

UNA INTERPRETACIÓN CLIMÁTICA DEL REGISTRO PALINOLÓGICO DEL ÚLTIMO CICLO GLACIAL- POSTGLACIAL EN SUDAMÉRICA

Carolina Villagrán M. *

Resumen

Se revisa conjuntamente la evidencia paleoambiental de Sudamérica y se evalúa el valor predictivo de los modelos oceánico-atmosféricos, propuestos en la literatura para explicar cambios regionales de vegetación durante el último ciclo glacial-postglacial.

Se interpretan climáticamente los grandes cambios de vegetación documentados en el registro paleoambiental de Sudamérica, en base a la proposición de tres hipotéticos estados oceánico-atmosféricos que difieren entre sí en: 1) vigor y simetría de los Anticiclones del Pacífico y del Atlántico sur y 2) posiciones de las bandas atlántica y pacífica de la Convergencia Intertropical.

Palabras claves: *Palinología, cambios vegetacionales, Sudamérica, último ciclo glacial-postglacial, paleoclima.*

INTERPRÉTATION CLIMATIQUE DES ENREGISTREMENTS PALYNOLOGIQUES DE L'AMÉRIQUE DU SUD PENDANT LE DERNIER CYCLE GLACIAIRE- POSTGLACIAIRE

Résumé

On revoit globalement l'évidence paléoclimatique de l'Amérique du Sud et on analyse le valeur prédictive des modèles océan-atmosphérique proposés dans la littérature pour expliquer les transformations régionales de végétation qui apparurent pendant le dernier cycle glaciaire-postglaciaire.

Les grands changements de végétation indiqués par les données sur les paléo-evuonements d'Amérique du Sud sont interprétés comme la conséquence de trois types de circulation atmosphérique qui se différencient par: 1) l'intensité et symétrie des anticyclones du Pacifique et de l'Atlantique sud, et 2) la position géographique des bandes Atlantique et Pacifique de la Zone de Convergence Intertropicale.

Mots clés : *Palynologie, changement de végétation, Amérique du Sud, dernier cycle glaciaire-postglaciaire, paléoclimat.*

* Laboratorio de Sistemática y Ecología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

CLIMATIC INTERPRETATION OF THE PALYNOLOGICAL RECORD FROM THE LAST GLACIAL-POSTGLACIAL CYCLE IN SOUTH AMERICA

Abstract

South American paleo-environmental evidences are reviewed, and the predictive value of oceanic-atmospheric models is evaluated, in order to explain major vegetational changes during the last glacial-postglacial cycle.

Three different oceanic-atmospheric states may explain the great vegetational and climatic changes evident in the South American record. These circulation models differ among themselves in the strength and symmetry of the southern Atlantic and Pacific Anticyclones and the position of the Atlantic and Pacific Intertropical Convergence Zone.

Key words: *Palynology, vegetation changes, South America, last glacial-interglacial cycle, paleoclimate.*

1. INTRODUCCIÓN

La singularidad en la distribución actual de la vegetación de Sudamérica reside en su marcado contraste este-oeste. Al este de los Andes, los cinturones latitudinales exhiben una transición gradual de la vegetación, desde bosques siempreverdes tropicales lluviosos, en las cuencas del Amazonas y Orinoco, hasta bosques deciduos, bosques secos, bosques subtropicales mixtos, sabanas y palmares, en la Catinga, Brasil central-sur y Gran Chaco, culminando en los semidesiertos del Monte, Pampa y Estepa Patagónica, en la Argentina. En cambio, en la vertiente pacífica existe un marcado límite alrededor de los 30° de latitud sur, con bosques mediterráneos-subtropicales y templado-lluviosos, al sur, y semidesiertos y desiertos hiperáridos al norte, extendiendo éstos últimos hasta latitudes tropicales (Hucock, 1978).

Este contraste se ha generado básicamente en el Cuaternario, en gran medida por el efecto modificador que ejercen los Andes en los regímenes climáticos globales. La vertiente andina occidental y el desierto de la costa pacífica corresponden a las regiones situadas a la sombra de lluvias de los vientos prevaletentes del este, que generan gran parte de las lluvias subtropicales de Sudamérica; los semidesiertos de la Patagonia argentina quedan, en cambio, a la sombra de lluvias del cinturón de los del oeste de las latitudes templadas.

Durante los ciclos glacial-interglaciales del Cuaternario, factores adicionales podrían haber desempeñado un rol importante en la modificación de esta "diagonal árida", que determina en gran medida el contraste este-oeste de la vegetación de Sudamérica. Sin embargo, como propone Wilhelmy en 1952 (*cf.* Kessler, 1991)

"...no tenemos en Sudamérica el simple patrón de un cinturón árido comprimido por ambos bordes durante las edades glaciales, como parece ser el caso de África, con sus zonas climático-vegetacionales orientadas de este a oeste; dada la singularidad topográfica de la franja árida sudamericana, orientada norte-sur, ella pudo restringirse arealmente en la Cordillera y, por el contrario, aumentar arealmente en las tierras bajas al este de los Andes".

Durante las edades glaciales, procesos tales como la acumulación asimétrica de hielo continental y oceánico en ambos hemisferios, han determinado cambios singulares en los gradientes meridionales de temperaturas de ambos hemisferios (Climap, 1981). La deglaciación

tampoco ha sido continua ni sincrónica en ambos Hemisferios (Labeyrie *et al.*, 1986). La investigación oceanográfica reciente (Stroet-Perrott & Perrott, 1990; Fairbanks, 1989; Charles & Fairbanks, 1992; Broecker & Denton, 1990), ha mostrado notables cambios en la circulación termohalina de los océanos, y por ende en el transporte de calor, durante el último ciclo glacial-postglacial. Durante el Tardiglacial y transición Pleistoceno-Holoceno, los pulsos de deglaciación del Hemisferio Norte provocaron profundas reorganizaciones en la circulación del Atlántico, por lo que es de esperar cambios asimétricos en los océanos Atlántico y Pacífico, especialmente durante este tiempo.

El objetivo de este trabajo es presentar una interpretación del cambio glacial-postglacial que ha experimentado la vegetación de Sudamérica y su relación con los cambios globales en la circulación atmosférica. Para ello, se revisa conjuntamente la información palinológica publicada para Sudamérica (Fig. 1) y se evalúa el valor predictivo de las hipótesis de cambio climático propuestas en la literatura. Considerando que el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) constituye un factor significativo en la variabilidad de las precipitaciones en Sudamérica (Aceituno & Montecinos, 1992), se examinan las actuales teleconexiones de los eventos ENOS para detectar temporalmente su posible instauración durante el último ciclo glacial-interglacial. Al respecto, es necesario manifestar explícitamente que, como lo han destacado DeVries (1987) y muchos otros investigadores, gran parte de las evidencias paleoambientales que documentan pasados eventos ENOS no cumplen con los criterios de refutabilidad necesarios para discriminar si se trata de eventos singulares, series de eventos, o simplemente fenómenos análogos. Sin embargo, no es el objetivo de este trabajo el revisar ni evaluar el registro de posibles paleoeventos ENOS en Sudamérica, sino meramente acotar temporalmente cuándo se dieron las condiciones propicias para la ocurrencia más probable del fenómeno durante el último ciclo glacial-postglacial.

