

EVIDENCIAS DE CAMBIOS CLIMATICOS EN EL CENTRO Y SUR DE CHILE

Humberto Fuenzalida

Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.
Casilla 2777, Santiago, Chile.

RESUMEN

Teniendo como referencia los períodos climáticos más importantes identificados en el Hemisferio Norte, se presenta la evidencia disponible acerca de variaciones climáticas ocurridas en los últimos 15.000 años en Chile. Se incluye información de diversos géneros: análisis palinológicos, sedimentológicos, dendrológicos, revisión de crónicas e instrumental. Con la excepción de la Pequeña Edad del Hielo los cambios climáticos parecen tener un carácter global.

ABSTRACT

EVIDENCES OF CLIMATIC CHANGES IN CENTRAL AND SOUTHERN CHILE

Against the Northern Hemisphere climatic epochs as a background, the available information on climatic variations along the last 15.000 years in Chile is presented. Different kinds of evidences as results from palinology, sedimentology and dendrocronology, cronics reviews and instrumental observations are included. With the only exception of the Little Ice Age climatic changes seem to be shared by both hemispheres.

1. INTRODUCCION.

La información paleoclimática es muy escasa en general y particularmente en Chile. Resulta imposible reconstruir el pasado ambiental del país con una continuidad cronológica y espacial que permita hablar con propiedad de una historia climática. Se cuenta más bien con evidencias puntuales cuya interpretación está basada en hipótesis plausibles y conlleva por tanto un grado de ambigüedad no despreciable. A pesar de estas dificultades el autor

ha considerado conveniente difundir unificadamente las observaciones que permiten inferencias climáticas del pasado en nuestro país. Ellas pueden interesar a investigadores de otras áreas y estimular el propio desarrollo de esta disciplina.

El clima de nuestro planeta está determinado, entre otros, por algunos factores globales como la posición de su eje de rotación y la distribución espacial de la radiación solar absorbida. Esta última depende de la naturaleza de la superficie absorbente, esto es, de la distribución geográfica de océanos y continentes y la presencia de enormes glaciares polares o selvas tropicales. Estas condiciones no tuvieron siempre los rasgos que exhiben hoy día. Por ejemplo, la vida vegetal sólo prosperó en la Tierra hace unos 600 millones de años (el planeta tiene una edad aproximada de 5.000 millones de años), los glaciares de la Antártica comenzaron a formarse unos 10 millones de años atrás cuando los continentes se ubicaron en sus posiciones actuales. Es pues de esperar que los climas del pasado remoto no guarden relación con los de hoy. Sabemos que hace más de 400 millones de años la Tierra experimentó por lo menos 5 extensas edades glaciales con intervalos aproximados de 250 millones de años. Durante el Terciario, o sea en los últimos 60 millones de años, las temperaturas de latitudes medias han sufrido una disminución sostenida que contrasta con un valor invariable en las regiones tropicales; en el último millón de años han experimentado fuertes oscilaciones asociadas a períodos glaciales que se han alternado con otros cálidos. El último de estos períodos glaciales alcanzó su apogeo simultáneamente en ambos hemisferios entre 18.000 y 20.000 años atrás. En la mayor parte de las áreas montañosas la línea de nieve descendió en unos 1200 m. El nivel de los océanos se hallaba alrededor de 100 m más abajo que el actual debido a la transferencia de agua a los glaciares que constituían gruesas capas de hielo con unos 3 Km de espesor. En los continentes los bosques dieron lugar a estepas, pastizales y desiertos.

El posterior retroceso de los hielos se caracterizó por una serie de fluctuaciones con duraciones típicas de 1000 años. Hay evidencias de que 12.000 y 10.000 años atrás el clima fresco y húmedo de las "Antiguas Dryas" fue reemplazado súbitamente por el tibio del "Allerod" (SMIC Report, 1971). A éste siguió un avance rápido de los hielos (10.800 años atrás) conocido como "Dryas recientes" que en Europa propagó un clima de tundra y que en Chile austral hizo caer las temperaturas en 6°C. Sigue luego el "Óptimo Postglacial" que se extiende entre 8000 y 5000 años antes de nuestros días. Durante él la línea de nieves se ubica a unos 300 m sobre el nivel actual y el nivel del mar subió a su presente ubicación.

Los milenios siguientes presentan en Europa condiciones variables. Entre 950 y 400 aAC las condiciones fueron frías, para entibiarse entre 800 y 1200 aDC y permitir la exploración Vikinga de Islandia, Groenlandia y Norte América. El siglo XIV ve el comienzo de un enfriamiento gradual que culminará en 1630 y se extenderá hasta 1750. A este período se le conoce como la "Pequeña Edad de Hielo".

El período con registro instrumental comienza alrededor de 1880 y revela un leve calentamiento hasta 1945 y luego un enfriamiento.

Clima Postglacial de Chile.-

Las vicisitudes climáticas de Chile en los últimos 18.000 años pueden ser rastreadas fragmentariamente en los trabajos de Auer (1966, 1970), Heusser (1960, 1966a,b) y Varela (1976, 1981). El primer autor a través de estudios palinológicos (pólen fósil) en Tierra del Fuego ha reconstruido las fluctuaciones sufridas por la cobertura del bosque y la estepa a sotavento de los Andes. Su interpretación en términos climáticos no está libre de ambigüedades, pero es claro que un bosque requiere de mayor humedad que las especies esteparias. Si la mayor precipitación se origina en un desplazamiento meridional de las fajas zonales que define la circulación general de la atmósfera o es la manifestación de una vaguada semipermanente de orientación NW-SE capaz de transportar aire frío y húmedo desde el SE hacia Tierra del Fuego, es algo no dilucidado. Auer se inclina por la última explicación, sin embargo, el carácter hemisférico y aun global de los sucesos aboga por la primera.

