

Análisis palinológico de los cambios vegetacionales durante el Tardiglacial y Postglacial en Chiloé, Chile

A palynological study of Late-and post-Glacial
vegetational changes in Chiloé, Chile

CAROLINA VILLAGRAN

Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias Básicas
y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile

RESUMEN

Se analizan palinológicamente dos perfiles obtenidos en la Isla Grande de Chiloé y se reconstruye la historia vegetacional del sector, a base de comparaciones de las combinaciones de polen fósil con las de los tipos forestales actuales del área de estudio, datos del clima actual y curvas de paleotemperaturas y precipitaciones propuestas en la literatura para el último ciclo glacial-interglacial.

En el perfil Pidpid Alto, el lapso datado radiocarbónicamente como más reciente que 36.230 A.P., con dominancia de polen de *Nothofagus* tipo-*dombeyi*. *Podocarpus nubigena*, *Fitzroya cupressoides* y *Drimys winteri*, sugiere presencia de bosque nordpatagónico-subantártico asociado a condiciones templado-frías y lluviosas para este tiempo, probablemente correspondiente a algunos de los interstadiales de la última glaciación. Con anterioridad a 36.230 A.P., las proporciones altas de indicadores de tundra y estepa sugieren condiciones estadales frías.

El perfil Laguna Pastahué, cuya base ha sido datada radiocarbónicamente en 12.470 A.P., representa el lapso Tardiglacial y Holoceno e incluye la siguiente secuencia de tipos forestales: (i) bosque nordpatagónico, con dominancia de Myrtaceae, asociado a las condiciones algo más cálidas y lluviosas que las actuales prevalecientes desde 12.500 hasta ca. 8.500 A.P. (ii) bosque valdiviano, con predominio del tipo *Caldecluvia/Eucryphia*, asociado al episodio de "calentamiento postglacial" (8.500-5.000 A.P.) caracterizado por un clima más seco y más cálido que el actual; (iii) bosque nordpatagónico-subantártico (5.000 A.P. al presente) con dominancia de *Weinmannia*, *Drimys*, *Tepualia*, Myrtaceae, Gramineae, Pteridophyta y, hacia finales de la secuencia, *Nothofagus*, sugiriendo condiciones algo más frías y notoriamente más húmedas que en el lapso anterior y más en concordancia con las imperantes en el área de estudio en la actualidad. La mayor discontinuidad florística detectada en el Perfil Pastahué, fechada en 9.590 A.P., corresponde a la interfase entre los dos primeros tipos forestales mencionados y es distinguida por el descenso abrupto de las Myrtaceae seguido de la aparición y dominancia de *Weinmannia*. Se discute la posibilidad de que este cambio defina el límite Pleistoceno-Holoceno.

Palabras claves: Palinología, Cuaternario, Chiloé Insular, estructura e historia de la vegetación.

ABSTRACT

Two pollen profiles from the Isla Grande de Chiloé are analysed. The history of the vegetation is reconstructed by comparing the fossil pollen assemblages with the modern vegetation types and interpreted using modern climate data. This is compared to published paleotemperature and precipitation curves of the last glacial-interglacial cycle. The pollen zone of Pidpid profile dated younger than 36,230 B.P. (Zone II), is dominated by *Nothofagus dombeyi* type, *Podocarpus nubigena*, *Fitzroya cupressoides* and *Drimys winteri*. This suggests North-Patagonian-Subantarctic Rainforest and cool and wet conditions. The interval probably corresponds to one of the interstadials of the last glaciation. High levels of tundra and steppe elements before 36,230 B.P. (Zone I) suggest a colder stadial period.

The Laguna Pastahué profile (basal date 12,470 B.P.) represents the Late-glacial and Holocene interval. It includes the following sequence of forest types: (i) North-Patagonian Rainforest dominated by Myrtaceae, indicative of warmer and wetter conditions relative to present (from 12,000 to 8,500 B.P.); (II) from 8,500-5,000 B.P. (climatic optimum), presence of Valdivian Rainforest with dominance of *Caldecluvia/Eucryphia* type, which would have existed under a dry and warmer climate than the present; (iii) from 5,000 B.P. onwards North-Patagonian-Subantarctic Rainforest dominated by *Weinmannia*, *Drimys*, *Tepualia*, Myrtaceae, Gramineae, Pteridophyta, followed eventually by *Nothofagus* indicative of colder and wetter conditions, similar to those existing at present. The most obvious floristic discontinuity (dated 9,590 B.P.) detected in the Pastahué profile corresponds to the succession from Patagonian to Valdivian Rainforest. It is characterized by a sharp decrease in Myrtaceae, followed by the appearance and consecutive dominance of *Weinmannia*. The possibility that this discontinuity defines the Pleistocene-Holocene limit is discussed.

Key words: Palynology, Quaternary, Chiloé Island, vegetation structure and history.

INTRODUCCION

La Isla Grande de Chiloé, parcialmente no glaciada durante el Pleistoceno, y los grupos de islas situados frente a sus costas orientales, diferencialmente afectadas por las glaciaciones, constituyen una singular situación de interés biogeográfico, tanto en el sentido de evaluar los efectos de las glaciaciones pleistocénicas sobre la flora, como en el de establecer los patrones de recolonización postglacial de la vegetación. Con el objetivo de interpretar la historia de la vegetación regional, se están llevando a cabo investigaciones, a partir de 1983, las cuales consideran una primera etapa de registro de polen de turbas y sedimentos cuaternarios y correlación de diagramas de polen provenientes de todo el sector de Chiloé continental e insular.

De los antecedentes se desprende que los sectores de baja altitud del norte y costa oriental de la Isla Grande fueron, al menos, tres veces cubiertos por glaciares durante el Pleistoceno, los cuales llegaron hasta el Pacífico en el sector intermedio de la isla, a la latitud 42°40'S (Heusser & Flint 1977). La situación glacial de los grupos de islas frente a la costa oriental de la Isla Grande no está aún bien establecida. Del análisis de sedimentos cuaternarios del noroeste de la Isla Grande, Valenzuela (1982) infiere que las actuales depresiones de los golfos de Reloncaví y de Ancud corresponden a antiguas depresiones lagunares excavadas por glaciares andinos y, posteriormente, habría ingresado el mar. Según Brügger (1950), solamente en el actual Golfo del Corcovado, que rodea por el sur a la Isla Grande, el mar habría estado siempre presente después del retroceso del hielo. Para el sector de Chiloé Continental, Flint & Fidalgo (1969) y Brügger (1950) documentan presencia de grandes masas de hielo continental en ambas vertientes de los Andes para el Pleistoceno. En contraste con esta situación regional intensamente afectada por las glaciaciones, la Cordillera de la Costa de la Isla Grande (conocida localmente como Cordillera de Piuchué) no habría sido glaciada; sus alturas de hasta 823 m.s.n.m habrían constituido una barrera efectiva al avance de los glaciares, los cuales habrían atravesado la Isla Grande llegando al Pacífico solamente a la latitud de la depresión del lago Cucao (Brügger 1950). Numerosos autores ya han destacado el interés biogeográfico de este hecho y postu-

