciones entre los cambios climáticos de medias y altas latitudes en el hemisferio Sur. A toda esta potencialidad dendrocronológica del extremo sur de América, debe agregarse el no menos importante registro histórico disponible por más de cuatro siglos y la existencia de numerosos cuerpos de hielo a lo largo de los Andes, cuyas fluctuaciones en la pasado reciente pueden ser relativamente bien establecidas. Del uso conjunto de estos registros, y otros paleoindicadores, resultarán las cronologías de fluctuaciones climáticas más precisas de los últimos 1000 años en América del Sur.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Técnica de Argentina (CONICET), la Administración de la

Aeronáutica y el Espacio estadounidense (NASA), y los Departamentos de Geografía, y de Español y Portugués, de la Universidad de Colorado, Boulder, Colorado. Esta es una contribución al proyecto 341IGCP/IUGS/UNESCO: Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates.

LITERATURA CITADA

- ACEITUNO P (1988) On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review* 116:505-524.
- BONINSEGNA JA (1988) Santiago de Chile winter rainfall since 1220 as being reconstructed by tree rings. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 6:67-87.
- BONINSEGNA JA (1992) South American dendroclimatological records. In Bradley RS & Jones PD, *Climate since D.C. 1500*, Routledge, London pp. 446-462.
- BRADLEY RS & PD JONES (1992) *Climate since D.C. 1500: Introduction*. En Bradley RS & PD Jones (eds) *Climate since D.C. 1500*, Routledge, London pp. 1-16.
- COBOS DR & JA BONINSEGNA (1983) Fluctuations of some glaciers in the Upper Atuel river basin, Mendoza, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 1:61-82.
- GUSSFELDT P (1892) *Viaje en los Andes de Chile y Argentina*. Boletín del Instituto Geográfico Argentino, Buenos Aires. Tomo 12:349-364.
- KILADIS GN, & HF DIAZ (1989) Global climatic anomalies with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate* 2:1069-1090.
- LARA A, & VILLALBA R (1993) A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260:1104-1106.
- MERCER JH (1968) Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial: I. *American Journal of Science* 266:91-109.
- MERCER JH (1970) Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial: II. *American Journal of Science* 269:1-25.
- MERCER JH (1982) Holocene glacier variation in southern South America. In Karlen W (ed), *Holocene Glaciers. Striae*, 48: 35-40.
- PISSIS A (1875) *Geografía de la República de Chile*. Instituto Geográfico de Paris. Ch. Delagrave, 346 pp.
- PRIETO MR (1985) Determinación de posibles cambios climáticos mediante la comparación del régimen de precipitaciones de los siglos XVIII, XIX, y XX en Mendoza. *Geoacta*, 13:107-118.
- QUINN WH, & VT NEAL (1992) The historical record of El Niño events, In Bradley RS & Jones PD (eds) *Climate since D.C. 1500*, Routledge, London, pp. 623-648.
- RABASSA J & CM CLAPPERTON (1990) Quaternary glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews* 2:153-174.

- RÖTHLISBERGER F (1986) *1000 Jahre Gletschergerichte der Erde*, Salzburg: Verlag Sauerlander.
- RUTLLAND J & H FUENZALIDA (1991) Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 11:63-76.
- TAULIS E (1934) De la distribution des pluies au Chile. Materoux pour l'etude des calamites, Part 1, Societe de Geographie de Geneve, p 3-20.
- VILLALBA R (1990) Climatic fluctuations in northern Patagonia in the last 1000 years as inferred from tree-ring records, *Quaternary Research* 34:346-360.
- VILLALBA R (en prensa) Tree-ring and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in southern South America. *Climatic Change*.
- VILLALBA R, JCLEIVA, S RUBULIS, JASUAREZ & L LENZANO (1990) Climate, treering, and glacial fluctuations in the Río Frías valley, Río Negro, Argentina, *Arctic and Alpine Research* 22:215-232.
- WELLS LE (1987) An alluvial record of el Niño events from northern coastal Perú. *Journal of Geophysical Research* 92:14463-14470.
- WELLS LE (1990) Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Perú. *Geology* 18:1134-1137.