

14-FC
96-B
244h
.2

**Historia de los bosques pantanosos de la costa de Los
Vilos (4ª Región, Chile) durante el Holoceno Medio y
Tardío.**

Tesis

Entregada a la

Universidad de Chile

En cumplimiento parcial de los requisitos

Para optar al grado de

Magíster en Ciencias con mención en Biología



Facultad de Ciencias

Por

Antonio Javier Maldonado Castro

27, Diciembre, 1999

Director de Tesis: Dra. Carolina Villagrán Moraga

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN

TESIS DE MAGISTER

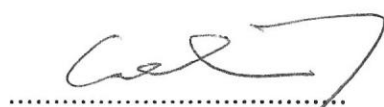
Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Doctorado presentada por el candidato

Antonio Javier Maldonado Castro

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Biología, en el examen de Defensa de Tesis rendido el 7 de diciembre de 1999

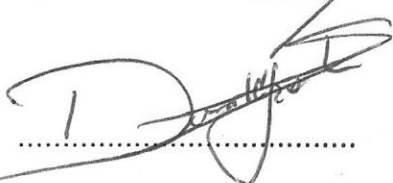
Director de Tesis:

Dra. Carolina Villagrán



Co-Director de Tesis:

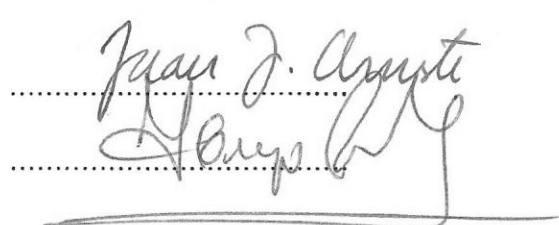
Arq. Donald Jackson



Comisión de Evaluación de la Tesis

Dr. Juan Armesto

Dr. Hugo Romero



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi hija Constanza Violeta, por todos los momentos de felicidad que me ha entregado, a mis padres que con sus esfuerzos, enseñanzas y apoyo me han permitido llevar a delante mis estudios y a Claudia quien me ha acompañado y apoyado constantemente durante el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la Dra. Carolina Villagrán, por su amistad, comprensión, apoyo y enseñanzas, al arqueólogo Donald Jackson, por la confianza depositada en mi y por el apoyo prestado durante todo el desarrollo de esta tesis, a Rodrigo Villa por la ayuda prestada, tanto en terreno como en el laboratorio y por sus valiosos comentarios y enseñanzas, a Claudio Latorre, por sus comentarios y la ayuda en la traducción al inglés, a Felipe Hinojosa, por sus comentarios y ayuda en laboratorio, a Patricio Moreno, por sus comentarios y sugerencias, a Marcos Méndez, por la ayuda prestada en la realización de los análisis estadísticos y a Claudia Hernández, por su ayuda en la edición de las figuras.

Quiero agradecer también el apoyo económico del proyecto N° PG/028/97 del departamento de Postgrado y Postítulo de la Universidad de Chile, del proyecto FONDECYT N°1950372 y del proyecto FONDECYT N° 1970908, entre los cuales fue financiada esta tesis.

ÍNDICE DE MATERIAS

Lista de Tablas	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Fotos	viii
1. Resumen	ix
2. Abstract	xii
3. Introducción	1
3.1. Planteamiento del problema	1
3.2. Hipótesis	8
3.3. Objetivos	10
3.4. Área de estudio	10
3.4.1. Geomorfología	10
3.4.2. Clima	13
3.4.3. Selección de sitios de estudio	17
4. Metodologías	20
4.1. Análisis de la vegetación	20
4.2. Relación vegetación-lluvia de polen	21
4.3. Análisis estratigráfico	23

5. Resultados	26
5.1. Flora y estructura de la vegetación	26
5.2. Polen atmosférico	33
5.3. Estratigrafía de los registros Ñague	41
5.3.1. Sedimentos	41
5.3.2. Frecuencias polínicas	44
5.3.3. Concentraciones polínicas	49
5.3.4. Macrorestos vegetales y de carbón	53
5.4. Espectros fósiles y sus análogos actuales	54
6. Discusión	57
6.1. Integración de indicadores paleoclimáticos	57
6.2. Correlación local	60
6.3. Correlación regional	63
7. Conclusiones	70
8. Bibliografía	72