Los trabajos de Heusser corresponden también a análisis palinológicos realizados en muestras recolectadas en Llanquihue y Aisén. Con ellos reconstruye la serie de temperatura de 16.000 años que se incluye en la Fig. 1.

Varela (1976) obtiene una serie climática de carácter cualitativo en base al análisis de sedimentos depositados en la Laguna de Tagua-Tagua (36°S). Es importante anotar que en períodos de aridez parte del registro puede haberse perdido por la exposición del fondo lacustre a los agentes erosivos, lo que introduce un grado de incertidumbre en su interpretación. Recientemente Varela (1981) ha analizado los depósitos en una localidad costera a unos 32°S (Quebrada de Quereo), identificando los mismos eventos climáticos que en Tagua-Tagua.

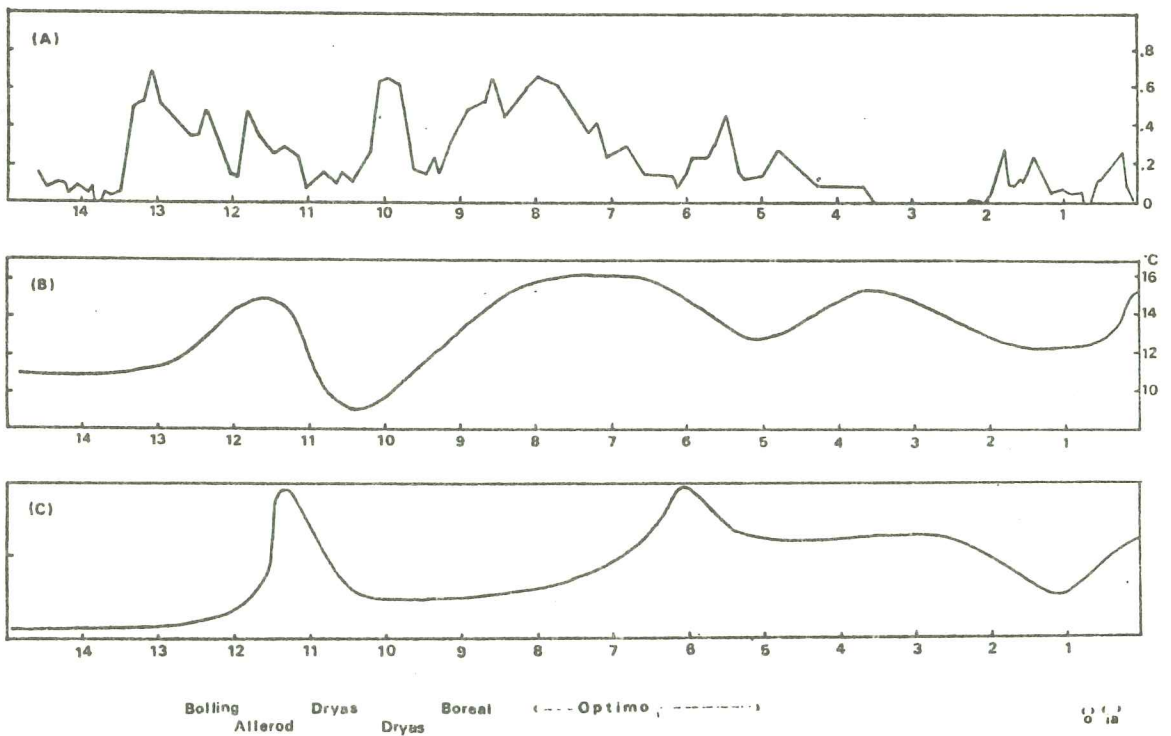


Fig. 1a. Vicisitudes del dominio del bosque o estepa a través de la fracción de polen de especies arbóreas en Tierra del Fuego (Río Grande, aprox. 53°S). Adaptado de Auer (1970).

Fig. 1b. Variaciones de temperatura en la región de Llanquihue y Aisén (41-49°S). según Heusser. Adaptado de Varela (1976).

Fig. 1c. Variaciones climáticas evidenciadas por sedimentos de Laguna de Tagua-Tagua (34°S) se según Varela (1976).

La escala de abscisas está expresada en miles de años.

La Fig. 1, presenta las variaciones de los tres autores mencionados en una escala temporal común. La curva de Auer fue reducida usando una interpolación y extrapolación lineal basada en tres puntos dados, el último de los cuales corresponde a 9140 años atrás. En la parte inferior de la misma Fig. 1 se indica los sucesos climáticos más notables identificados en Europa y mencionados en la introducción.

El primer aspecto destacable de la Fig. 1 es la correspondencia interhemisférica general de los sucesos. Por ejemplo, los períodos cálidos europeos como el Allerod (11.800 a 11.000 AP), el Optimo Climático (8.100 a 4.700 AP) y el Pequeño Optimo (1.150 a 1.300 DC) coinciden con períodos en

que el bosque de Tierra del Fuego cede lugar a la estepa. En la curva de Heusser (B) los dos primeros corresponden a los máximos más notables; sin embargo el tercero no se aprecia, probablemente debido a su breve duración.