lado que la Cordillera de la Costa, en general, constituyó el principal refugio del bosque durante el Pleistoceno (Skottsberg 1916, Looser 1935, Heusser 1972, 1982). Si esto hubiese ocurrido así, el tiempo y el sentido de dispersión de los taxa de bosque desde estos refugios hacia los sectores glaciados podrían ser establecidos a partir de la correlación regional de diagramas de polen y, adicionalmente, podrían ser definidas las pautas de recolonización postglacial de las islas glaciadas situadas en la costa oriental de la Isla Grande. En forma previa a cualquier estudio de este tipo se requiere del conocimiento de la historia de la vegetación local y del establecimiento de una cronología de referencia en el área señalada como refugio del bosque; en este trabajo se contribuye a este último aspecto a través del análisis palinológico de dos perfiles situados en los faldeos orientales de la Cordillera de Piuchué; se reconstruye la historia vegetacional y climática de este sector, a base de comparaciones con la zonación actual de tipo forestales, a través de ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué y a base de datos climáticos actuales; se comparan los resultados con las curvas de paleotemperaturas y precipitaciones propuestas por Heusser y colaboradores (Heusser 1974, Heusser & Streeter 1980, Heusser, Streeter & Stuiver 1981) para el último ciclo glacial-interglacial en el área de estudio y por Burrows (1979) para distintas regiones del Hemisferio Sur.

AREA DE ESTUDIO

En la Fig. 1 se señala la situación geográfica de las dos localidades estudiadas palinológicamente. La localidad de Pidpid Alto se sitúa aproximadamente 3 km hacia el oeste del caserío de Pidpid (42°24'S-73°46'W) y a 130 m.s.n.m. y el perfil fue obtenido de un corte de terreno expuesto que bordea un afluente del Estero Pellahue. El perfil Pastahué fue barrenado con Sonda de Dachnowski en la ribera SW de Laguna Pastahué (42°22'S-73°49'W), situada 2 km NW de la localidad de Piruquina y a 150 m de altitud.

Ambas localidades quedan incluidas en el sector oriental más seco de la Isla Grande (Fig. 1), con un clima definido, de acuerdo a Koeppen (1), como "templado húmedo

1) Mapa climático de Chile, según Koeppen, en "Expedición a Chile", Anexo, 1975. Edit. G. Mistral. Santiago.

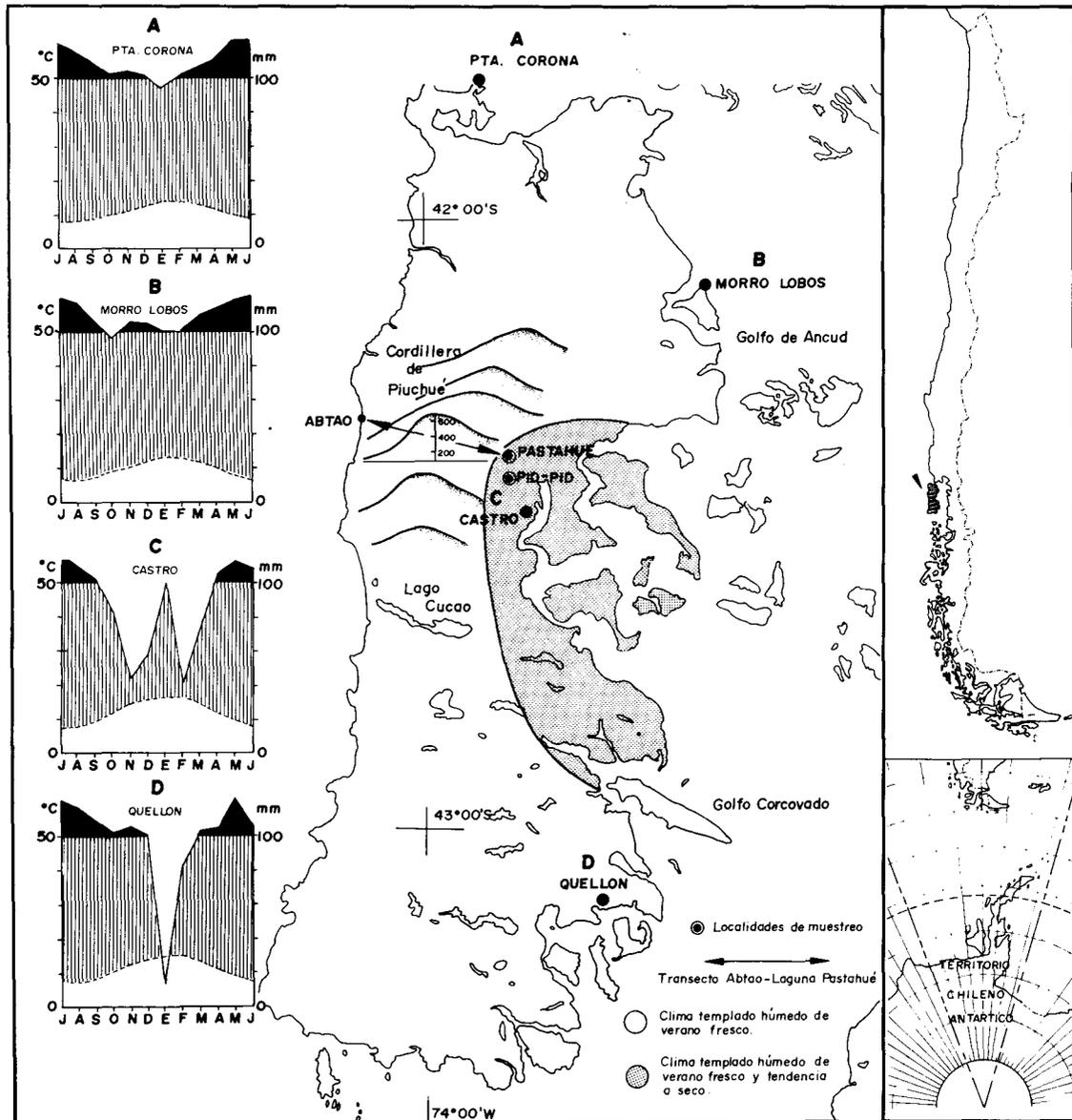


Fig. 1: Situación geográfica de las dos secciones estudiadas palinológicamente y del transecto vegetacional a través de la Cordillera de Piuchué. Se destacan los diagramas de clima de localidades representativas (Hajek & Di Castri 1975) y el área de influencia (Koeppen 1975) de los tipos climáticos representados en el Archipiélago de Chiloé.