Lista de Tablas

Tabla 1: Datos climáticos del área de estudio	15
Tabla 2: Porcentajes de frecuencias relativas de taxa en los bosques de la región de Los Vilos.	29
Tabla 3: Porcentajes de frecuencias relativas de taxa de las formaciones no arbóreas de la región de Los Vilos.	31
Tabla 4: Porcentajes de frecuencias polínicas de los taxa presentes en la lluvia de polen atmosférica.	35

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa del área de estudio	3
Figura 2: Gráfico de porcentajes de los taxa polínicos indicadores de las formaciones vegetales del área de Los Vilos	34
Figura 3: Dendrograma correspondiente al análisis de conglomerado realizado para la relación de las muestras de lluvia de polen actual y la vegetación actual	39
Figura 4: Litología, macrorestos y fechados radiocarbónicos de las columnas sedimentarias de Ñague	42
Figura 5: Diagrama de porcentajes polínicos para el perfil Ñague III	45
Figura 6: Diagrama de concentración polínica para el perfil Ñague III	50
Figura 7: Análisis de componentes principales para la lluvia de polen actual y la lluvia de polen fósil	55
Figura 8: Síntesis de los resultados del registro Ñague y correlaciones locales	59
Figura 9: Síntesis de los resultados del registro Ñague y correlaciones Regionales	66

Lista de Fotos

Foto 1: Chequén (<i>Luma chequen</i>).	2
Foto 2: Canelo (<i>Drimys winteri</i>).	2
Foto 3: Bosque de Ñague, panorámica tomada sobre la duna de Ñague.	18
Foto 4: Interior del bosque de Ñague, en el sitio ÑI.	18

1. RESUMEN

El principal objetivo de esta tesis es inferir la historia de la vegetación pantanosa de la costa de Los Vilos (31°50' S), en el borde norte de la región con clima mediterráneo de Chile. La reconstrucción paleoambiental se basa en el análisis de los espectros de polen fósil, contenidos en columnas estratigráficas de edad holocénica media a tardía y obtenidas en bosques pantanosos de Mirtáceas, y su comparación con sus análogos actuales de la lluvia de polen atmosférico proveniente de las distintas formaciones vegetales del área. La interpretación del paleoclima, asociado a la historia de la vegetación, se basa en correlaciones de las evidencias polínicas con otros indicadores paleoclimáticos, tanto los obtenidos de la misma columna estratigráfica como los documentados para el área de estudio y la región.

El análisis estratigráfico permite establecer la siguiente secuencia de eventos climático-vegetacionales: Para el lapso temporal comprendido entre los 5.000 y 3.800 años ¹⁴C A.P., el registro de vegetación no arbórea, mayoritariamente constituida por herbáceas xerófilas (Compuestas y Gramíneas), asociadas a sedimentos predominantemente arenosos, sugieren condiciones áridas. Altos porcentajes de Ciperáceas, otras palustres, y macrorestos del helecho acuático *Azolla filiculoides*, sugieren desarrollo local de una vegetación pantanosa pionera de vegas, probablemente determinada por el represamiento de cursos de agua, debido a la formación de dunas en este

tiempo No existen análogos actuales para este tipo de vegetación ya que ninguna de los muestreos de lluvia de polen actual se integra a los espectros fósiles de este tiempo, en el análisis de correspondencia realizado.

A partir de 3.800 años ^{14}C A.P., la vegetación herbácea y de vegas es reemplazada por indicadores de vegetación arbórea, principalmente la Mirtácea *Luma chequen*, asociados a sedimentos de limos orgánicos, y bajo condiciones climáticas más húmedas que las del periodo anterior. A partir de esta fecha, las formaciones de bosques pantanosos han permanecido durante gran parte del Holoceno tardío en el área estudiada ya que, prácticamente, todos los espectros polínicos fósiles muestran correspondencia con los análogos actuales de la lluvia de polen proveniente de los bosques pantanosos actuales.

Entre 1.900 años ^{14}C A.P. y 1500 a los A. P. se registra una corta y fuerte reversión climática hacia condiciones más áridas, evidenciadas por el abrupto descenso de las frecuencias y concentraciones polínicas de todos los taxa, práctica desaparición, de los indicadores arbóreo, dominio herbáceo de Chenopodiáceas, y deposición de arcillas en la columna de sedimentos. El espectro fósil correspondiente al máximo no arbóreo, a los 1.900 años A. P., no se agrupa con análogos de lluvia de polen correspondientes a la vegetación de bosques pantanosos, sino con los provenientes de jaral costero. Después de 1500 años, vuelve a instaurarse el bosque pantanoso, situación que se mantiene, con variaciones menores, hasta el presente.