Entre los máximos de temperatura reportados por Heusser y los apogeos de cobertura esteparia de Auer se manifiesta un retardo de estos últimos. Este retraso es del orden de unos 700 años, cifra que parece algo excesiva como tiempo de respuesta de la vegetación. Más bien, puede deberse a la influencia del océano periantártico sobre Tierra del Fuego lo que introduce una inercia mayor en el clima de esta región.

La curva de Varela parece diferente a la de Heusser. No obstante, coinciden notablemente en los episodios de enfriamiento. Las diferencias más importantes se encuentran en los períodos de alza de temperatura las que en la curva de Varela comienzan tardíamente y abarcan períodos más breves. También parece significativo el que los máximos de Varela se alcancen cuando ya la curva de Heusser va en descenso. Si imaginamos que en los períodos cálidos la Laguna de Tagua-Tagua se secó, por lo menos en los lugares muestreados, y su lecho fue erosionado perdiéndose la información del intervalo previo y que luego al retornar el clima frío y húmedo se restituye el proceso de sedimentación y con ello el registro, ambas curvas resultan coherentes.

Según los registros de la Fig. 1 el clima postglacial de Chile central y austral se caracteriza por períodos cálidos y fríos que se suceden con intervalos variables entre 3.500 a 5.000 años. Existen oscilaciones más rápidas, como la que sigue al Allerod.

Saliendo del período glacial, adviene, unos 14.000 años atrás, un clima benigno que Auer ha identificado con el Bölling europeo. Hay aquí una discrepancia de fechas, pues tal período en Europa se ha ubicado entre 12.300 y 12.000 AP, pero ya se ha mencionado la falta de precisión en la cronología lejana de los registros de Auer. Sigue un recrudescimiento del clima que lleva a las Antiguas Dryas. A estas sucede el primer período cálido importante en los registros de Heusser, y que corresponde con el Allerod europeo en unos 11.500 años atrás. Las evidencias arqueológicas más antiguas encontradas tanto en Chile central como en el extremo sur corresponden a este período (Mostny, 1971).

Al Allerod sigue un enfriamiento brusco que lleva a las Últimas Dryas, hace unos 10.000 años. Según Heusser las temperaturas estivales en Chile austral cayeron en unos 6°C. Este fuerte enfriamiento es de una duración relativamente breve y tras él viene una oscilación sólo presente en los

registros de Auer, que termina en el comienzo del Optimo que se prolongará entre 8.000 y 3.000 AP. Durante él domina en Tierra del Fuego una condición anticiclónica árida y en Antártica un período cálido (Lamb, 1963). Flohn estima que la temperatura anual en esta época fue de 1 a 3°C más alta que la actual en ambas regiones. Alrededor de 6.000 AP comienza el retroceso de los glaciares en Mc Murdo.

Es frecuente considerar que el Optimo Climático del Hemisferio Norte, se extiende hasta 5.000 AP debido al pequeño recrudescimiento que se evidencia también en la Fig. 1. Sin embargo, el repunte posterior permite prolongar su duración hasta 3.000 AP aproximadamente lo que concuerda mejor con la curva de Auer.

Los registros de polen de Tierra del Fuego revelan que durante la mayor parte del período postglacial abundaron especies arbóreas de bosque lluvioso las que desaparecieron hace unos 3.000 años, luego de una prolongada declinación desde el comienzo del Optimo Climático, unos 8.000 años atrás (Auer, 1970). En esta época las extensiones heladas continentales alcanzaron su mínimo (ca. 3.500 AP).

En Africa y Europa existen evidencias de que la faja de actividad ciclónica así como los anticiclones subtropicales durante el Optimo se desplazaron hacia el polo en casi 10 grados. Esto trajo temperaturas cálidas al norte de Europa y un clima más húmedo que el actual sobre el Sahara debido al dominio de los vientos alisios. Es natural suponer que algo similar ocurrió en el Hemisferio Austral, originando en el Norte Grande un clima más húmedo que el actual y la unión con el océano de los lagos de Skyring y Otway para formar los actuales senos magallánicos del mismo nombre, (Mostny, 1971).

Alrededor de 2.500 AP se entra en un período más frío. La propagación del bosque a ambos lados de los obstáculos orográficos de Tierra del Fuego es considerado por Lamb (1963) una evidencia de mayor actividad ciclónica y por tanto del retorno de las fajas climáticas hacia el norte. En Europa, entre los años 800 y 1200, comienzos de la Edad Media, se produce un nuevo óptimo climático, que permite la exploración en las pequeñas embarcaciones de los vikingos. Este período aparece reflejado en los registros de Auer con un apogeo entre los años 1200 y 1400 AP, coincidiendo con el llamado Pequeño Optimo (Lamb, 1966). Las curvas suaves de Heusser y Varela no registran estas rápidas variaciones.

Al Pequeño Optimo sucede en Europa un período de deterioro en las condiciones climáticas que va a culminar entre los años 1500 y 1700 en la

llamada Pequeña Edad de Hielo. De ella sólo hay evidencias en un mayor desarrollo del bosque en Tierra del Fuego, pero el Hemisferio Sur en general parece no haber sufrido un recrudescimiento del clima hasta por lo menos el año 1800. Pero esto ya nos lleva al período con registro histórico del cual existen evidencias más detalladas.