Geographical location of the two palynological vertical section studied and of the transect through the Cordillera de Piuchué. Climatic diagrams of representative localities (Hajek & Di Castri 1975) are shown as well as the climatic types in Archipiélago de Chiloé, according to Koeppen (1975).

de verano fresco con tendencia a seco”, en contraste con el clima “templado húmedo de verano fresco”, que impera en todo el resto de la Isla Grande y grupos de islas adyacentes. Según Di Castri y Hajek (1976), a pesar de las fuertes influencias oceánicas que caracterizan la provincia de Chiloé, aún podrían reconocerse algunas localidades con tendencia mediterránea con

persistencia de un período árido estival. En la Fig. 1 se destacan los diagramas de clima de localidades representativas de ambas regiones climáticas (Hajek & Di Castri 1975).

La vegetación del sector estudiado correspondería originalmente a bosque aunque en la actualidad éste se encuentra bastante degradado por la cercanía de

poblados y predios agrícolas. En general, la vegetación puede ser incluida en el llamado "bosque nordpatagónico" (Schmithüsen 1956), cuyo centro distribucional se sitúa entre las latitudes 41° y 43°S e intergrada hacia el norte con el "bosque lluvioso valdiviano" y hacia el sur, y hacia sectores de mayor altitud, con el "bosque lluvioso subantártico". En todo el sector climático con influencia mediterránea de la Isla Grande, bajo cuyo ámbito queda incluida el área de estudio, penetra el elemento exclusivamente valdiviano representado esencialmente por *Eucryphia cordifolia*, *Aextoxicon punctatum*, *Gevuina avellana*, *Amomyrtus meli*, *Caldcluvia paniculata* y *Dasyphyllum diacanthoides*. Sin embargo, las especies dominantes de este sector son aquellas comunes tanto al bosque valdiviano como al bosque nordpatagónico, *Myrceugenia planipes*, *Amomyrtus luma*, *Laurelia philippiana* y *Myrceugenia ovata* var. *ovata*, de manera que de acuerdo a cualquier sistema de clasificación florística o fisionómica que se considere, el área de estudio resulta ser la interfase entre estas dos formaciones regionales. Nos parece por ello adecuada la integración de la vegetación de la región en una formación distintiva, "la selva de Chiloé", propuesto por Pisano (1965). Este autor distingue la vegetación de Chiloé de la "selva valdiviana" a base del desaparecimiento de *Nothofagus obliqua* y aparición de *N. nitida* y de la "selva magallánica" por la dominancia de *Nothofagus dombeyi* sobre *N. betuloides*, especie característica de esta última formación.

MATERIALES Y METODOS

Los sedimentos lacustres del perfil Laguna Pastahué se componen básicamente de limo y arena con abundante contenido de materia orgánica en distintos grados de desintegración y una intercalación de ceniza volcánica entre los 150 y 290 cm de profundidad. En su porción superior (50-100 cm) están integrados por arena fina a muy fina compuesta por granos líticos y materia orgánica poco desintegrada, estructurada predominantemente por raíces finas, epidermis de hojas y fragmentos de musgos, hongos y animales. Desde los 100 a 500 cm el sedimento está constituido por limos que incluyen materia orgánica parcial a totalmente desintegrada con abundancia de diatomeas y la intercalación de cenizas volcá-

nicas mencionada anteriormente. Desde 500 cm hasta la base (830 cm) predominan arenas desde fina a gruesa, limos arenosos y detritus orgánico con predominancia de fragmentos leñosos parcialmente desintegrados.

El material estudiado palinológicamente en la sección expuesta Pidpid Alto corresponde a niveles de turba y turba-arcillosa con abundante madera subfósil intercaladas en depósitos de arenas y ripios o gravas. La secuencia de sedimentos en el perfil es la siguiente: 0-360 cm ripio arenoso y arena con clastos redondeados de diámetros comprendidos entre 2 y 9 cm; 360-460 cm, turba color negro con abundante madera subfósil; 460-530 cm, turba-arcillosa color gris con madera subfósil; 530-590 cm, arena arcillosa; 590-1000 cm grava a gravilla arenosa con clastos redondeados de diámetros comprendidos entre 0,5 y 2 cm.

Muestras de sedimentos fueron extraídas a intervalos de 10 ó 20 cm de profundidad a través del perfil, procesadas con HF, KOH y acetólisis (Beug 1957) y montadas en gelatina-glicerina. Las dataciones radiocarbónicas fueron obtenidas de los mismos testigos analizados palinológicamente y realizadas en Beta Analytic Inc., Florida, U.S.A. El recuento de polen se hizo con objetivos x100 y x40 y con Microscopio Nikon Biophot. En el perfil Pastahué, con fuerte dominancia de polen arbóreo a través de todo el perfil, el recuento se llevó a cabo hasta completar 300 granos de polen arbóreo por nivel y las proporciones de todas las especies contadas (arbóreas y no arbóreas) fueron calculadas a base de la suma arbórea. Las sumas totales alcanzadas con este tipo de recuento se señalan en la Fig. 4. En el Perfil Pidpid, con fuerte presencia de polen arbóreo en el sector superior y de esporas de *Isoetes* en el sector basal, las proporciones de polen de las especies leñosas y herbáceas se calcularon a base de la suma arbórea (como en Pastahué), mientras que los porcentajes de las especies productoras de esporas fueron calculados a base de la suma total de granos. La cuenta se llevó hasta alcanzar cifras por sobre 600 granos en cada nivel de profundidad (ver Fig. 3). En la suma básica considerada para establecer la relación polen arbóreo/no arbóreo se excluyeron las especies productoras de esporas. La relación entre frecuencias de polen de las distintas especies con la profundidad se expresó a través de diagramas de polen

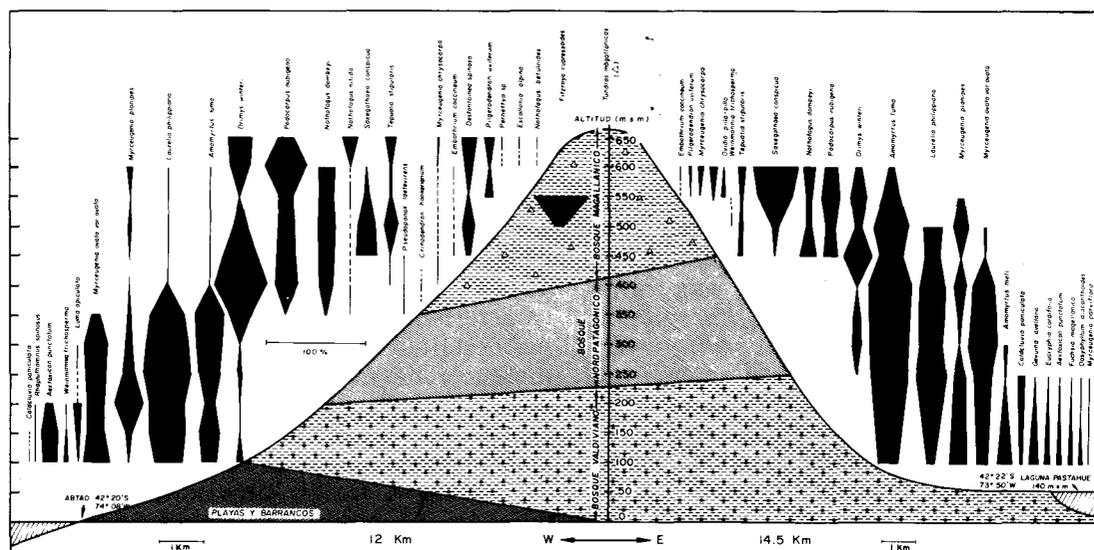


Fig. 2: Variación altitudinal de las frecuencias arbóreas a través de ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué y zonación de las principales formaciones vegetacionales en el sector.