Las evidencias sedimentológicas y arqueológicas documentadas para el área de estudio, muestran correspondencia cronológica con los cambios climático-vegetacionales inferidos de nuestro análisis estratigráfico. Los sedimentos de la columna de Quebrada Quereo muestran deposición de calizas y arenas durante los lapsos áridos y turbas asociadas a vegetación palustre durante los lapsos húmedos. Los patrones de asentamiento de los grupos humanos costeros del área de estudio, muestran prevalencia de ocupaciones transitorias y oportunistas, durante los lapsos secos con vegetación herbácea, y más estables y especializadas, durante los lapsos húmedos con desarrollo de bosques. Posiblemente, los cambios paleoambientales registrados en el área de estudio fueron determinados por cambios climáticos regionales, como se desprende de su buena correlación con los espectros polínicos de la costa de Chile central y del registro de indicadores húmedos (*Radiodiscus*, turbas, avances glaciares y temperaturas frías), durante el lapso de colonización arbórea en el área de estudio (3.800-1.900 años A.P.) en una amplia región geográfica que abarca el litoral y los Andes de la 3ª, 4ª y 5ª Regiones de Chile.

2. ABSTRACT

The main objective of this thesis is to infer the history of the swamp vegetation of the Los Vilos coast (31°50'S) at the northern limit of the mediterranean climatic region of Chile. The paleoenvironmental reconstruction is based on the analyses of fossil pollen spectra, contained in sediments from the middle to late Holocene and obtained from within Myrtaceae swamp forests, as well as their comparisons with modern analogs of modern atmospheric pollen rain from the different plant formations of the area. The paleoclimatic interpretation, associated with the vegetational history, is based on correlations between pollen evidence with other paleoclimatic indicators, obtained from the same sediment cores or from other local and regional documentation.

Stratigraphic analysis allows the following sequence of climatic-vegetational events to be reconstructed: for the time between 5,000 and 3,800 ¹⁴C years before (yrs ¹⁴C B.P.), the non-aroboreal record, mainly comprised of xerophylic herbs (Compositae and Gramineae), associated predominately with sands, suggest arid conditions. High percentages of sedges, other swamp vegetation, and macroremains of the aquatic fern *Azolla filiculoides*, suggest a local development of a pioneerring swamp vegetation, probably associated with stream damming by dunes developing during this time. There are no modern analogs for this vegetation as none of the modern pollen rain samples

corresponds to the fossil pollen from this time period, according to Correspondence Analysis.

Starting 3,800 ^{14}C yrs B.P., herbaceous and bog vegetation is replaced by the arboreal indicators, mainly *Luma chequen* (Myrtaceae), associated with limnic organic sediments, deposited under wetter climatic conditions than the previous phase. Beginning at this time, these swamp forests have remained during most of the late Holocene in the study area; practically all the fossil pollen spectra indicate correspondence with modern pollen rain analogues from within the modern swamp forests.

Between 1,900 and 1,500 ^{14}C yrs B.P., an abrupt climatic reversal towards drier conditions is observed, evidenced by the sharp drop in frequency and concentration of all taxa, with arboreal indicators almost completely vanishing, and an increase in Chenopodiaceae associated with clay deposition in the sediment column. The fossil record indicates maximum of non-arboreal pollen at this time and has no modern analog correspondence with the modern swamp forests. Instead, the pollen spectra correlate with those from the modern coastal jaral. After 1,500 ^{14}C yrs B.P. the swamp forest once again becomes prevalent, situation that has been maintained, albeit with minor fluctuations, until today.