2. EL REGISTRO PALEOAMBIENTAL DURANTE LA ÚLTIMA GLACIACIÓN

2.1. Andes mediterráneos y del sur

Las evidencias glaciológicas muestran que, en los Andes tropicales y templados de Sudamérica, la máxima depresión de las temperaturas y avance de glaciares ocurrieron entre 20,000-18,000 años A.P., en fase con el hemisferio norte (Clapperton, 1990; 1991; Mercer, 1976; 1984; Porter, 1981). Un segundo avance de glaciares, entre 15,000 y 14,500 años A.P., precedió a una rápida deglaciación que comenzó casi inmediata e ininterrumpidamente, no registrándose reversiones inequívocas equivalentes a la oscilación Younger Dryas del Hemisferio Norte.

En la Patagonia Argentina (36-53°S) se han estudiado 23 testigos oceánicos (Groot & Groot, 1967) que registran un monótono espectro de *Ephedra* y *Chenopodiáceas* durante las edades glaciales, sugiriendo así extrema continentalidad y condiciones muy frías. En correspondencia, todos los registros chilenos provenientes de latitudes australes, al sur de 50°S, muestran vegetación abierta con dominancia de Gramíneas antes de 10,000 años (Heusser, 1984). A 34°S de latitud, un registro estudiado por D'Antoni en Argentina (1983), muestra una vegetación glacial dominada por Gramíneas, que ha sido interpretada como resultado de expansiones al norte de la Estepa Patagónica, en regiones actualmente ocupadas por el semidesierto del Monte.

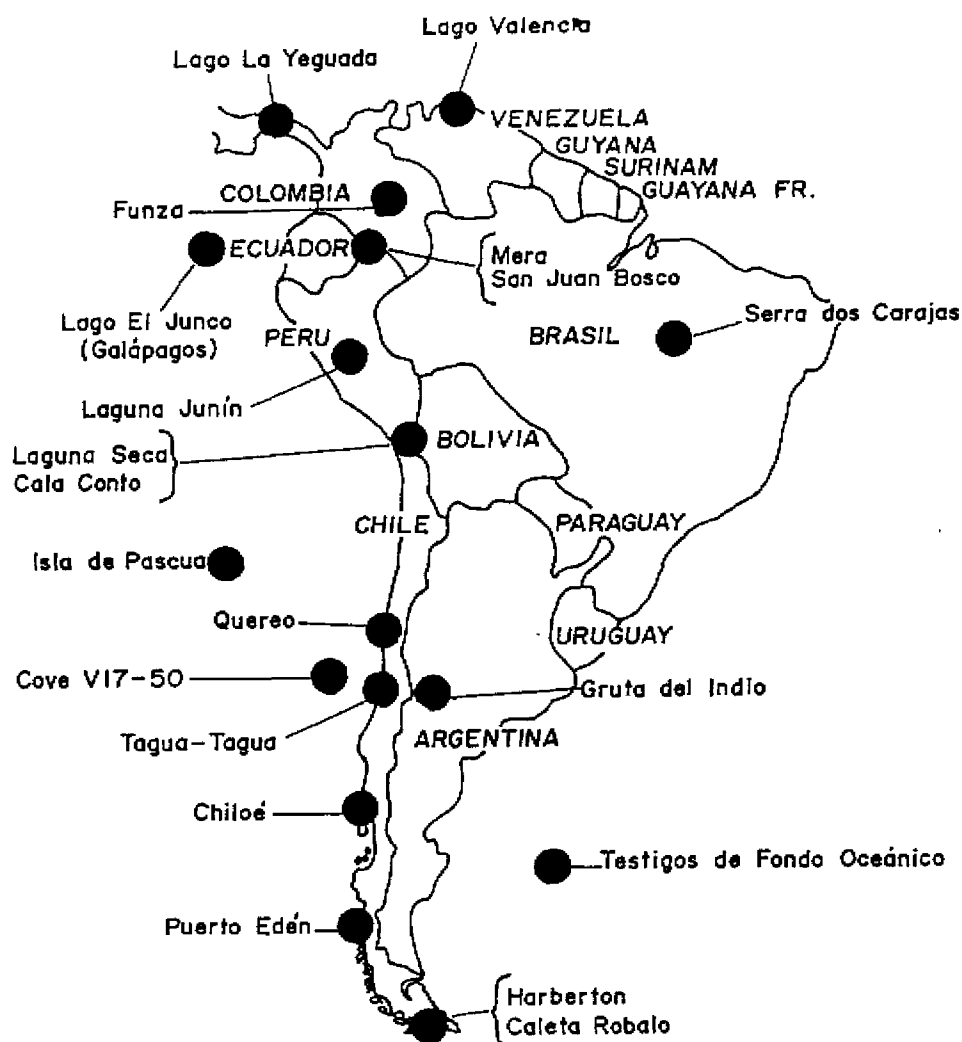


Fig. 1 - Nombre y ubicación geográfica de los principales registros palinológicos de Sudamérica que abarcan el Pleniglacial Superior y Holoceno.

Las evidencias palinológicas provenientes de las actuales latitudes mediterráneas (Heusser, 1983, 1990) y templadas de Chile central-sur, entre 34 y 43° de latitud sur, (Villagrán, 1985; 1988; 1990; ; Heusser, 1966; 1984; 1991; Groot & Groot, 1966) muestran que, durante la última glaciación, expandieron hacia el norte taxa pertenecientes a formaciones templado-frías más australes, este es el caso del elemento de Tundras Magallánicas en Chiloé (*Dacrydium*, *Astelia*) y taxa arbóreos subantárticos en Chile Central (*Nothofagus*, *Podocarpus*, *Prumnopitys*). Se registran solamente trazas de las especies de los bosques actualmente presentes en estas latitudes (Esclerófilo, Deciduo del Maule y Valdiviano). La mayor abundancia de herbáceas (Gramíneas y Compuestas) sugieren un paisaje de Parque arbolado, sin equivalente en la vegetación actual, con un clima muy frío y, probablemente, estacional. La presencia del elemento subantártico en Chile central-sur, como asimismo los altos niveles lacustres registrados en los sedimentos de Laguna Tagua Tagua en Chile central (Varela, 1976), y la abundancia de microalgas, taxa acuáticos y palustres en los registros palinológicos, sugieren condiciones lluviosas al norte de los 43°S, principalmente durante los estadales de la última glaciación. Durante los interestadales (33,000-36,000 A.P.; 30,000-27,000 A.P.) y Tardiglacial (13,000-10,000 A.P.), predominan los taxa de bosque nordpatagónico en el sur de Chile, y taxa herbáceos en Chile Central, lo que sugiere mayor aridez en esta última región.

2.2. Andes subtropicales, Altiplano y Andes tropicales

En latitudes semi-desérticas y desérticas de Chile, entre 30° y 24°S, las evidencias glaciológicas, geomorfológicas, paleohidrológicas y edafológicas sugieren un clima árido y frío durante la máxima depresión de las temperaturas (6-9°C), a los 18,000 años (Veit, 1991; Carleff *et al.*, 1991; Grosjean *et al.*, 1991). No hubieron avances de glaciares durante esta fase y los niveles lacustres en los Andes desérticos (24°S) fueron bajos. A los 30°S, dos avances glaciares, con condiciones relativamente húmedas, parecen tener correspondencia con los del Altiplano de Bolivia y con paleoniveles lacustres altos en Argentina (Valle de Chaschuil, 27°30'S), fechados en 30,000 y 15,000 años (Veit, 1991; Carleff *et al.*, 1991).