Altitudinal variation in tree species frequencies on the western and eastern sides of the Cordillera de Piuchué and the vegetation zones represented in this area.

convencionales (Figs. 3 y 4). En el sector izquierdo de los diagramas se indica la secuencia estratigráfica del perfil y las curvas de polen arbóreo (PA). Se consideró como polen arbóreo todo el elemento leñoso del bosque y a las epífitas, lianas y parásitas asociadas a los árboles. Al centro del diagrama se señala la relación polen arbóreo/no arbóreo (PA/PNA) y a la derecha las curvas de polen no arbóreo (PNA), considerando acá las formas herbáceas, helechos y musgos y aquellos arbustos asociados a paisajes abiertos (*Tepualia*, *Gunnera*, *Berberis*, *Coriaria* y *Ericaceae*). En el extremo derecho del diagrama se señalan las sumas totales de granos contadas por nivel, edades radiocarbónicas y zonas polínicas.

Para la interpretación de los diagramas de polen se definieron previamente las especies indicadoras de los distintos tipos de bosques del área de estudio, a base de la información proveniente del análisis de la vegetación actual en un transecto a través de ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué, a la latitud de las localidades de estudio (Fig. 1). Las frecuencias de las especies arbóreas a través del gradiente altitudinal fueron obtenidas mediante el trazado de secciones longitudinales de 360 m, orientadas perpendicularmente a la pendiente y distribuidas cada 50 m de altitud.

En cada sección se establecieron 25 puntos equidistantes entre sí y en torno a cada uno de ellos se registraron los cuatro árboles más cercanos.

RESULTADOS

Definición de taxa indicadores en los diagramas de polen

En la Fig. 2 se muestra la distribución de frecuencias de las especies arbóreas a través de ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué. Los tipos de bosques que pueden ser reconocidos a base de cambios en la composición florística son los siguientes (2):

(i) *Bosque laurifolio valdiviano*: Esta formación se distribuye en los sectores de baja altitud del norte de la Isla Grande y en los faldeos, preferentemente orientales, de la Cordillera de Piuchué, hasta 250 m.s.n.m.

2) Para los objetivos de este trabajo se consideró adecuado incluir solamente una descripción breve de los principales tipos de bosques distribuidos en el gradiente altitudinal. La autora dispone de la información inédita que incluye la composición florística y abundancias de la vegetación del sotobosque. Se consideró, además, un muestreo de musgos a través del transecto para establecer la lluvia polínica actual en el interior del bosque y el material está en estudio.

(200 en la vertiente de exposición W), no sobrepasando este tipo de bosque la latitud del lago Huillenco al sur. A pesar de que sus especies dominantes penetran también en el piso nordpatagónico que le sucede altitudinalmente, este piso vegetacional ha sido incluido en el bosque laurifolio valdiviano, en consideración a la presencia restringida a rangos altitudinales bajos de las especies citadas como características de esta formación (Alianza *Nothofago-Eucryphia*, Oberdorfer 1960), *Eucryphia cordifolia*, *Gevuina avellana* y *Aextoxicon punctatum*. De las asociaciones descritas como integrando la formación, la composición de especies sugiere mayor afinidad con el *Eucryphietum* (Schmithüsen 1960).

(ii) *Bosque laurifolio nordpatagónico*: Se distribuye en ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué, entre altitudes de 250 (200 W) y 450 (350 W), constituyendo un

tipo forestal caracterizado por la fuerte dominancia de especies de Mirtáceas y *Laurelia philippiana*. Dos especies de Mirtáceas, *Amomyrtus luma* y *Myrceugenia planipes*, son elementos comunes tanto del bosque nordpatagónico como del valdiviano y la tercera especie, *Myrceugenia ovata* var. *ovata*, se restringe a la Cordillera de la Costa entre Valdivia y Chiloé (Landrum 1981) y aún no ha sido considerada especie característica de ninguna de las asociaciones descritas para el sur de Chile. La presencia de *Laurelia philippiana*, especie definida como característica de la asociación central del bosque nordpatagónico (*Laurelio-Weinmannietum* Oberdorfer 1960), nos ha llevado a incluir provisoriamente este piso en el bosque nordpatagónico. Sin embargo, la ausencia de dos elementos básicos de esta asociación, *Weinmannia trichosperma* y *Nothofagus dombeyi*, ade-

TABLA 1

Taxa indicadores de distintas formaciones vegetacionales en los diagramas de polen de Chiloé

Indicator taxa of the different plant formations in the pollen diagrams of Chiloé

PP t°	lluviosas con verano con tendencia a seco.	lluviosas con verano fresco.	secas
templadas	ELEMENTO VALDIVIANO Aextoxicon Eucryphia/Caldcluvia Gevuina/Lomatia Nothofagus tipo-obliqua	ELEMENTO VALDIVIANO-NORDPATAGONICO Laurelia tipo-Myrceugenia tipo-Amomyrtus Hydrangea Pseudopanax laetevirens	
templado-frías		ELEMENTO NORDPATAGONICO-SUBANTARTICO Nothofagus tipo-dombeyi Weinmannia trichosperma Podocarpus nubigena - Drimys winteri - Saxe- gothaea conspicua - Des- fontainea spinosa - Fitz- roya/Pilgerodendron - Es- callonia - Maytenus mage- llanica - Tepualia stipula- ris	
frías			ELEMENTOS DE TUNDRA Y ESTEPA Isoetes savatieri Lycopodium fuegianum Gramineae Ranunculaceae Compositae Umbelliferae Ericaceae Caryophyllaceae