Sedimentological and archaeological evidence documented from the study area indicate a chronological correspondence with the climatic-vegetational changes inferred from our stratigraphic analysis. The Quebrada

Quereo sedimentological record indicates deposition of limestones and sands during dry phases and peats associated with swamp vegetation are indicative of wet phases. The patterns of human settlement along the coast of the study area indicate prevalence of opportunistic transitional occupations, during dry phases with herbaceous vegetation, while these become more stable and specialized during wet phases with swamp forest development. Therefore, it is possible that the paleoenvironmental changes recorded at the study area correspond with regional climatic change, as inferred by the good correspondence with other pollen records from coastal Central Chile and with wet indicators (Radiodiscus, peats, glacial advances and colder temperatures), during the phase of arboreal colonization of the study area (3,800 to 1,900 ^{14}C yrs B.P.) along a wide geographical region that spans the coast and Andes of the 3rd, 4th and 5th Regions of Chile.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bosques pantanosos, dominados por las Mirtáceas **petra y chequén** (*Myrceugenia exsucca*, *Luma chequen*), se distribuyen a lo largo del litoral de Chile central-norte, entre Coquimbo y el Maule. Son formaciones vegetales con distribución geográfica discontinua, azonales, restringidas a los hábitats muy higrófilos que se desarrollan en situaciones geomorfológicas particulares, las cuales determinan anegamiento periódico o permanente de los substratos, como por ejemplo en riberas de ríos, fondos de quebradas, cuencas o depresiones interdunarias. Estos bosques han sido estudiados por varios autores (Looser 1944, Caro y col. 1973, Ramírez y col. 1983, 1995, Villagrán 1982, San Martín y col. 1988, 1990, Varela 1981, Villa-Martínez & Villagrán 1997, Le Quesne y col. 1999).

En nuestra área de estudio de la costa de Los Vilos, hemos registrado siete quebradas con bosques pantanosos de **chequén**, la mayoría cercanas al mar y con orientación este-oeste, a saber: El Pangue, Ñague, Agua Amarilla, Quereo, Los Deshechos, Lazareto y Los Poleos (Fig. 1). En esta área, se observa una estrecha asociación entre la geomorfología local y la situación geográfica de las quebradas con bosques pantanosos. En efecto, todas las quebradas se sitúan sobre los suaves relieves de las planicies litorales, generalmente asociadas a sistemas de dunas activas y con cuencas hidrográficas pequeñas. La zona de recarga de la napa subterránea está determinada por el fuerte relieve de los



Foto 2: Chequén (*Luma chequen*)



Foto 1: Canelo (*Drimys winteri*)



cerros costeros adenaños a la planicie, lo cual determina que la hidrología de estos bosques dependa, en gran medida, de la geomorfología local. Luego, la variabilidad pluviométrica que caracteriza al Norte Chico (Ihl 1991), influiría fuertemente en la dinámica hídrica de los bosques pantanosos.

De acuerdo a antecedentes geomorfológicos y palinológicos disponibles, el desarrollo de bosques pantanosos a lo largo del litoral de Chile central-norte sería muy reciente y habría ocurrido después del último máximo transgresivo del mar, en el Holoceno medio (Caviedes 1972, Castro 1984-85, Villagrán 1982, Villagrán & Varela 1990, Villa-Martínez & Villagrán 1997). Esta incursión marina, ocurrida entre 5.000 y 6.000 años ^{14}C A.P., parece haber sido un factor determinante de los rasgos geomorfológicos actuales, como la planicie litoral más baja y sistemas de dunas asociados. En el área de estudio, se observan tres sistemas de dunas activas, asociadas a quebradas con bosques pantanosos (Fig. 1). El de mayor extensión corresponde a la duna Agua Amarilla, ubicada inmediatamente al norte de la desembocadura del Estero Conchalí y penetrando 2,5 km hacia el interior (Paskoff 1993). Los otros corresponden a dunas de las Ensenadas Ñague y El Negro, frente a bahías donde el viento dominante del suroeste es perpendicular a la línea de costa (Caviedes 1972, Castro 1984-85, Paskoff 1993).

Situaciones geomorfológicas muy parecidas a las que se presentan en quebradas con bosques pantanosos de la costa de Los Vilos, han sido descritas para el área de Quintero, en la costa de Chile Central, entre las coordenadas, $32^{\circ}44'S$ y $32^{\circ}54'S$ (Caviedes 1972, Castro 1984-85, Castro 1987, Andrade &