Los patrones de distribución actual de la flora andina chilena entre 18 y 33°S, sugieren también que la barrera desértica pudo haberse acentuado durante gran parte del Pleistoceno (Villagrán *et al.*, 1983; Kalin *et al.*, 1988). Un registro palinológico en Isla de Pascua (27°9'S-109°26'W) (Flenley & King, 1984) exhibe dominancia de Gramíneas y *Sophora*, entre 26,000 y 12,000, años A.P., sugiriendo también un clima glacial más frío y seco en el Pacífico subtropical.

En el Altiplano (7-27°S) tampoco se desarrollaron glaciares durante la depresión máxima de las temperaturas, a los 18,000, sino que a los 30,000 y entre 16,000-15,000 A.P., bajo condiciones más húmedas (Carleff *et al.*, 1991; Mercer, 1984; Seltzer, 1990; Veit, 1991; Argollo *et al.*, 1987; Clapperton, 1990; 1991). Reavances menores de glaciares ocurrieron entre 12,000 y 10,000 años.

Los registros palinológicos del Altiplano Perú-Boliviano (Graff, 1989; Hansen *et al.*, 1984; Ybert, 1987) sugieren un clima glacial muy frío, y probablemente húmedo, a juzgar por la mayor abundancia del polen alóctono del bosque de las montañas aledañas (*Podocarpus*, *Alnus*, *Hedyosmum*, *Weinmannia*, *Polylepis*), helechos y acuáticas (*Isoetes*, *Myriophyllum*) y microalgas. Fases más secas, con máximos de Gramíneas, se registran a los 18,000 y después de 12,000 años A.P. Los niveles de los lagos del Altiplano muestran descensos durante el

máximo glacial, entre 23-13.000 años, precedidos y sucedidos por fases de niveles altos, antes de 22.000 y entre 13.000 y 11.500 años (Kessler, 1985; 1991; Hastenrath & Kutzbach, 1985; Wirmann *et al.*, 1987a; 1987b), en fase con los niveles lacustres máximos registrados en los Andes desérticos a los 24°S (Grosjean *et al.*, 1991).

En los Andes tropicales (Van der Hammen *et al.*, 1973; Hooghiemstra, 1989; Hooghiemstra & Sarmiento, 1991) los registros palinológicos de la sabana de Bogotá (4°50'N) muestran, durante las edades glaciales, un aumento de la vegetación abierta de subpáramo y páramo y un descenso del bosque andino de alrededor de 1500 m en altitud. Estos cambios sugieren condiciones glaciales subhúmedas y descensos significativos de las temperaturas.

2.3. Amazonas y norte de Sudamérica

Un registro proveniente del SE de la Amazonia del Brasil (6°20'S-50°25'W) (Absy *et al.*, 1991) muestra tres periodos de regresión del bosque lluvioso y expansión de Gramíneas y elementos de sabana, indicadores de un clima estacional, durante la última edad glacial: 60.000, 45.000 y entre 23.000 y 11.000 años. Entre 45.000-23.000 años dominan los elementos del actual bosque tropical lluvioso y microalgas de aguas profundas (*Botryococcus*).

Dos registros del Amazonas de Ecuador (Bush *et al.*, 1990) muestran, antes de 32.000 años A.P., dominancia de un indicador de bosque andino (*Alnus*) y Gramíneas; ello sugiere un significativo descenso altitudinal de la vegetación, de alrededor de 1500 m, y depresiones de las temperaturas de 7.5°C. Después de 30.000 años se registran solamente trazas del bosque tropical actual y dominan, en cambio, los taxa de bosque subandino (*Podocarpus*, *Hedyosmum*, *Weinmannia*). Para explicar esta entremezcla de elementos cálidos de bosque tropical y subandinos fríos, sin análogos en la actualidad, se han sugerido condiciones húmedas a subhúmedas y temperaturas muy frías en los faldeos andinos de la Amazonia durante la edad glacial (Colinvaux & Liu, 1987).

Análisis de sedimentos atlánticos en la cuenca del Orinoco (Damuth & Fairbridge, 1970) indican condiciones glaciales secas. En las regiones ecuatoriales de Panamá (Bush *et al.*, 1992), Venezuela (Leyden, 1985; Bradbury *et al.*, 1981) y Galápagos (Colinvaux y Schofield, 1976), los registros palinológicos indican una vegetación tardiglacial más árida que la actual, con condiciones de clima frío y seco estacionalmente. Schubert (1988) concluye, de su revisión conjunta de la información paleoclimática del norte de Sudamérica y el Caribe, que el clima glacial fue, en general, más árido que en la actualidad.

3. EL MODO DE CIRCULACIÓN GLACIAL (ESTADIAL)

El modelo de circulación que se propone para el último máximo glacial (Fig. 2a) es concordante con las reconstrucciones de las temperaturas oceánicas para los 18.000 años A.P. (Climap, 1981); según estas reconstrucciones, la circulación oceánica estuvo caracterizada por un desplazamiento hacia el ecuador y contracción areal de las aguas subpolares, gradientes térmicos agudizados en las regiones templadas, posiciones relativamente estables de los giros centrales en los océanos del hemisferio sur, divergencia y surgencia incrementadas, y un ecuador térmico (y posiblemente la Convergencia Intertropical) cerca o ligeramente al norte de sus posiciones modernas. Estos cambios sugieren intensificación de la circulación oceánica y probablemente atmosférica, durante el último máximo glacial.