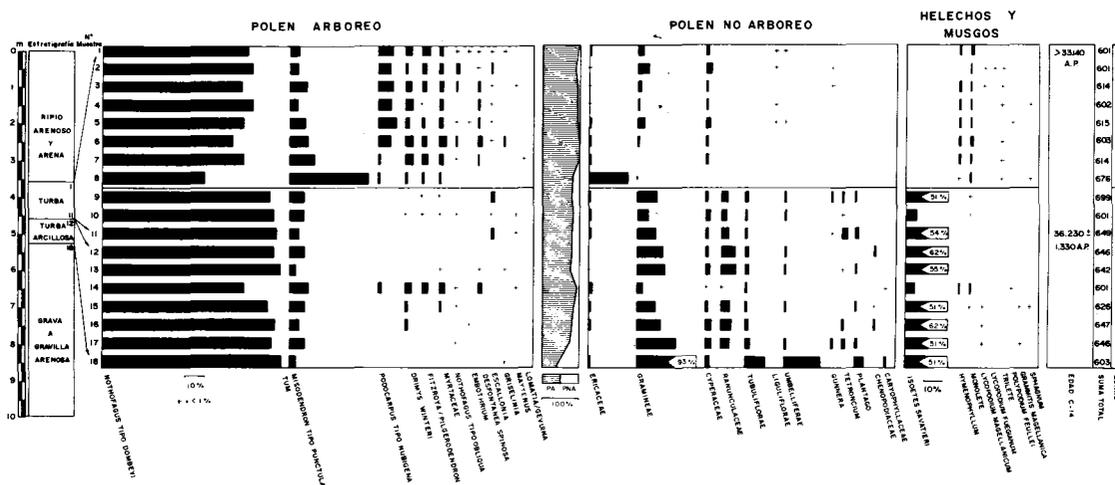


Fig. 3: Diagrama de polen Pidpid Alto. Isla Grande de Chiloé.
Pollen diagram based on the Pidpid Alto profile. Isla Grande de Chiloé.

más de la peculiar combinación florística mencionada, sugiere fuertemente que se trata de una asociación distintiva y aún no descrita en la literatura, asociada a las condiciones con marcada influencia oceánica que caracterizan gran parte del Archipiélago de Chiloé.

(iii) *Bosque laurifolio nordpatagónico-subantártico*: En los sectores de baja altitud en el sur de la Isla Grande y por sobre 450 m.s.n.m (350 W) en ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué, se presentan manchones discontinuos de bosques que alternan con sectores de tundras magallánicas. Los principales componentes arbóreos son las Coníferas (*Saxegothaea conspicua*, *Podocarpus nubigena*, *Fitzroya cupressoides* y *Pilgerodendron uviferum*), las Fagáceas (*Nothofagus dombeyi*, *N. betuloides*, *N. nitida*) y *Drimys winteri*. Las asociaciones florísticas pueden ser integradas a la Alianza *Nothofago-Winterion* (Oberdorfer 1960), incluyendo tanto aquellas del bosque nordpatagónico (*Saxegothaea-Weinmannietum*, Villagrán 1980; *Fitzroyetum* Oberdorfer 1960; *Pilgerodendronetum*, Oberdorfer 1960) como las del bosque subantártico (*Nothofagetum betuloidis*, Oberdorfer 1960).

A base de la zonación de tipos forestales descrita y considerando los indicadores de tundra y estepa propuestos por Heusser (1972, 1981), se muestran en la Tabla 1 los taxa indicadores de distintas formaciones vegetacionales que aparecen registrados en nuestros diagramas de polen.

Diagrama de polen Pidpid Alto (Fig. 3)

Se observan dos zonas polínicas netamente definidas en esta secuencia:

ZONA I: Entre los indicadores de polen arbóreo que caracterizan la zona se destaca la presencia prácticamente exclusiva de *Nothofagus tipo-dombeyi* (probablemente *N. betuloides*) y de la especie parásita asociada a este taxa, *Misodendron punctulatum*. Mayormente diversificados se encuentran, por el contrario, los indicadores de vegetación no arbórea tales como las Gramineae (hasta 93% al final de la secuencia), Ranunculaceae (hasta 8%), Compositae-Tubuliflorae (hasta 11%) y Umbelliferae (hasta 20% al final de la secuencia). Estos taxa han sido citados en la literatura palinológica como indicadores de paisajes de tundra y estepa, sugiriendo así condiciones de clima frío para esta época. Durante el transcurso de la zona se observan dos breves lapsos, en torno a los 36.000 A.P., con expansión del elemento arbóreo y retroceso de los indicadores no arbóreos. Durante toda la zona se destaca por su notoria abundancia *Isoetes savatieri*, con valores de hasta 62%. En la actualidad esta especie acuática crece totalmente sumergida en lagos y ríos y ha sido preferentemente citada en Chile para Magallanes. Recientemente la especie ha sido herborizada en Chiloé (Laguna Pastahué, C. Villagrán datos no publicados) y en distintos lagos situados entre Valdivia y Llanquihue (R. Godoy, com. pers.). La pre-

sencia de *Isoetes*, así como la de otro taxa palustre, *Tetroncium magellanicum*, indicaría existencia de sectores anegados y pantanosos durante este lapso, sugiriendo así condiciones de clima lluvioso para esta época.

ZONA II: El límite con la Zona I queda definido por la desaparición de los indicadores de tundra y estepa en el registro no arbóreo. El incremento de los valores de los indicadores de matorral de margen de bosque, como las Ericaceae que alcanzan valores de hasta 21%, sugiere el desarrollo de una vegetación transicional hacia condiciones forestales plenas y presencia de bosque discontinuo (probablemente *Nothofagus betuloides*) en la base de la Zona II. El incremento paralelo de los valores de *Misodendron* (hasta 42%) en este lapso reforzaría la imagen de bosque abierto y discontinuo ya que, como ha sido mostrado para otras regiones del sur de Chile (Villagrán 1980), una mayor apertura del bosque determinaría un mayor grado de parasitismo por *Misodendron*. Sigue a esta breve fase la absoluta dominancia de vegetación arbórea (hasta 98%) a través de todo el resto de la zona con un espectro florístico que define actualmente tanto al bosque nordpatagónico como subantártico. El taxa dominante es *Nothofagus* tipo-*dombeyi* con valores de hasta 81%, y probablemente estén incluidos en este tipo polínico las tres especies de *Nothofagus* que se asocian a los tipos de bosques mencionados, *N. dombeyi*, *N. nitida* y *N. betuloides*. Sigue a este taxa en importancia, *Podocarpus* tipo-*nubigena*, con valores de hasta 10%. Tres especies asociadas, *Drimys winteri*, *Fitzroya/Pilgerodendron* y Myrtaceae, se mantienen constantemente presentes durante toda la Zona aunque no sobrepasan valores de frecuencias del 5%.

Diagrama de polen Laguna Pastahué (Fig. 4).

La secuencia de zonas polínicas es la siguiente:

ZONA I: Esta zona presenta un espectro de polen distintivo, caracterizable por la fuerte dominancia de las Myrtaceae entre los indicadores de polen arbóreo. El tipo-*Amomyrtus* alcanza valores de hasta 45% y el tipo-*Myrceugenia* hasta 37%. Otros taxa leñosos característicos son *Hydrangea*, con valores de hasta 21%, y *Lomatia/Gevuina*

(hasta 8%). La abundancia de esporas tipo-*Blechnum* (hasta 25%) y la presencia de Ranunculaceae (tipo-*Barneoudia*), indicador de tundra, y de la colonizadora *Fuchsia* señalarían condiciones de bosque abierto en algunos sectores. En comparación con las otras zonas, está más abundantemente representado acá el tipo-*Laurelia*; su presencia, asociada a la dominancia de Myrtaceae, sugiere para este tiempo mayor desarrollo de un tipo forestal cuya composición florística estaría en correspondencia con el bosque de tepa y Myrtaceae, descrito para los sectores de mediana altitud de ambas vertientes de la Cordillera de Piuchué. La fuerte influencia oceánica asociada a estos sectores en la actualidad, así como la total ausencia en esta zona polínica del indicador valdiviano *Eucryphia/Caldcluvia*, sugiere para esta época condiciones templadas y más lluviosas que las imperantes en la actualidad en el sitio de estudio. El límite entre las zonas polínicas I y II constituye la discontinuidad más notoria en la secuencia estudiada y queda definido por un abrupto descenso de las abundancias de las Myrtaceae y la aparición y consecutiva dominancia de dos taxa leñosos, *Weinmannia* y *Eucryphia/Caldcluvia*. Este reemplazo de bosques sugiere un cambio desde clima templado-lluvioso hacia condiciones relativamente más secas.