Castro 1987, Villa-Martínez & Villagrán 1997). En esta área, la vegetación pantanosa de Las Ventanas, Quintero y Santa Julia se desarrolla en depresiones interdunarias, en estrecha asociación con sistemas de dunas. De acuerdo a Caviedes (1972), la formación de la gran duna de Ritoque, al norte de la desembocadura del río Aconcagua, habría ocurrido después del máximo transgresivo del Holoceno medio, debido a una reactivación de los vientos del suroeste. Villa-Martínez & Villagrán (1997), sugieren que la formación de dunas habría determinado el represamiento de esteros en el área, facilitado la formación de lagunas temporales y la colonización de especies vegetales acuáticas, entre 4.500 y 4.000 años ^{14}C A.P. Posteriormente, el relleno de lagunas por vegetación palustre de Vegas de Ciperáceas, habría posibilitado el establecimiento del bosque pantanoso, después de los 2.000 años ^{14}C A.P. En el sector de Los Vilos, el desarrollo de los bosques pantanosos puede tener una edad similar al caso de Quintero, como lo sugieren las evidencias sedimentológicas y palinológicas provenientes del sitio arqueológico de Quebrada Quereo (Villagrán & Varela 1990), que muestra un mayor desarrollo de turbas y aumento de taxa acuáticos y palustres, alrededor de los 2.420 años ^{14}C A.P.

Desde una perspectiva más integradora, intensivas investigaciones arqueológicas en la región de Los Vilos (Núñez y col. 1977, Núñez y col. 1994, Jackson & Seguel 1994, Jackson y col. 1996, Jackson 1997, Baez y col. en prensa), dentro del rango de los últimos 12.000 años ^{14}C A.P., nos brindan la posibilidad de estudiar la vinculación entre el desarrollo de la vegetación y las

ocupaciones humanas en el área. Así por ejemplo, los estudios realizados en Quebrada de Quereo, muestran cuatro niveles culturales. Los dos más antiguos documentan ocupaciones paleoindias (11.600 años ^{14}C A.P. y entre los 11.100 y 9.370 años ^{14}C A.P.), seguidas por registros correspondientes al período Arcaico tardío (2.475 años ^{14}C A.P.) y período Agrocerámico, entre 1.280 y 985 años ^{14}C A.P. (Núñez y col. 1994). Adicionalmente, se han prospectado más de 200 sitios arqueológicos en el área (Jackson & Seguel 1994), algunos correspondientes a ocupaciones del Arcaico, fechadas entre los 10.120 y 2.770 años ^{14}C A.P. (Jackson y col. en prensa, Báez y col. en prensa), y otras al Alfarero, datadas entre los 1.110 a los 1.470 ^{14}C D.C. (1997). La investigación arqueológica permite establecer dos patrones de asentamientos de los grupos cazadores-recolectores del área, durante los últimos 10.000 años ^{14}C A.P. (Jackson 1997). El primer patrón, durante los lapsos entre 10.000 y 9.000 años ^{14}C A.P. y entre 4.000 y 1.850 años ^{14}C A.P., se caracteriza por ocupaciones estacionales, pero con permanencias de larga duración. El segundo patrón, entre 6.700 a 4.000 años ^{14}C A.P. y con posterioridad a los 1.850 años ^{14}C A.P., representa ocupaciones humanas de corta duración en el área. Estos resultados nos permitirán investigar la posibilidad de correlaciones entre estos patrones ocupacionales y la historia de la vegetación y del clima del área de estudio.

Finalmente, y desde la perspectiva de la historia del paleoclima a una escala espacial más amplia, nos parece de gran importancia el intentar la búsqueda de eventuales correlaciones entre los cambios vegetacionales y

climáticos locales de la costa de Los Vilos, con las evidencias paleoclimáticas provenientes de la 3ª, 4ª y 5ª Regiones de Chile. Desde esta perspectiva, nuestro territorio de estudio situado en la 4ª Región es una área climática clave, ya que corresponde a la transición entre las zonas mediterránea y árida de Chile, hecho que le confiere una gran sensibilidad para monitorear cambios pasados de clima y vegetación en nuestro país. Numerosos autores han documentado la variabilidad climática actual y pasada que caracteriza la 4ª región (Ihl 1991, Romero y col 1988, Dowing y col 1994). En una escala temporal más amplia, Ortlieb (1995), reconstruyó las variaciones asociadas a ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), durante los dos últimos siglos en Chile central y Norte Chico, destacando que estos fenómenos constituyen la primera causa de la variabilidad interanual de las precipitaciones. En una escala de milenios, la región se ha caracterizado también por una notable variabilidad climática, durante todo el Holoceno. Así, por ejemplo, sobre la base de evidencias geomorfológicas y paleopedológicas, Veit (1991) ha establecido y fechado para el Holoceno, la ocurrencia de una serie de fases secas y húmedas. En los Andes del Norte Chico, sobre la base de estudios sedimentológicos, Grosjean y col. (1996), han determinado una serie de fluctuaciones en las precipitaciones en el mismo período. Otros indicadores paleoclimáticos, como los micromoluscos rescatados de depósitos arqueológicos de la costa de Los Vilos, indican también aumentos de humedad en ciertos períodos del Holoceno (Jackson y col. 1999, Ms en preparación). Las hipótesis paleoclimáticas formuladas para explicar los mecanismos

responsables de estas fluctuaciones, se refieren, básicamente, a desplazamientos del sistema de los vientos predominantes del oeste y/o variaciones en la frecuencia e intensidad de los eventos ENOS.