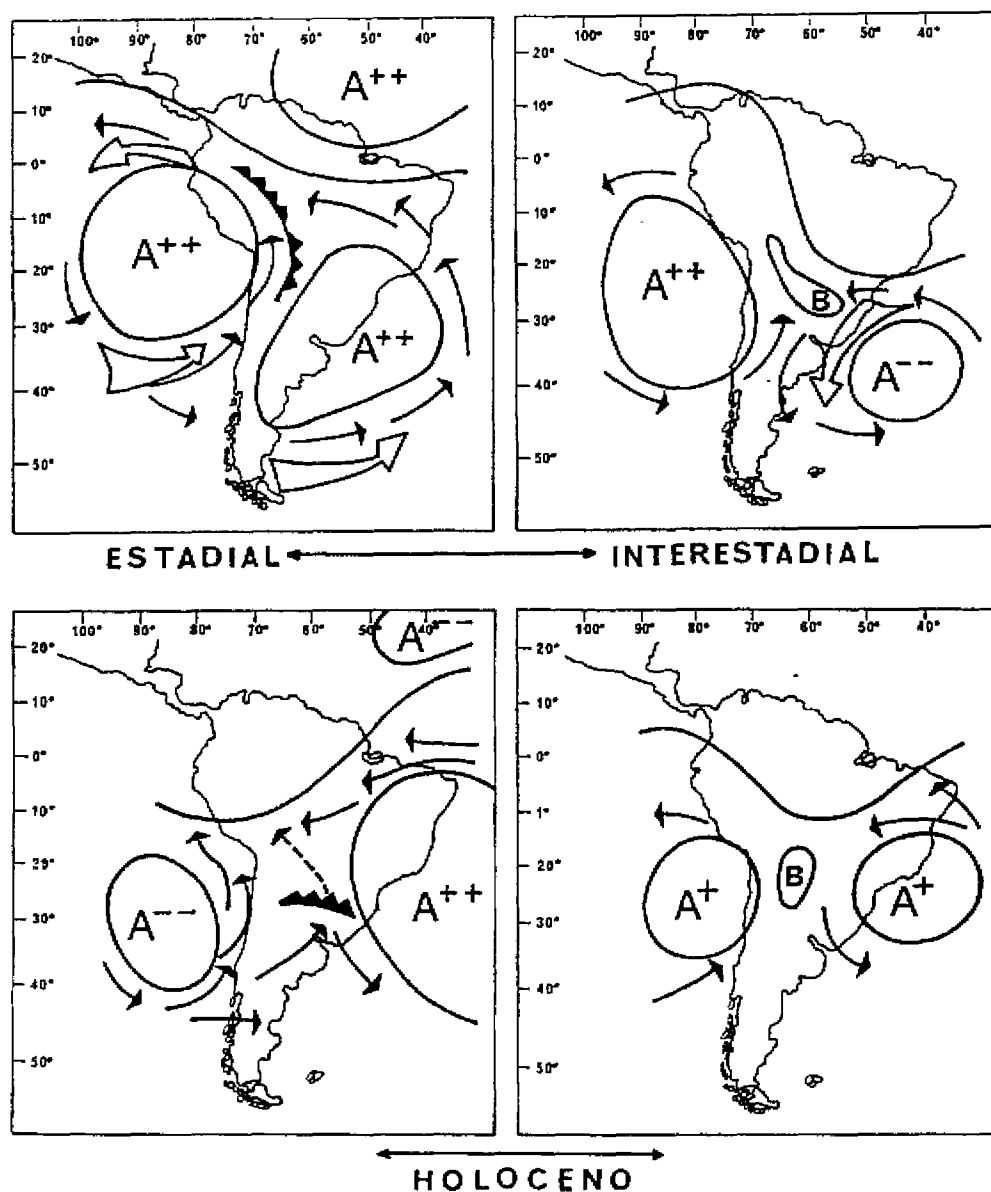


Fig. 2 - Modelos atmosféricos propuestos para el último ciclo glacial-postglacial.

El gradiente meridional de temperaturas determina la intensidad de los Anticiclones y del cinturón de los oeste y, por ende, el vigor de la circulación atmosférica (Harrison *et al.*, 1983). Un análisis de las temperaturas oceánicas en siete testigos del Pacífico sur (Luz, 1977), muestra que, entre 50 y 44°S, el gradiente de temperaturas fue más fuerte a los 18,000 años, posibilitando así la intensificación (Markgraf *et al.*, 1992) y expansión al norte del cinturón de los oeste, como lo han propuesto varios autores, (Caviedes, 1972; 1990; Housser, 1984; 1989; 1991; Villagrán, 1988; 1990). Ello explicaría la presencia del elemento subantártico en los registros de la costa pacífica mediterránea y templada (34°-43°S). Las condiciones frías y fuertemente áridas que registran las evidencias palinológicas de Argentina, a los 34°S, sugieren un reforzamiento del efecto orográfico, explicable por vientos oeste más intensos y por el abrupto incremento en altura de los Andes, desde alturas máximas promedio que no sobrepasan los 3400 m al sur de los 35°S, hasta promedios sobre 5800 m entre 30-35°S. Esto concordaría con las condiciones intensamente continentales, registradas al sur de los 32°S al este de los Andes (*cfr.* Carleff *et al.*, 1991), como lo anticipa Wilhelmy en 1952 (*cfr.* Kessler, 1991).

Anticiclones vigorosos en ambos océanos, y en posiciones equivalentes a un invierno extremo actual, concuerdan con el fuerte aumento en aridez y posición relativamente constante del centro de la diagonal árida durante el Cuaternario Superior, hechos propuestos por Carleff *et al.*, (1991), en base a las evidencias glaciológicas, geomorfológicas, paleopedológicas, palinológicas y paleohidrológicas.

Una intensificación de la circulación meridional al este de los Andes, con formación de frentes fríos que se desplazan desde el SW al NE, desviándose luego hacia el norte hasta el ecuador, corresponde al modelo postulado por Servant & Villarroel (1979) para las edades glaciales de Sudamérica, en base a ocasionales situaciones meteorológicas actuales; este modelo explica las depresiones de las temperaturas que sugiere la presencia de taxa templado-fríos en el Altiplano, los notables descensos de los escalones altitudinales de vegetación en los Andes del norte, y la mezcla del elemento cálido tropical con el elemento de bosque andino en los faldeos amazónicos de los Andes del Ecuador.

Flohn (1978; 1984) destaca que la notable intensificación de la surgencia ecuatorial y a lo largo de la costa Pacífica de Sudamérica, a los 18,000 A.P., sugiere baja evaporación local, intensificación de la circulación de Hadley y un estrechamiento de la Zona de Convergencia Intertropical. Ello implica una mayor influencia anticiclónica en el norte de Sudamérica y explicaría las fases áridas que sugiere el registro de los sitios bajos de Venezuela, cuenca del Orinoco y el Caribe. Las incursiones del elemento de sabana registradas en el SE de la Cuenca Amazónica, en la actual interfase entre el bosque tropical lluvioso y formaciones con clima estacional, sugieren también una amplitud latitudinal menor en el ciclo anual de la Convergencia Intertropical durante los máximos glaciales.

4. EL MODO DE CIRCULACIÓN TARDIGLACIAL (INTERESTADIAL)

El contraste entre la vegetación del pleniglacial superior y la tardiglacial (e interestadial) que detectan los registros podría corresponder con un debilitamiento del Anticiclón del Atlántico sur (Fig. 2b), desde un estado de máxima intensidad y simetría con el Anticiclón del Pacífico, durante el Pleniglacial Superior, alrededor de los 18,000 años, hasta un estado de máxima asimetría en el Tardiglacial (e interestadiales), alrededor de los 13,000 años (27,000-22,000 A.P.). Cambios de esta naturaleza podrían ser gatillados en lapsos relativamente

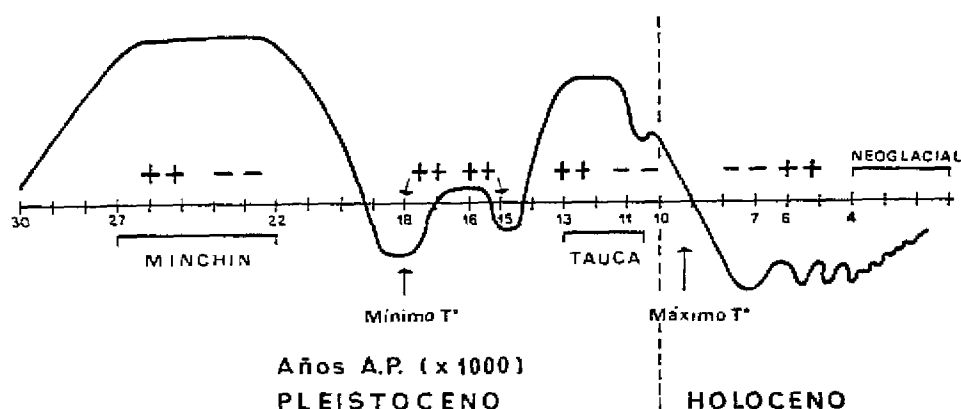


Fig. 3 - Fluctuaciones de los niveles de los lagos del altiplano de los Andes subtropicales durante los últimos 30,000 años y su correspondencia con los tres modelos atmosféricos propuestos para el último ciclo glacial-postglacial: Fase ++ - Intensificación del vigor del Anticiclón del Pacífico Sur y debilitamiento del Anticiclón del Atlántico Sur; Fase ++ ++ Ambos anticiclones vigorosos; Fase -- ++ Intensificación del vigor del Anticiclón del Atlántico Sur y debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur.

breves en el Atlántico debido a las abruptas fluctuaciones que tuvo la circulación termohalina durante el Tardiglacial, provocadas por los pulsos de deglaciación del Hemisferio Norte. Fairbanks (1989) ha mostrado que el ascenso del nivel del mar durante la deglaciación no fue continuo sino que hubo dos intervalos de ascenso rápido, entre 14,500-11,500 A.P. y entre 10,500-9500 A.P.