Clima Histórico.-

Para estudiar las variaciones climáticas en Chile durante el segundo milenio de nuestra era puede utilizarse el registro dendrocronológico de algunas especies. La Fig. 2 muestra las variaciones en precipitación anual inferidas para Santiago por La Marche (1975) y suavizadas por medio de promedios móviles de 50 años.

Si el Pequeño Optimo se origina en un desplazamiento hacia el polo de las fajas climáticas, a Santiago le debe corresponder una deficiencia pluviométrica. Lo que es confirmado por el período seco que aparece en el siglo XIV y primera mitad del siglo XV y que corresponde a los valores más bajos registrados. Poco antes del advenimiento del siglo XVI la lluvia aumenta a valores similares a los existentes 300 años atrás. Durante los siglos XVI y XVII los montos de agua caída disminuyen para luego mantenerse en valores relativamente parecidos a los actuales. En particular los años que corresponden a la Pequeña Edad de Hielo del Hemisferio Norte (1500 a 1700) son testigos de una disminución de la precipitación en Chile central. Lo que concuerda con la afirmación de Lamb en cuanto que el Hemisferio Sur no habría compartido esta época fría.

A partir de la llegada de los conquistadores los cambios climáticos del país son objeto de comentarios en los documentos de la época y Taulis (1940) reconstruyó con ellos una serie climática que abarca desde mediados del siglo XVI. Debido al carácter subjetivo de la información sólo le fue posible clasificar los años en cinco categorías: muy seco, seco, normal, lluvioso y muy lluvioso. En razón de la gran variabilidad del régimen pluviométrico de Santiago es difícil obtener de la serie original una impresión de los cambios climáticos. Con el fin de atenuar esta dificultad y de poder graficar los resultados se asociaron valores numéricos a las categorías usando el período con registro instrumental. Suavizando la serie con un promedio móvil de 10 años se obtuvo el gráfico de la Fig. 3.

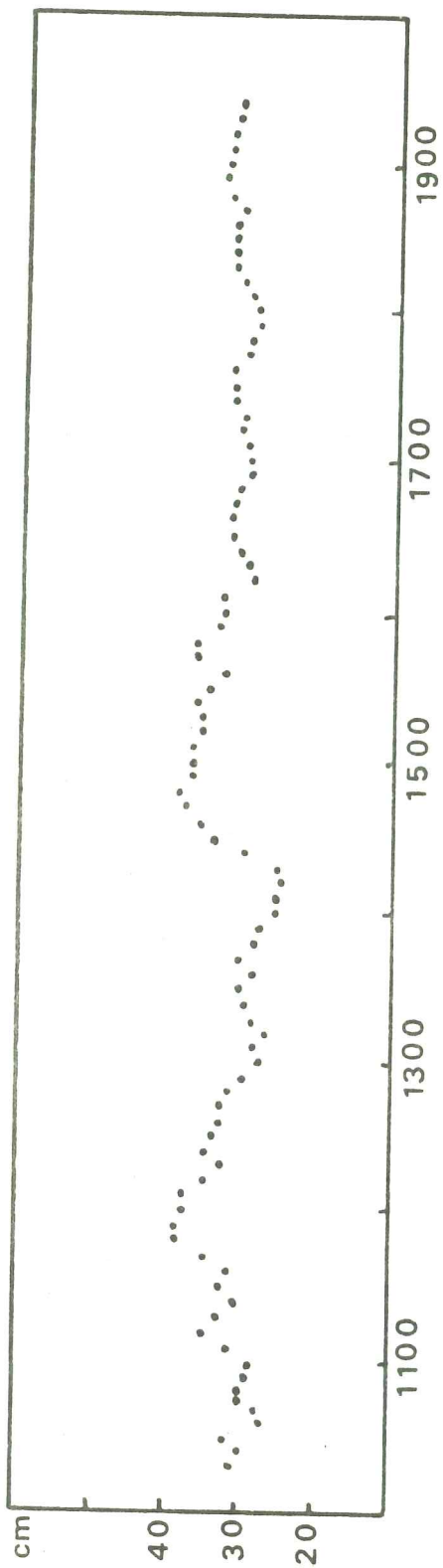


Fig. 2. Promedios sobre 50 años de precipitación anual en Santiago (33°S) estimados de información dendrocronológica. Los datos originales corresponden a promedios decenales reportados por La Marche (1975). Abscisa en años de la era cristiana.

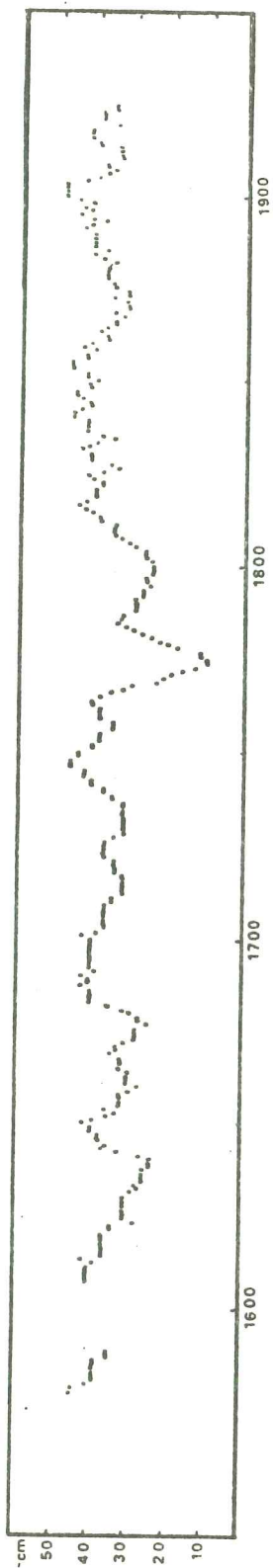


Fig. 3. Variación de los promedios decenales de precipitación anual en Santiago (33°S) durante el período histórico. La información original de carácter cualitativo, obtenida de Taulis (1940).