ZONA II: Las variaciones inversas de los porcentajes de los dos taxa leñosos dominantes durante el transcurso de esta zona, el indicador de bosque nordpatagónico típico *Weinmannia trichosperma* (*Laurelio-Weinmannietum*, Oberdorfer 1960) y el indicador de bosque valdiviano, *Caldcluvia-Eucryphia* (*Eucryphietum*, Schmithüsen 1960) permiten distinguir dos fases a través de ella:

Fase II A: caracterizada por la dominancia de *Weinmannia* con valores de hasta 37% e incremento de *Nothofagus* tipo-*dombeyi* (hasta 30%); taxa leñosos de márgenes de bosques, tales como *Coriaria*, *Escallonia* y *Aristotelia*, indicarían persistencia de sectores de bosque abierto. Los géneros dominantes, *Weinmannia* y *Nothofagus*, son indicadores de bosque nordpatagónico con condiciones de clima lluvioso y relativamente frío.

Fase II B: Se destaca esta fase por la dominancia del indicador de bosque valdiviano *Caldcluvia/Eucryphia*, con valores de

hasta 40%, asociada al correspondiente descenso de los valores de *Weinmannia*, sugiriendo un cambio hacia condiciones paulatinamente más cálidas y secas.

ZONA III: Esta zona queda individualizada en el diagrama de polen por el descenso de las proporciones de polen arbóreo y el incremento de las herbáceas y helechos. La notoria disminución en importancia del indicador de bosque valdiviano *Caldcluvia/Eucryphia* y la creciente importancia de los indicadores de bosque nordpatagónico-subantártico de sectores de mayor altitud, tales como *Weinmannia trichosperma*, *Drimys winteri*, *Podocarpus nubigena*, tipo-*Laurelia*, *Tepualia stipularis* y, hacia finales de la secuencia, *Nothofagus tipo-dombeyi*, indicarían condiciones más frías y húmedas en todo el transcurso de esta zona, en comparación con la zona II.

A través de toda la zona se observan fluctuaciones de la vegetación que sugieren una alternancia de fases frías y fases cálidas. Las fases frías (III A; III C; III E; III G) quedan definidas por el incremento de las abundancias de *Weinmannia* (hasta 37%), *Drimys* (hasta 13%) *Nothofagus* (hasta 46%), Gramineae (hasta 45%) y Pteridophyta (hasta 25%). Las fases cálidas (III B; III D y III F) quedan caracterizadas por el incremento de las Myrtaceae (tipo-*Myrceugenia*, hasta 45%).

DISCUSION

De las curvas de temperaturas y precipitaciones propuestas por Heusser (1974) y Heusser *et al.* (1981) para la última Glaciación (Glaciación Llanquihue) en el sur de Chile, se desprende que en el lapso anterior a los 31.000 A.P. las temperaturas no fueron menores a aquellas imperantes a los inicios del Holoceno y que las precipitaciones fueron equivalentes a aquellas de los episodios más lluviosos de esta misma edad (Fig. 5). El espectro de polen que caracteriza la Zona II del Perfil Pidpid Alto, datada radiocarbónicamente entre > 33.140 y 36.230 A.P. con dominancia de indicadores de bosque nordpatagónico-subantártico, estaría en concordancia con un clima de este tipo y la composición florística sugiere un paisaje vegetacional como el que ahora se encuentra en los sectores altos de la Cordillera de Piuchué y en el sur de la Isla Grande; por el contrario, la Zona I, con notoria disminución del

polen arbóreo y fuerte presencia de indicadores de tundra magallánica y de estepa sugieren condiciones más frías que las imperantes durante cualquier subedad del Holoceno.

En lo que se refiere al perfil Pastahué, un fechado radiocarbónico de 12.470 A.P. permite incluir el inicio de esta secuencia, descrita en este estudio como zona polínica I, en el Tardiglacial. Sin embargo, existen algunas discrepancias en la literatura en lo que respecta a la definición del límite Tardiglacial-Holoceno en el sur de Chile. A base de la evidencia palinológica sustentada por Heusser (1966, 1974, 1984) se desprendería que hubo un último reavance glaciar entre 11.000 y 10.000 A.P. en el sur de Chile, de manera que el lapso más cálido anterior a los 11.000 años debería interpretarse como el último interestadial de la glaciación Llanquihue, equivalente al Allerød europeo, y el límite Pleistoceno-Holoceno se situaría en torno a los 10.000 años. A base de la evidencia proveniente de la geología glacial, Mercer (1976) postula que después del último reavance glaciar ocurrido alrededor de 13.000 A.P. no hubo en el sur de Chile otros eventos glaciales que sobrepasen los límites que habrían alcanzado los hielos durante los últimos 5.000 años del Holoceno, de manera que, a partir de 13.000 A.P., habría empezado la tendencia de calentamiento postglacial aparentemente sin interrupción en el sur de Chile. Considerando la información aportada por Mercer, Burrows (1979) estima también como ausente la evidencia de episodios glaciales después de los 12.000 años en los Andes del sur de Chile, pero, a base de su cronología establecida a través de morrenas fechadas radiocarbónicamente como indicadores de eventos glaciales, se desprendería que en distintas regiones del Hemisferio Sur (incluidos los Andes al norte de los 22°S) se habrían sucedido una serie de episodios con clima más frío entre 11.500 y 9.500 A.P., precedidos de un lapso con temperaturas como las actuales (Fig. 5). Los cambios florísticos descritos a través del transcurso de las zonas I y II de Pastahué y las dataciones radiocarbónicas disponibles concordarían parcialmente con estas fluctuaciones climáticas. En efecto, el espectro polínico de la base de la Zona I, con dominancia de Myrtaceae y fechado en torno a los 12.470 A.P. sugiere temperaturas como las actuales y precipitaciones mayores que las imperantes en el