Street-Perrott & Perrott (1990) han postulado que fluctuaciones climáticas abruptas en los trópicos pueden estar relacionadas con aportes también abruptos de agua dulce en el Atlántico Norte durante los pulsos de deglaciación. Al estabilizarse la columna de agua, disminuye la formación de aguas profundas, frías y salobres, en el norte del Atlántico, debilitando así la circulación termohalina global y, por ende, el transporte de calor desde el sur en el Atlántico. Esto conduce a patrones asimétricos de las temperaturas oceánicas globales, más frías al norte del ecuador y más cálidas al sur. Esta oscilación norte-sur de las temperaturas parecería también modular la posición e intensidad de la Convergencia Intertropical y de la zona de máxima convección. Si la banda de Convergencia Atlántica se situara algo más al sur (Fig. 2b), ello implicaría un cambio en la circulación meridional predominantemente del SW durante los estadiales, hacia una circulación predominantemente del NE durante los interestadiales (y tardiglacial). Un Anticiclón Atlántico debilitado implica también una mayor actividad del sistema de monzones en el este de Sudamérica, como lo sugieren Kessler (1991) y Carleff *et al.*, (1991)

Un cambio en el régimen de lluvias de Sudamérica ha sido propuesto por Servant y colaboradores (1981; 1987), en base a las evidencias geomorfológicas y sedimentológicas de Bolivia que muestran durante el Tardiglacial la vigencia de un régimen de sedimentación

burda, correspondiente a un régimen de lluvias estivales torrenciales favorables a la erosión, en contraste con la sedimentación fina prevaleciente durante los estadiales, indicadora de un régimen de lluvias finas y regulares.

Estas variaciones en los regímenes de lluvias explicarían las notables oscilaciones de los niveles de los paleolagos del Altiplano de Bolivia (Fig. 3), que alcanzaron sus máximos durante las fases Minchin (27,000-22,000) y Tauca (13,000-11,500) (Kessler, 1985; 1991; Hastenrath & Kutzbach, 1985; Wirtmann *et al.*, 1987a; 1987b), en fase con Laguna Lejía en el norte de Chile (Grosjean *et al.*, 1991). Este modelo también explicaría el desfase entre la máxima depresión de temperaturas, a los 18,000, y la formación de glaciares, a los 16,000-15,000 años, en los Andes subtropicales. Asimismo, explicaría la vegetación más húmeda del Altiplano registrada durante los interestadiales y Tardiglacial (Graf, 1989; Ybert, 1987; Baied, 1991).

Todos los autores han atribuido estas fases lacustres altas a una intensificación de las lluvias del NE y E. Kessler (1991) propone, como posible explicación de la fase Tauca en el Altiplano, un cambio asimétrico global, con desplazamiento al sur de los cinturones climáticos. Esta explicación es coherente con los cambios paleoambientales que sugiere el registro de gran parte de Sudamérica. Sin embargo, la persistencia de fases climáticas secas hasta principios del Holoceno en la costa pacífica desértica, islas del Pacífico (Galápagos y Pascua), norte de Sudamérica y Panamá sugieren un Anticiclón Subtropical del Pacífico aún vigoroso. La hipótesis de Kessler se aplicaría entonces para el Atlántico.

5. EL REGISTRO PALEOAMBIENTAL DE LA TRANSICIÓN GLACIAL-POSTGLACIAL Y DEL HOLOCENO

Desde inicios del Holoceno, los registros de las latitudes medias (39-43°S) muestran el reemplazo del bosque higrófilo Nordpatagónico de Coníferas, Fagáceas y Mirtáceas, predominante en el Tardiglacial, y su reemplazo por elementos más termófilos del bosque Valdiviano (*Weinmannia*) que culminan con máximos de *Eucryphia*/*Caldcluvia* y *Nothofagus procera/obliqua* alrededor de 7000 años (Villagrán, 1985; 1991; Heusser, 1966; 1984). Después de 3,000 años reaparece el elemento nordpatagónico.

En Chile Central y Norte Chico (34-32°S) desaparecen a los 10,000 años los elementos del bosque subantártico, disminuyen los taxa acuáticos, y dominan herbáceas y elementos de matorral semi-árido (Heusser, 1990; 1991; 1983; Villagrán & Varela, 1990). Los niveles de la laguna Tagua Tagua registran un ambiente lacustre bastante profundo en el Holoceno temprano, interrumpido, a los 6000 años, por una rápido descenso y formación de un ambiente pantanoso estacionalmente anegadizo. Después de 6000 años los niveles vuelven a ascender paulatinamente (Varela, 1976); a los 3000 años reaparecen los taxa acuáticos en los registros.

En los Andes desérticos occidentales, entre 27 y 33°S, Veit (1991) documenta para el Holoceno temprano (9,000 años A.P.) una fase cálido-húmeda en la Cordillera, con formación de paleosuelos, mientras que en la costa las evidencias geomorfológicas sugieren aridez, con aumento de fases erosivas y actividad de conos aluviales. En el Holoceno medio, hay evidencias para una segunda fase húmeda con formación de paleosuelos y niveles lacustres altos, pero afectando ahora los Andes desérticos a los 24°S (Grosjean *et al.*, 1991) y la vertiente oriental de los Andes, a los 27°30'S (Carleff *et al.*, 1991).

Los registros del altiplano de Perú (Hansen *et al.*, 1984; Graf, 1989), Bolivia (Graf, 1991; Ybert, 1987), Argentina (Fernández *et al.*, 1991) y Chile (Baied, 1991) muestran durante la transición glacial-postglacial una clara tendencia hacia un clima más cálido y seco, evidenciado por el aumento de las Gramíneas y desaparición de los elementos alóctonos del bosque de montaña y los taxa acuáticos. Paralelamente, desde 11,000 años se observa un paulatino descenso de los niveles del Titicaca (Wirmann *et al.*, 1987a; 1987b) hasta alcanzar niveles mínimos (60 m por debajo de los actuales) hace alrededor de 7,700 años. Este proceso es sincrónico con la desecación de cuerpos de agua en el Altiplano chileno, a los 7,000 años (Baied 1991). Entre 7,000 y 4,000 años los niveles se mantienen bajos y fluctuantes, sin llegar en ningún momento a sus niveles actuales.

En el Amazonas de Brasil el bosque tropical alcanza su máxima expresión entre 9,000-8,000 años; sigue una regresión, entre 7,500 y 3,000 años, con expansión de elementos colonizadores de bosque lluvioso (Absy *et al.*, 1991). A los 3,000 años se registra la recuperación del bosque. En la Amazonia de Bolivia, la máxima regresión del bosque se registra entre 7,000 y 5,000 años (Servant *et al.*, 1981b). En la costa atlántica del sur de Brasil (18-20°S) los estudios geomorfológicos indican aridez máxima a los 8000 años (Servant *et al.*, 1989). También en Amazonia central-norte, en Venezuela, la abundancia de carbón en los suelos sugiere mayor frecuencia de incendios en el Holoceno medio (Sanford *et al.*, 1985).