Cualitativamente las curvas de las Figs. 2 y 3 coinciden en el período común, salvo por el mínimo absoluto que se registra alrededor de 1775 en la serie derivada de los datos de Taulis. Según ésta el decenio entre los 1770 y 1780 serían los más secos en la historia de Santiago. Esto coincide con que entre 1760 y 1830 el borde de los hielos antárticos se encontraba algo al Sur de su ubicación presente al igual que la faja de tormentas ciclónicas (Lamb, 1963). A partir de 1800-1830 y hasta 1900 esta última faja se desplazó hacia el Norte y los glaciares de los Andes avanzaron apreciablemente.

Período Instrumentado.-

Los registros de observaciones meteorológicas comienzan alrededor de 1850 en Chile. Para Santiago existen valores de temperaturas desde 1860 (King, 1970), y en Punta Arenas los registros comienzan en 1888 (Re, 1945).

Los registros de temperatura son particularmente sensibles a los cambios de la posición del instrumento y el método de observación. Además, los cambios en el entorno del observatorio introducen variaciones que si bien son reales trasuntan una condición local y no un cambio climático regional. Por ello toda variación debe ser observada en un dominio geográfico de validez que incluya varios lugares de observación.

El promedio hemisférico, Fig. 4, de temperatura muestra un aumento de unos 0.3°C entre 1880 y 1940. En cambio Santiago observa un aumento de casi 1°C entre 1910 y 1960. Es probable que la mayor parte de tal calentamiento se deba al desarrollo urbano y tecnológico (Aceituno, 1981), pues al menos Valparaíso no manifiesta una variación análoga (King, 1970). Los registros de Punta Arenas muestran que los inviernos más crudos del período ocurrieron en los primeros años de este siglo para luego suavizar su rigor rápidamente. Los años de vuelta de siglo parecen tener características muy especiales entre las cuales cabe mencionar la frecuente presencia de hielo marino en las proximidades del Cabo de Hornos y la baja latitud alcanzada por la faja de las depresiones de invierno (48°S). En la opinión de Lamb (1961) los cambios de latitud de la ruta de las depresiones está ligada al desplazamiento del límite de los hielos antárticos por un mecanismo que se explica más adelante. El rápido calentamiento de los primeros decenios del siglo XX, que coincide con el retroceso de los hielos de los Andes Patagónicos entre 1910 y 1920, se atenúa y parece haberse detenido en la década de los cuarenta. Este rasgo termométrico tiene un carácter global y en el presente en ambos hemisferios parece estarse experimentando un leve enfriamiento.