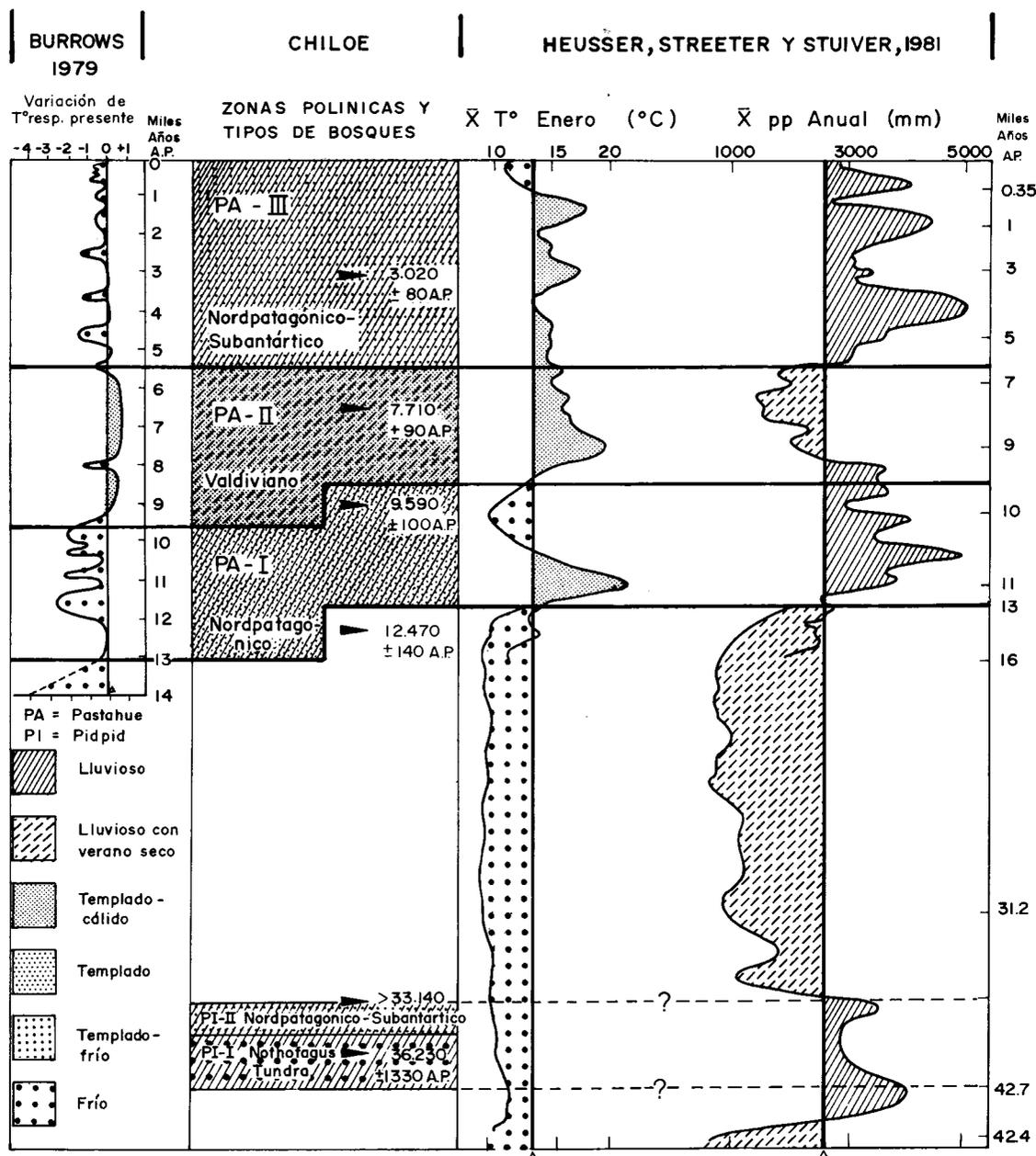


Fig. 5: Relación entre las zonas polínicas de los diagramas de polen estudiados con las fluctuaciones de las temperaturas y de las precipitaciones de los últimos 43.000 años (Heusser *et al.*, 1981) y 12.000 años (Burrows 1979). Los triángulos señalan las condiciones climáticas actuales.

Relationship between the major pollen assemblages and temperature and precipitation fluctuations during the past 43,000 years (Heusser, *et al.* 1981) and during the past 12,000 years according to Burrows (1979). The triangles refer to the actual climatic situation.

sector de estudio en el presente. La vegetación sería, así, equivalente al bosque de tepa y Myrtaceae, actualmente distribuido en los sectores de altitud intermedia de la Cordillera de Piuchué, con fuerte influencia oceánica. El nítido cambio florístico que define el límite entre las zonas polínicas I y

II, datado radiocarbónicamente en 9.590 A.P., determinado por la práctica desaparición de las Myrtaceae y abrupta aparición y dominancia de *Weinmannia* ha sido considerado provisoriamente en este trabajo como marcando el inicio del Holoceno, en consideración a que representa la mayor

discontinuidad en la secuencia de polen estudiada y a que un cambio florístico idéntico y en torno a la misma fecha ha sido detectado por Heusser (1981, 1977) en perfiles obtenidos en Llanquihue (Sección Alerce) y en Chiloé (Sección Taiquemó). Sin embargo, persiste la pregunta ¿es esta sucesión de bosques indicadora de un cambio desde condiciones tardiglaciales frías hacia las condiciones de calentamiento creciente de inicios del Holoceno? Nuestra zonación altitudinal a través de la Cordillera de Piuchué muestra que una sucesión de tal naturaleza más bien indicaría cambios desde condiciones homogéneamente húmedas hacia condiciones con tendencia a sequía en verano. De acuerdo a Morrison (1969) habría un relativo consenso internacional en que el límite Pleistoceno-Holoceno debería situarse en el intervalo 12.000-10.000 A.P., lapso que proporcionaría un margen de tiempo suficiente como para acomodar este límite a las distintas situaciones regionales y a base de distintos marcadores estratigráficos locales. Para el caso del sur de Chile, la utilización de capas volcánicas como base para una cronología postglacial ha sido utilizada en forma pionera por Auer (1948, 1950). Tal vez una combinación de esta metodología, debidamente precisada con dataciones radiocarbónicas, con el criterio palinológico, que ha resultado ser uno de los mejores marcadores estratigráficos del límite en cuestión en el NE de Europa y en los Estados Unidos de Norteamérica (Morrison 1969), sea la clave para resolver este problema en nuestra región de estudio.

En lo que respecta a la zona polínica II del Perfil Pastahué, la curva *Caldchuvia/Eucryphia* que caracteriza todo su transcurso, como asimismo los fechados radiocarbónicos disponibles, permiten asociar este lapso con el episodio cálido más largo del Holoceno (calentamiento postglacial) señalado por Burrows (1979) para el período entre 9.000 (8.000) y 6.000 (5.000) A.P. en distintas regiones del Hemisferio Sur. De la comparación de los cambios vegetacionales de nuestra Zona II con las curvas climáticas propuestas por Heusser (Fig. 5) se desprende que el inicio de la fase II A (9.590 A.P.) estaría asociada a un paulatino incremento de las temperaturas y decrecimiento de las precipitaciones, tendencia que alcanzaría su óptimo durante el transcurso de la fase II B con las condiciones más cálidas y secas de todo el

Holoceno. Un fechado de 7.710 A.P. sobre la base de esta segunda fase permite su inclusión en la subedad boreal, caracterizada mundialmente por un clima más cálido y seco que el actual (Colinvaux 1973).