Los registros del Lago Valencia en Venezuela (Leyden, 1985; Bradbury *et al.*, 1981; Pecters, 1984) muestran niveles máximos, y desarrollo óptimo del bosque lluvioso, en el Holoceno temprano entre 10,000 y 8,000 años. En el Holoceno medio el bosque más mésico retrocede a mayores altitudes. Una alternancia de fases húmedas tropicales y fases menos húmedas, han sido deducidas de las fluctuaciones del lago, con transgresiones a los 8,000, 6,000 y después de 4,400, y regresiones en los periodos intermedios. En la cuenca del río Magdalena, en la región Caribeña de Colombia, Duñas (1992) ha documentado similares fluctuaciones climáticas en el Holoceno, después de 8000 años, a partir de las variaciones en los niveles de inundación. En Galápagos (Colinvaux & Schofield, 1976) y en Isla de Pascua (Flenley & King, 1984), en cambio, las evidencias palinológicas indican un clima más húmedo en el Holoceno medio.

6. EL MODO DE CIRCULACIÓN DEL HOLOCENO

El cambio de la circulación glacial a la postglacial correspondería a un proceso de reversión de la asimetría pacífico-atlántica, desde un estado de mayor vigor del Anticiclón del Pacífico (13,000 A.P.) hasta el estado inverso que culmina a los 7,500 años (Figs. 2b, 2c y 2d). En otras palabras, y siguiendo a Kessler (1991)

“...desde un punto de vista hidrológico, las posiciones extremas del Cuaternario tardío no están representadas en el Altiplano por el Pleniglacial Superior y el actual, sino por el Tardiglacial y el Holoceno temprano”.

Parece ser relevante en este proceso de reversión de la asimetría pacífico-atlántica, el desfase entre ambos hemisferios, en alrededor de 2,000 a 3,000 años, en el inicio de la deglaciación y óptimo de las temperaturas. En el hemisferio sur, la deglaciación en latitudes altas siguió inmediata e ininterrumpidamente al último avance glacial de los 15,000-14,500 (Mercer, 1976; 1984). El óptimo de las temperaturas empezó a los 11,000 años, alcanzándose el máximo a los 9,400 años A.P., simultáneamente al enfriamiento Younger Dryas del

hemisferio norte, y precediendo así en alrededor de 3,000 años al máximo del hemisferio norte (Hays *et al.*, 1976; Labeyrie *et al.*, 1986; Harrison *et al.*, 1984). En el Pacífico sur se dan así, a partir de 11,000 años, y durante el Holoceno temprano a medio, las condiciones para un progresivo debilitamiento de la circulación atmosférica y oceánica, asociadas eventualmente al paulatino descenso de las presiones atmosféricas en el dominio del Anticiclón del Pacífico Sur. En el hemisferio norte, en cambio, solamente a partir de 9,500 años empieza el aumento gradual de las temperaturas, alcanzándose el óptimo en el Holoceno medio, entre 7,000 y 6,000 años. Paralelamente, para el Atlántico se ha mostrado una intensificación de la circulación termohalina (Street-Perrott & Perrott, 1990), y el consecuente aumento en el transporte de calor hacia el norte del ecuador, durante el Holoceno temprano a medio. Un desplazamiento hacia el norte de la vaguada atlántica de la Convergencia Intertropical, asociado al aumento de las temperaturas oceánicas en el hemisferio norte, y consecuente robustecimiento del Anticiclón del Atlántico sur, parecen entonces eventos plausibles en el Holoceno temprano a medio.

En síntesis, durante el Holoceno temprano a medio, entre 8,000 y 4,000 años, se darían las condiciones de máxima inestabilidad oceánica y atmosférica, compatibles con la alternancia de fases secas y húmedas entre distintas regiones de Sudamérica que caracterizan los actuales eventos ENOS. En concordancia, durante este lapso el registro paleoambiental de Sudamérica exhibe una curiosa correspondencia entre cambios climáticos regionales y las teleconexiones de los actuales eventos ENOS (Aceituno & Montecinos, 1992). Por ejemplo, entre 8,000 y 7,000 años, se registran una serie de cambios análogos a los que ocurren durante los actuales eventos El Niño: fases secas en la Amazonia, descenso de los niveles lacustres en el norte de Sudamérica y Altiplano de Bolivia y Chile (18°S), bajos niveles de inundación en la cuenca del río Magdalena, máximos niveles holocénicos del Lago Tagua Tagua en Chile central, y aumento de los niveles de Lago El Junco en Galápagos. En contraste, a los 6,000 años, se dan cambios de signo opuesto: formación de paleosuelos en el Altiplano de Chile (24°S), niveles lacustres altos de los lagos Lojía (24°) y Chashuñil (27°30'), aumento de los niveles del lago Titicaca y Valencia, altos niveles de inundación del río Magdalena y desecación de la Laguna Tagua Tagua en Chile Central.

Series de eventos paleo ENOS más intensos y frecuentes (Super-ENSO) han sido sugeridos por varios autores para explicar cambios parecidos registrados en el Holoceno de distintas regiones de Sudamérica (Martin *et al.*, 1992a; Mörner, 1992; Wells, 1987). Por ejemplo, entre 5,000 y 4,000 años, Martin *et al.*, (1992a) documentan siete probables eventos ENOS, en base a las variaciones en la dirección del transporte de arena cólica en la costa de Brasil central. Estos mismos autores (1992b) establecen las teleconexiones de estos eventos con otras regiones de Sudamérica, durante los últimos 7,000 años, y concluyen que, antes de 4000 años A.P., hubieron numerosos periodos con condiciones análogas a eventos ENOS más largos e intensos que en la actualidad. Una interpretación parecida ha sido postulada por Dueñas (1992) para los últimos 8,000 años, en base a las fases de inundación bajas de los ríos Magdalena y Manaos.

Después de 4,000 años, la intensidad y recurrencia de paleoeventos tipo El Niño parecen haber atenuado. En general, los registros palinológicos de Sudamérica muestran, después de 3,000 años, una vegetación parecida a la actual. Es posible entonces que los eventos ENOS hayan adquirido a partir de esa fecha una dinámica parecida a la actual (McGlone *et al.*, 1992).

Agradecimientos

La autora desea expresar su reconocimiento a los Dres. Patricio Aceituno, Luc Ortlieb, Humberto Fuenzalida y Juan Armesto por sus valiosos comentarios y sugerencias. El trabajo ha sido realizado con el financiamiento de FONDECYT, Proyecto 91-0844, Chile.