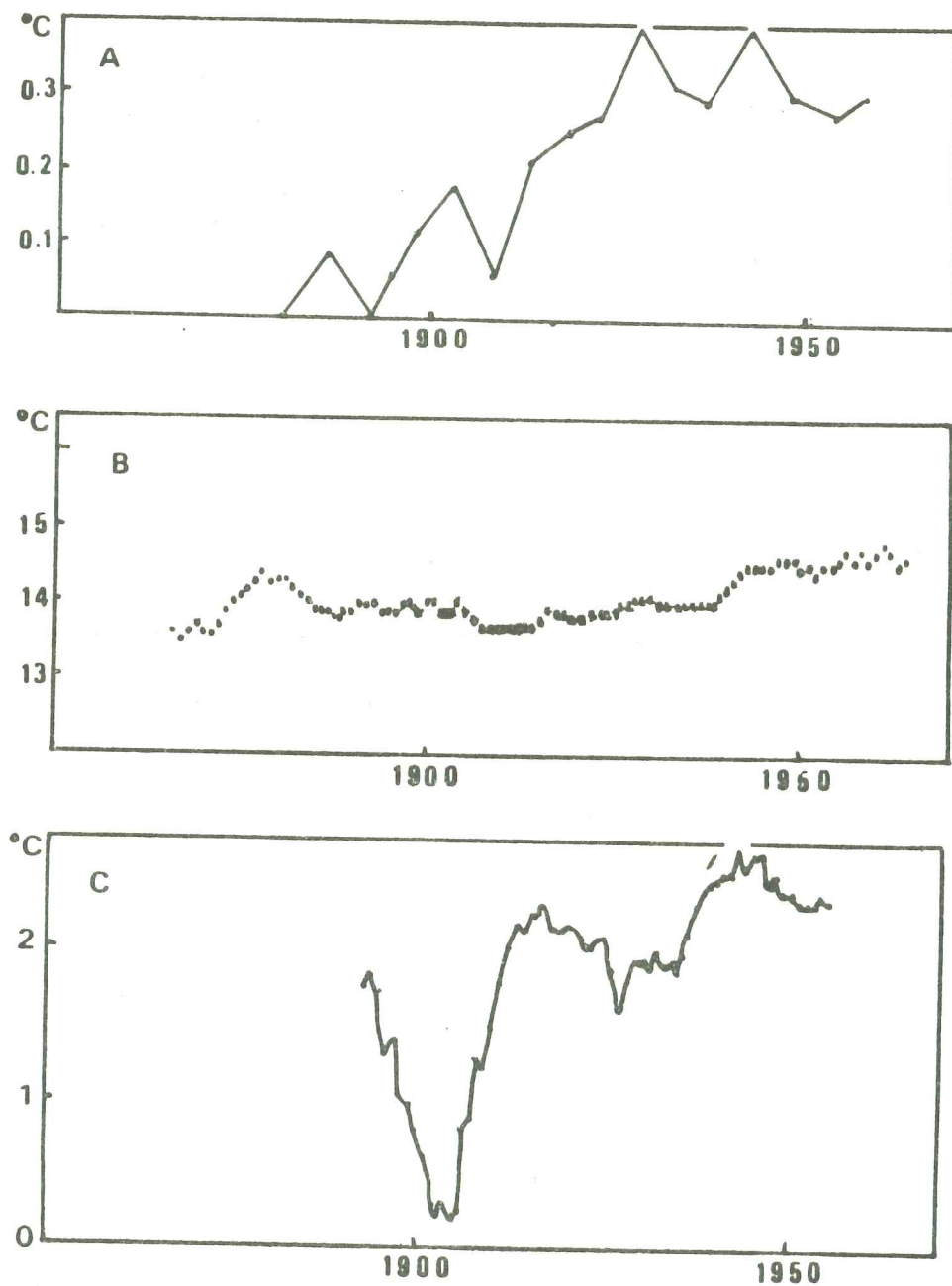


Fig. 4a. Variación de la temperatura media del Hemisferio Sur. Fuente SMIC Report (1971).

Fig. 4b. Temperatura media anual en Santiago (33°S). Variación de promedios decenales.

Fig. 4c. Temperatura del mes de Julio en Punta Arenas (53°S). Variación de los promedios decenales.

En lo que se refiere a las precipitaciones ellas muestran una declinación en la región semiárida de Chile desde comienzos de siglo, (Aceituno, 1977). La Fig. 5 muestra las variaciones de los promedios decenales en La Serena. En ella se aprecia una disminución de los montos del siglo pasado a los del presente. Sin embargo, más que una disminución paulatina parecen existir dos niveles separados por una caída rápida a comienzos de siglo. Si a los datos pluviométricos anuales de La Serena se ajustan polinomios se obtienen variaciones muy suavizadas. La Fig. 6 muestra el ajuste de una línea recta (P_1) y polinomios de tercer y quinto grado (P_3 y P_5), (el de cuarto grado prácticamente coincide con P_5). Resulta evidente la disminución secular pero el polinomio P_5 refleja el rasgo antes señalado con una caída rápida a comienzos de siglo, una detención hasta los años cincuenta y luego otra caída. La disminución se extiende a Chile central aunque atenuada. Esto coincide con la deriva hacia el Sur que ha experimentado el máximo de presión subtropical, Fig. 7 (Lamb, 1965). Sin embargo, el aumento simultáneo de la diferencia de presión entre los 40 y 45°S sugiere que este cambio no afectaría al extremo austral. Las precipitaciones decenales de Punta Arenas confirman tal cosa, Fig. 8. Aquí los años cuarenta muestran un repunte en las lecturas pluviométricas que impide definir un decrecimiento a lo largo del período de registro.

Conclusiones.-

El clima de Chile, como el de otros lugares del planeta, ha sufrido variaciones desde tiempos remotos con amplitudes variables y sin orden ni periodicidad aparente. Luego de la última glaciación, 18.000 años atrás el clima ha pasado por dos períodos cálidos, 11.500 y 7.000 años atrás, que afectaron por lo menos hasta 32°S (latitud de Los Vilos). El primero de duración relativamente breve, pero el segundo tan prolongado que extinguió especies perennes de selva lluviosa en Tierra del Fuego alrededor de 3.000 años atrás. Actualmente nos encontramos en un período relativamente cálido en el que luego de condiciones algo crudas a comienzos del siglo XX ha seguido un calentamiento leve que parece haber concluido en los años cuarenta para dar lugar a un suave enfriamiento.

Los regímenes de precipitaciones han sufrido variaciones que corrientemente se vinculan a las oscilaciones de temperaturas a través de una deriva meridional de las fajas climáticas. Los mecanismos físicos en juego han sido esbozados por Fairbridge (1972) en la forma siguiente. El gradiente meridional de temperatura es el motor de la circulación general de la atmósfera. Es

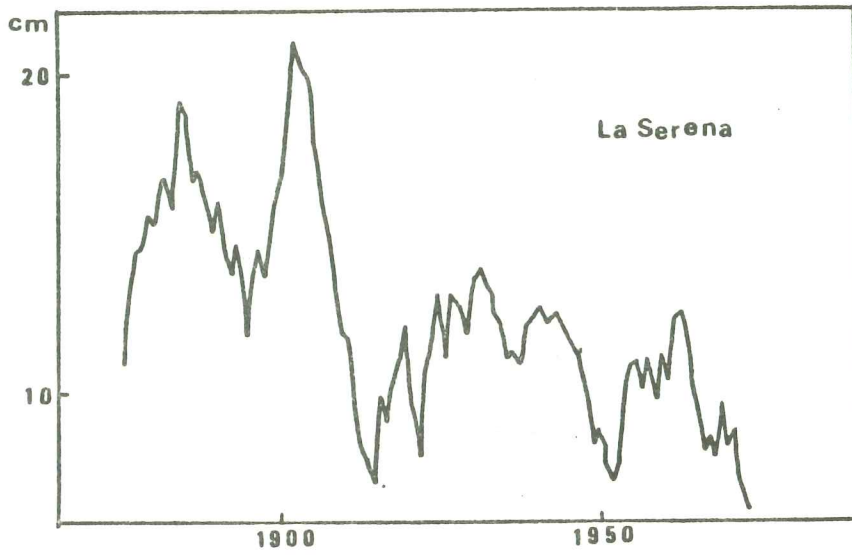


Fig. 5. Variación de la precipitación anual en La Serena (30°S), a través de los promedios de cenales.