La alternancia de fases frías y cálidas que sugieren las fluctuaciones vegetacionales descritas para la Zona III, estarían en correspondencia con las oscilaciones de las temperaturas del lapso final de las curvas de Heusser (desde 4.950 A.P. hasta el presente) y de Burrows (desde 5.500 A.P.) las cuales muestran varios intervalos algo más fríos que alternan con intervalos con un clima ligeramente más cálido que el actual (Fig. 5). La curva de las precipitaciones proporcionada para este mismo lapso por Heusser muestra un clima más lluvioso que el actual durante todo su transcurso, lo que también concordaría con los requerimientos de los dos tipos de bosques que se suceden a través de la Zona III, nordpatagónico y nordpatagónico-subantártico. De acuerdo a la cronología propuesta por Burrows para el hemisferio sur, los episodios climáticos fríos desde los 5.500 A.P. al presente estarían asociados a tres pequeños eventos glaciales que se produjeron a los 4.600, 2.800-2.300 y a los 1.500 A.P. Este hecho podría estar en correspondencia con el descenso de polen arbóreo e incremento de los indicadores de vegetación abierta detectados durante los episodios fríos de la Zona III. Un fechado radiocarbónico de 3.020 A.P. dataría el intervalo cálido situado entre el primer y segundo episodio frío en el Perfil Pastahué.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado a través del Proyecto N/2010/8415 de la Universidad de Chile. Expreso mi sincero agradecimiento a las siguientes personas que han colaborado en este trabajo: Inés Meza, Alejandro Segura, Cecilia Pérez, Gonzalo Valenzuela y Jaime Moreno, por la ayuda en el muestreo de vegetación; Gonzalo Benavides y Patricio Huerta, por el barrenaje del Perfil Pastahué; don Carmelo, Carlos y Juan Aguila, por brindarnos su generosa hospitalidad en Chiloé y acompañarnos, guiarnos y ayudarnos durante las excursiones; Soledad Valdivia y Juan Varela, por la colaboración en la descripción estratigráfica de los perfiles; Mario Briceño, por el procesamiento de las muestras; Luz Uribe, por la confección de los dibujos; Marcia Farías, por el mecanografiado del manuscrito; Juan Varela por la lectura crítica del manuscrito y Pedro Bahamondes (CONAF-Castro), por las facilidades otorgadas durante el trabajo de terreno.

LITERATURA CITADA

- AUER V (1948) Las capas volcánicas como un nuevo método de cronología postglacial en Fuego-Patagonia. Publicaciones del Instituto de Suelos y Agro-tecnia 6: 311-336.
- AUER V (1950) Las capas volcánicas como base de la cronología postglacial de Fuego-Patagonia. Revista de Investigaciones Agrícolas 3 (2): 57-208.
- BEUG HJ (1957) Untersuchungen zur spätglazialen und frühpostglazialen Floren-und Vegetationsgeschichte einiger Mittelgebirge. Flora 145: 167-211.
- BRUGGEN J (1950) Geología. Editorial Nascimento, Santiago.
- BURROWS CJ (1979) A chronology for cool-climate episodes in the southern hemisphere 12.000-1.000 Yr B.P. Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 27: 287-347.
- DI CASTRI F & ER HAJEK (1976) Bioclimatología de Chile. Ed. Universidad Católica de Chile, Santiago.
- COLINVAUX PA (1973) Introduction to Ecology. John Wiley & Sons, Toronto.
- FLINT RF & F FIDALGO (1969) Glacial drift in the eastern Argentine Andes between latitude 41°10'S-43°10'S. Geological Society of America Bulletin 80: 1043-1052.
- HAJEK E & F DI CASTRI (1975) Bioclimatografía de Chile. Dirección de Investigación, Universidad Católica de Chile, Santiago.
- HEUSSER CJ (1966) Late-pleistocene pollen diagrams from the province of Llanquihue, Southern Chile. Proceedings of the American Philosophical Society 110 (4): 269-305.
- HEUSSER CJ (1972) On the occurrence of *Lycopodium fuegianum* during late-Pleistocene interstades in the province of Osorno, Chile. Bulletin of the Torrey Botanical Club 99 (4): 178-184.
- HEUSSER CJ (1974) Vegetation and climate of the southern Chilean lake district during and since the last interglaciation. Quaternary Research 4: 290-315.
- HEUSSER CJ (1981) Palynology of the last interglacial-glacial cycle in midlatitudes of southern Chile. Quaternary Research 16: 293-321.
- HEUSSER CJ (1982) Palynology of cushion bogs of the Cordillera Pelada, Province of Valdivia, Chile. Quaternary Research 17: 71-92.
- HEUSSER CJ (1984) Late-Glacial -Holocene climate of the lake district of Chile. Quaternary Research 22: 77-90.
- HEUSSER CJ & RF FLINT (1977) Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloe, Chile. Geology 5: 305-308.
- HEUSSER CJ & SS STREETER (1980) A temperature and precipitation record of the past 16,000 years in southern Chile. Science 210: 1345-1347.
- HEUSSER CJ, SS STREETER & M STUIVER (1981) Temperature and precipitation record in southern Chile extend to 43,000 yr ago. Nature 294: 65-67.
- LANDRUM LR (1981) A Monograph of the Genus *Myrceugenia* (Myrtaceae). Flora Neotropica, Monograph Number 29: 1-37.
- LOOSER G. (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile central en tiempos geológicos recientes. Revista Universitaria, Chile 20: 844-857.
- MERCER JH (1976) Glacial history of southernmost South America. Quaternary Research 6: 125-166.
- MORRISON RB (1969) The Pleistocene-Holocene boundary: an evaluation of the various criteria used for determining it on a provincial basis, and suggestions for establishing it world-wide. Geologie en Mijnbouw 48 (4): 363-371.
- OBERDORFER E (1960) Pflanzensoziologische Studien in Chile. J. Cramer, Weinheim.
- PISANO E (1965) Biogeografía. En: CORFO (ed.) Geografía Económica de Chile Editorial Universitaria, Santiago: 228-267.
- SCHMITHUSEN J (1956) Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner Geographische Abhandlungen 17: 1-86.
- SCHMITHUSEN J (1960) Die Nadelhölzer in den Waldgesellschaften der südlichen Anden. Vegetatio 9: 313-327.
- SKOTTSBERG C (1916) Die Vegetationsverhältnisse längs der Cordillera de los Andes s. von 41° südl. Br. -Botanische Ergebnisse der schwedischen Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande 1907-1909, 5: 1-366.
- VALENZUELA E (1982) Estratigrafía de la boca occidental del Canal de Chacao, X Región, Chile. Actas III Congreso Geológico Chileno A343-A376.
- VILLAGRAN C (1980) Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Perez Rosales Nationalpark (Chile). Dissertationes Botanicae 54: 1-165.