Referencias citadas

- ABSY, M. L., CLEEF, A., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SIFEDDINE, A., FERREIRA DA SILVA, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCQ, B. & VAN DER HAMMEN, T., 1991 - Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 312: 673-678.
- ACEITUNO, P. & MONTECINOS, A., 1992 - Análisis de la estabilidad de la relación entre la Oscilación del Sur y la precipitación en América del sur. in: *Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 7-13; Lima: ORSTOM/CONCYTEC.
- ARGOLLO, J., GOUZE, PH., SALIECE, J. F. & SERVANT, M., 1987 - Fluctuations des glaciers de Bolivie au Quaternaire récent. *Géodynamique* 2(2): 103-104.
- BAIED, C. A., 1991 - Late-Quaternary Environment, Climate, and Human Occupation of the South-Central Andes. Ph.D. Dissertation, University of Colorado, Boulder.
- BRADBURY, J. P., LEYDEN, B., SALGADO-LABOURIAU, M., LEWIS, W. M., SCHUBERT, C., BINFORD, W. & FREY, D. G., 1981 - Late Quaternary Environmental History of Lake Valencia, Venezuela. *Science*, 214: 1299-1305.
- BROECKER, W. S. & DENTON, G. H., 1990 - The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Quaternary Science Reviews*, 9: 305-341.
- BUSH, M. B., COLINVAUX, P. A., WIEMANN, M. C., PIPERNO, D. & LIU, K.-B., 1990 - Late Pleistocene Temperature Depression and Vegetation Change in Ecuadorian Amazonia. *Quaternary Research*, 34: 330-345.
- BUSH, M. B., PIPERNO, D. R., COLINVAUX, P. A., DE OLIVEIRA, P. E., KRISSEK, L. A., MILLER, M. C. & ROWE, W. E., 1992 - A 14,300-Yr paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panamá. *Ecological Monographs*, 62(2): 251-275.
- CAVIEDES, C., 1972 - Paleoclimatology of the Chilean littoral. *The Iowa Geographer Bulletin*, 29: 8-14.
- CAVIEDES, C., 1990 - Rainfall variation, snowline depression and vegetational shifts in Chile during the Pleistocene. *Climatic Change*, 16: 94-114.
- CHARLES, C. D. & FAIRBANKS, R. G., 1992 - Evidence from Southern Ocean sediments for the effect of North Atlantic deep-water flux on climate. *Nature*, 355: 416-419.
- CLAPPERTON, C. M., 1990 - Quaternary Glaciations in the Southern Hemisphere: An Overview. *Quaternary Science Reviews*, 9: 299-304.
- CLAPPERTON, C. M., 1991 - Glacier fluctuations of the last glacial-interglacial cycle in the Andes of South America. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 183-207.
- CLIMAP PROJECT MEMBERS, 1981 - Seasonal reconstructions of the Earth's Surface at the Last Glacial Maximum. *Geological Society of America Map and Chart Series*, MC-36: 1-18.
- COLINVAUX, P. A. & SCHOFIELD, E. K., 1976 - Historical ecology in the Galapagos Islands. I. A Holocene pollen record from El Junco Lake, Isla San Cristóbal. *Journal of Ecology*, 64: 1013-1026.
- COLINVAUX, P. A. & LIU, K.-B., 1987 - The Late-Quaternary climate of the western Amazon Basin. in: *Abrupt Climatic Change* (W. L. Berger & L. D. Labeyrie, eds.): 113-122; Reidel, Dordrecht.
- DAMUTH, J. E. & FAIRBRIDGE, J. E., 1970 - Equatorial Atlantic Deep-Sea Arkosic Sands and Ice-Age Aridity in Tropical South America. *Geological Society of America Bulletin*, 81: 189-206.
- DEVRIES, T. J., 1987 - A review of geological evidence for ancient El Niño activity in Peru. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14471-14479.
- D'ANTONI, H. L., 1983 - Pollen analysis of Gruta del Indio. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 1: 83-104.
- DUEÑAS, H., 1992 - The Pale ENSO record in the lower Magdalena Basin, Colombia. in: *Paleo ENSO Records international symposium, Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 81-85; Lima: ORSTOM/CONCYTEC.

- FAIRBANKS, R. G., 1989 - A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342: 637-642.
- FERNÁNDEZ, J., MARKGRAF, V., PANARELLO, H. O., ALBERO, M., ANGIOLINI, F. E., VALENCIO, S. & ARRIAGA, M., 1991 - Late Pleistocene/Early Holocene Environments and Climates, Fauna, and Human Occupation in the Argentine Altiplano. *Geochronology*, 6(3): 251-272.
- FLENLEY, R. & KING, S. M., 1984 - Late Quaternary pollen records from Easter Island. *Nature*, 30705: 48-52.
- FLOHN, H., 1978 - Comparison of Antarctic and Arctic climate and its relevance to climatic evolution. in: *Antarctic glacial history and world palaeoenvironments* (E. M. Van Zinderen Bakker, ed.): 3-13; Balkema, Rotterdam.
- FLOHN, H., 1984 - Climate evolution in the Southern Hemisphere and the equatorial region during the Late Cenozoic. in: *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere* (J. C. Vogel, ed.): 3-20; Balkema, Rotterdam.
- GARLEFF, K., SCHÄBITZ, F., STINGL, H. & VEIT, H., 1991 - Jungquartäre Landschaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 359-394.
- GRAF, K., 1989 - Palinología del Cuaternario reciente en los Andes del Ecuador, del Perú y de Bolivia. *Boletín del Servicio Geológico de Bolivia*, 4(1): 69-91.
- GRAF, K., 1991 - Ein Modell zur eiszeitlichen und heutigen Vergletscherung in der bolivianischen Westkordillere. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 139-154.
- GROOT, J. J. & GROOT, C. R., 1967 - Pollen spectra from deep-sea sediments as indicators of climatic changes in Southern South America. *Marine Geology*, 4: 525-537.
- GROOT, J. J., GROOT, C. R., EWING, M., BURCKLE, L. & CONOLLY, J. R., 1967 - Spores, pollen, diatoms and provenance of the Argentine Basin sediments. *Progress in Oceanography*, 4: 179-217.
- GROSJEAN, M., MESSERLI, B. & SCHREIER, H., 1991 - Seenhochstände, Bodenbildung und Vergletscherung im Altiplano Nordchiles: Ein interdisziplinärer Beitrag zur Klimageschichte der Atacama. Erste Resultate. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 99-108.
- HANSEN, B. C. S., WRIGHT, H. E. & BRADBURY, J. P., 1984 - Pollen studies in the Junín area, central Peruvian Andes. *Geological Society of America Bulletin*, 95: 1454-1465.
- HARRISON, S. P., METCALFE, S. E., STREET-PERROTT, F. A., PITTOCK, A. B., ROBERTS, C. N. & SALINGER, M. S., 1983 - A climatic model of the Last Glacial/Interglacial transition based on palaeotemperature and palaeohydrological evidence. in: *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere* (J. C. Vogel, ed.): 21-34, Balkema; Rotterdam.
- HASTENRATH, S. L. & KUTZBACH, J., 1985 - Late Pleistocene climate and water Budget on the South American Altiplano. *Quaternary Research*, 24: 249-256.
- HAYS, J. D., IMBRIE, J. & SHACKLETON, N. J., 1976 - Variations of the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science*, 194: 1121-1132.
- HEUSSER, C. J., 1966 - Late-Pleistocene pollen diagrams from the Province of Llanquihue, Southern Chile. *American Philosophical Society Proceedings*, 110: 269-305.
- HEUSSER, C. J., 1983 - Quaternary Pollen Record from Laguna de Tagua-Tagua, Chile. *Science*, 219: 1429-1432.
- HEUSSER, C. J., 1984 - Late Quaternary climates of Chile. in: *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere* (J. C. Vogel, ed.): 59-83, Balkema, Rotterdam.
- HEUSSER, C. J., 1989 - Southern Westerlies during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Research*, 31: 423-425.
- HEUSSER, C. J., 1990 - Ice age vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80: 107-127.
- HEUSSER, C. J., 1991 - Biogeographic evidence for Late Pleistocene paleoclimate of Chile. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 257-270.
- HOOGHIESTRAM, H., 1989 - Quaternary and Upper-Pliocene glaciations and forest development in the tropical Andes: Evidence from a long high-resolution pollen record from the sedimentary Basin of Bogotá, Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72: 11-26.
- HOOGHIESTRAM, H. & SARMIENTO, C., 1991 - Long continental pollen record from a tropical intermontane basin: Late Pliocene and Pleistocene history from a 540-meter core. *Episodes*, 14(2): 107-115.
- HUECK, K., 1978 - *Los Bosques de Sudamérica*, 476p., Eschborn, I Hoeh-Druck.
- KALIN, M. T., SQUEO, F. A., ARMESTO, J. J. & VILLAGRÁN, C., 1988 - Effects of aridity on plant diversity in the northern Chilean Andes: results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75: 55-78.