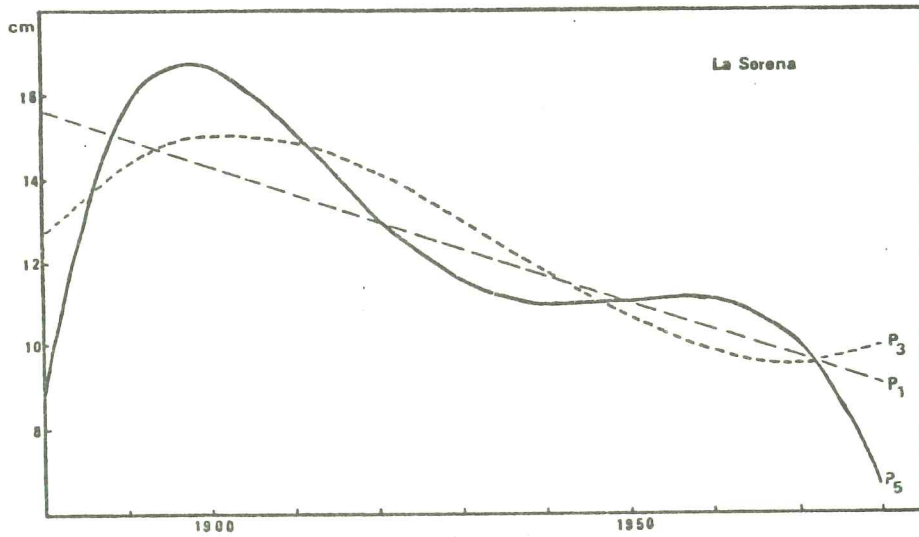


Fig. 6. Polinomios de grado 1, 3 y 5 ajustados a las precipitaciones anuales de La Serena (30°S).

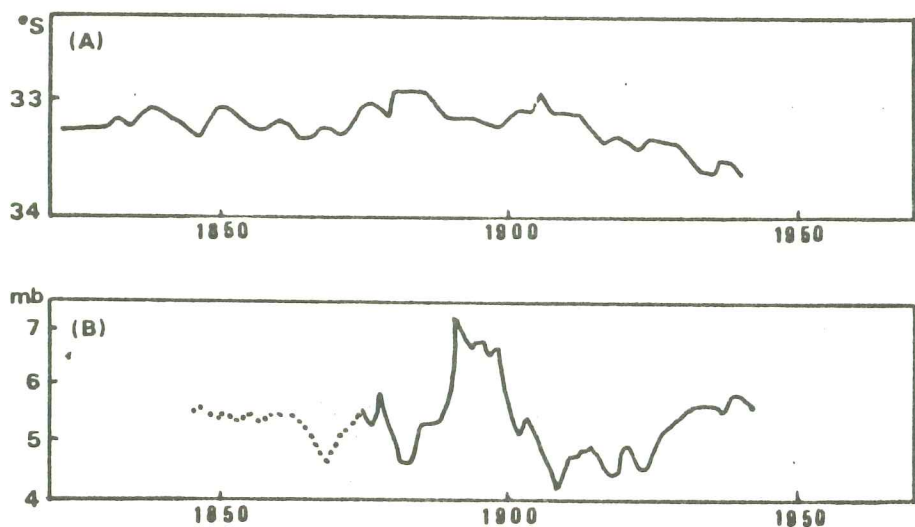


Fig. 7a. Variación del promedio móvil de 40 años de la latitud del eje del máximo subtropical de presión a lo largo del meridiano 70°W (Lamb, 1961).

Fig. 7b. Variación del promedio móvil de 10 años de la diferencia de presión entre las latitudes 40° y 45°S a lo largo del meridiano 75°W (Lamb, 1961).