- KESSLER, V. A., 1985 - Zur Rekonstruktion von spätglazialen Klima und Wasserhaushalt auf dem peruanisch-bolivianischen Altiplano. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 21: 107-114.
- KESSLER, V. A., 1991 - Zur Frage der Änderung der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation auf dem Altiplano seit dem Spätglazial. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 351-357.
- LABEYRIE, L. D., PICHON, J. J., LABRACIERIE, M., IPPOLITO, P., DUPRAT, J. & DUPLESSY, J. C., 1986 - Melting history of Antarctica during the past 60,000 years. *Nature*, 322: 701-706.
- LEYDEN, B. W., 1985 - Late Quaternary aridity and Holocene Moisture fluctuations in the Lake Valencia Basin, Venezuela. *Ecology*, 66 (4): 1279-1295.
- LUZ, B., 1977 - Late Pleistocene paleoclimates of the South Pacific based on statistical analysis of planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology*, 22: 61-78.
- MARKGRAF, V., DODSON, J. R., KERSHAW, A. P., MCGLONE, M. S. & NICHOLLS, N., 1992 - Evolution of late Pleistocene and Holocene climates in the circum-South Pacific land areas. *Climate Dynamics*, 6: 193-211.
- MARTIN, L., ABSY, M. L., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDINE, A., TURCO, B. & RIBEIRO, V., 1992a - Some climatic alterations recorded in South America during the last 7000 years may be expanded by long-term El Niño like conditions. in: *Paleo ENSO Records international symposium, Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 187-192; Lima: ORSTOM/CONCYTEC.
- MARTIN, L., ABSY, M. L., FLEXOR, J.-M., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDINE, A. & TURCO, B., 1992b - Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7000 dernières années. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 315 (II): 97-102.
- MCGLONE, M. S., KERSHAW, A. P. & MARKGRAF, V., 1992 - El Niño/Southern Oscillation climatic variability in Australasian and South American paleoenvironmental records. in: *El Niño: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation* (H.F. Diaz & V. Markgraf, eds.): in press; Cambridge University Press.
- MERCER, J. H., 1976 - Glacial History of Southernmost South America. *Quaternary Research*, 6: 125-166.
- MERCER, J. H., 1984 - Late Cainozoic glacial variations in South America south of the equator. in: *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere* (J. C. Vogel, ed.): 45-58; Balkema, Rotterdam.
- MÖRNER, N.-A., 1992 - Present El Niño-ENSO events and past Super-ENSO events effects of changes in the earth's rate of rotation. in: *Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 201-206; Lima: ORSTOM/CONCYTEC.
- PEETERS, L., 1988a - Late Quaternary climatic changes in the basin of Lake Valencia, Venezuela, and their significance for regional paleoclimates. in: *Late Cainozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere* (J. C. Vogel, ed.): 123-127; Balkema, Rotterdam.
- PORTER, S. C., 1981 - Pleistocene glaciation in the Southern Lake District of Chile. *Quaternary Research*, 16: 263-292.
- SANFORD, R. L., SALDARRIAGA, J., CLARK, K. E., UHL, C. & HERRERA, R., 1985 - Amazon Rain-Forest Fires. *Science*, 227: 53-55.
- SCHUBERT, C., 1988 - Climatic changes during the last Glacial Maximum in Northern South America and the Caribbean: A Review. *Interciencia*, 13(3): 128-137.
- SELTZER, G. O., 1990 - Recent glacial history and paleoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9: 137-152.
- SERVANT, M. & VILLARROEL, R., 1979 - Le problème paléoclimatique des Andes boliviennes et de leurs piedmonts amazoniens au Quaternaire. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 288: 663-668.
- SERVANT, M., FONTES, J.-CH., ARGOLLO, J. & SALIEGE, J.-F., 1981a - Variations du régime et de la nature des précipitations au cours des 15 derniers millénaires dans les Andes de Bolivie. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 292: 1209-1212.
- SERVANT, M., FONTES, J.-CH., RIEU, M. & SALIEGE, J.-F., 1981b - Phases climatiques andes holocènes dans le sud-ouest de l'Amazonie (Bolivie). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 292: 1295-1297.
- SERVANT, M., ARGOLLO, J. & FOURNIER, M., 1987 - Dépôts fluviaux en Bolivie. Variations du régime des écoulements au cours du Quaternaire récent. *Géodynamique*, 2(2): 105-107.
- SERVANT, M., FOURNIER, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K. & TURCO, B., 1989 - Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitude Sud). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 309: 153-156.
- STREET-PERROT, F. A. & PERROT, R. A., 1990 - Abrupt climate fluctuations in the tropics: the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature*, 343: 607-612.

- VAN DER HAMMEN, T., WERNER, J. H. & VAN DOMMELEN, H., 1973 - Palynological record of the upheaval of the northern Andes: a study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its high-Andean biota. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 16: 1-122.
- VARELA, J., 1976 - Geología del Cuaternario de Laguna de Tagua-Tagua (Provincia de O'Higgins). Actas del Primer Congreso Geológico Chileno: D81-D113.
- VEIT, H., 1991 - Jungquartäre Relief- und Bodenentwicklung in der Hochkordillereinzugsgebiet des Río Elqui (Nordchile, 30°S). *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 81-97.
- VILLAGRÁN, C., 1985 - Análisis palinológico de los cambios vegetacionales durante el Tardiglacial y Postglacial en Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 58: 57-69.
- VILLAGRÁN, C., 1988 - Expansion of Magellanic Moorland during the Late Pleistocene: palynological evidence from northern Isla de Chiloé, Chile. *Quaternary Research*, 30: 304-314.
- VILLAGRÁN, C., 1990 - Glacial climates and their effects on the history of the vegetation of Chile: A synthesis based on palynological evidence from Isla de Chiloé. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 65: 17-24.
- VILLAGRÁN, C., 1991 - Historia de los bosques templados del sur de Chile durante el Tardiglacial y Postglacial. *Revista Chilena de Historia Natural*, 64: 447-460.
- VILLAGRÁN, C. & VARELA, J., 1990 - Palynological Evidence for increased Aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. *Quaternary Research*, 34: 198-207.
- VILLAGRÁN, C., KALIN ARROYO, M. T. & MARTICORENA, C., 1983 - Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 56: 137-157.
- WELLS, L. E., 1987 - An alluvial record of El Niño events from northern coastal Perú. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14,463-14,470.
- WIRRMANN, D. & DE OLIVEIRA, L. F., 1987 - Low Holocene level (7700 to 3650 years ago) of lake Titicaca (Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59: 315-323.
- WIRRMANN, D. & MOURCUIART, P., 1987 - Oscillations et palcosalinités des lacs du Quaternaire récent en Bolivie. *Géodynamique*, 2(2): 98-101.
- YBERT, J. P., 1987 - Spectres palynologiques de tourbières et de sédiments lacustres de la fin du Pléistocène et de l'Holocène des Andes de Bolivie. *Géodynamique*, 2(2): 108-109.