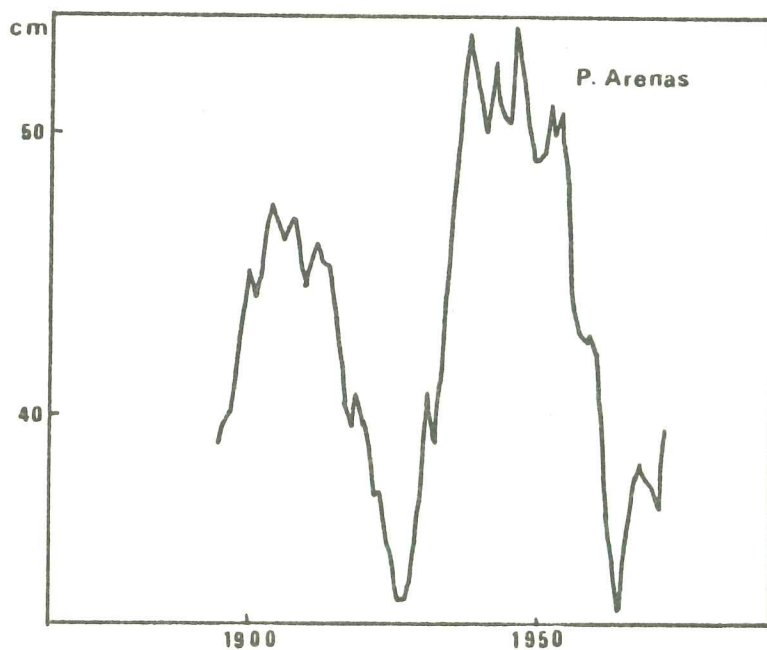


Fig. 8. Precipitaciones anuales en Punta Arenas (53°S). Promedios móviles de 10 años.

ta se concentra en las proximidades del borde del hielo polar. Como el gradiente térmico provee la energía potencial necesaria para generar la energía cinética de las circulaciones atmosféricas, determina también la latitud preferida por la corriente en chorro y las ondas ciclónicas asociadas. Flohn (1964) ha estimado que la reducción del hielo polar y la disminución del gradiente térmico se asocian con un desplazamiento hacia el polo de los anticiclones subtropicales lo que implicaría un crecimiento o desarrollo de los desiertos subtropicales (Fairbridge, 1972). Así, en el extremo sur un enfriamiento se asocia con un aumento de la lluvia y un desplazamiento hacia el norte de la vaguada circumpolar y sus tormentas. Por el contrario los períodos cálidos se relacionan con aridez y un corrimiento hacia latitudes mayores del anticiclón subtropical. Por esta vía se suelen explicar la aridez del Allero y el Optimo, así como la disminución actual de las precipitaciones en Chile Central.

Resulta entonces de particular importancia la consideración de las causas que determinan la posición de las fajas climáticas zonales. Ellas nos son en gran medida desconocidas y definen un problema de envergadura global en el que participan, junto a la atmósfera, los océanos y los glaciares.

Lista de Referencias.-

- AUER, V., 1966: Climate Variations in Fuego-Patagonia. En Pleistocene and Past-Pleistocene Climatic Variations in the Pacific Area. Editado por D.I. Blumenstock, X Pacific Sc. Congress, Honolulu, Hawaii.
- AUER, V., 1970: The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A, III Geologica-Geographica 100, Helsinki.
- ACEITUNO, P., 1977: Variaciones climáticas: variaciones seculares en la precipitación del Norte Chico. Presentado en el Primer Seminario Nacional sobre Desertificación, 25-27 Julio 1977, Santiago.
- ACEITUNO, P., 1981: Variación de la Temperatura en Santiago durante el Presente Siglo. Inédito.
- FAIRBRIDGE, R.W., 1972: Climatology of a Glacial Cycle, Quaternary Research 2, 283-302.

- FLOHN, H., 1964: Grundfragen der Paläoklimatologie im Lichte einer theoretischen Klimatologie, *Geologische Rundschau*, 54: 504-575.
- HEUSSER, C.F., 1966: Polar Hemispheric Correlation: Palynological Evidence from Chile and the Pacific NW of America. *Royal Meteor. Soc., World Climate from 8000 BC to OBC*, Londres: Proc. of the Intern. Symp., realizado en el Imperial College, April 18-19, 1966.
- KING, H., 1970: Variación de Algunos Factores Meteorológicos en Chile a través del Tiempo. Memoria de Título, Esc. de Ingeniería, Universidad de Chile, Santiago.
- LAMB, H.H. y A.I. JOHNSON, 1961: Climatic Variation and Observed Changes in the General Circulation. *Geografiska Annales*, 43, 3-4.
- LAMB, H.H., 1963: On the Nature of Certain Climatic Epochs which differed from Modern (1900-39) Normal. *Proc. WMO/UNESCO Symp. on Climatic Changes*, Roma 1961. En *Arid Zone XX*, UNESCO, Paris, 1963.
- LA MARCHE, V., 1975: Potential of Tree Rings for Reconstruction of Past Climatic Variations in the Southern Hemisphere. *Proc. WMO/IAHAP Symp. on Longterm Climatic Fluctuations*, Ginebra, Suiza.
- MOSTNY, G., 1971: Prehistoria de Chile, Editorial Universitaria, Santiago, 187 pp.
- RE, J., 1945: El clima de Punta Arenas, Escuela Nacional de Artes Gráficas, P. Arenas, Chile.
- SMIC Report, 1971: Study of Man's Impact on Climate, Inadvertent Climate Modification, MIT Press, Cambridge, Mass.
- TAULIS, E., 1934 : De la Distribution des Pluies au Chili. En *Materieux pour L'Etude de Calamités*, 33, 3-20.
- VARELA, J., 1976: Estudio Estratigráfico-Sedimentológico de los Depósitos de Laguna de Tagua-Tagua, Prov. de O'Higgins. Tesis de Geólogo, Fac. de Cs. Físicas y Matemáticas, Univ. de Chile, Santiago.
- VARELA, J., 1981: Geología del Cuaternario de la Región de Quebrada Quereo, Los Vilos, Prov. de Choapa, IV Región. Presentado en II Congreso Geológico Chileno, 6-11 Agosto de 1979, Arica, Chile.