En síntesis, la presencia de bosques pantanosos en el área de estudio, con potentes acumulaciones de sedimentos orgánicos en sus suelos, brinda una excelente oportunidad para investigar, sobre la base de análisis de polen fósil, la historia de la vegetación local. Además del polen, otros paleoindicadores contenidos en las mismas columnas estratigráficas estudiadas palinológicamente, como los tipos de sedimentos, partículas de carbón y macrorestos vegetales, además de las numerosas evidencias arqueológicas existentes en el área de estudio, nos permitirán hacer inferencias acerca de los cambios locales del clima litoral de la 4ª Región y su relación con la acción humana. A una escala espacial más amplia, la eventual correlación cronológica de nuestros resultados con las evidencias paleoclimáticas publicadas para Chile central-norte nos permitirían intentar también algunas inferencias acerca de los posibles mecanismos de los cambios climáticos registrados.

3.2. HIPÓTESIS

Si el periodo más seco y cálido del Holoceno medio, correspondiente al máximo transgresivo del mar entre 6.000 y 5.000 años A.P., fue seguido de una serie de fases secas y fases húmedas, documentadas por distintas líneas de evidencias paleoclimáticas procedentes del área de estudio y de la región, se esperaría poder inferir estas fases en nuestros registros estratigráficos, sobre la base de las siguientes hipótesis específicas:

1. Durante las fases húmedas, se desarrollaría una vegetación más higrófila, con mayor cobertura y dominancia de especies leñosas, equivalentes a los bosques pantanosos y matorrales densos actuales. En contraste, durante las fases secas se desarrollaría una vegetación más rala y oportunista, con predominio de matorrales y formaciones abiertas de herbáceas. Luego, los espectros polínicos fósiles deberían mostrar correspondencia con los análogos actuales provenientes de estas formaciones vegetales.
2. Otros indicadores paleoclimáticos, contenidos en los sedimentos analizados, deberían mostrar tendencias de cambio concordantes con los cambios de la vegetación.
3. Si los patrones de asentamiento (permanente versus transitorio) de los grupos humanos costeros del área de estudio están directamente relacionados con los cambios paleoecológicos ocurridos en el área, deberían mostrar correspondencia cronológica con los cambios climático-vegetacionales documentados en nuestros registros.
4. Si los cambios paleoambientales registrados en el área de estudio fueron determinados por cambios climáticos regionales, a una mayor escala espacial, las fluctuaciones vegetacionales registradas, sobre la base del análisis de polen de los sedimentos de las formaciones pantanosas estudiadas, deberían mostrar correspondencia cronológica con las evidencias paleoclimáticas publicadas para la región de Chile central-norte.

3.3. OBJETIVOS

Objetivo General

Inferir la historia climático-vegetacional de la costa de Los Vilos, durante el Holoceno medio y tardío, sobre la base del análisis microscópico de indicadores paleoclimáticos contenidos en columnas estratigráficas, obtenidas en bosques pantanosos de Mirtáceas, y su correlación con las evidencias paleoambientales documentadas para el área de estudio y la región.

Objetivos Específicos

- 1) Establecer análogos modernos para la interpretación de los registros de polen fósil, sobre la base del análisis de la relación entre el polen atmosférico y la vegetación actual, considerando tanto los bosques pantanosos, como otras formaciones no boscosas presentes en el litoral de la región.
- 2) Reconstruir la historia de la vegetación y el clima del área de estudio, sobre la base del análisis estratigráfico del polen fósil, sedimentos, macrorestos vegetales y carbón, contenidos en columnas de sedimentos extraídas en los bosques pantanosos.
- 3) Relacionar la historia paleoecológica, localmente establecida, con las evidencias geomorfológicas, paleoclimáticas y arqueológicas existentes para el área de estudio y la región.

3.4. AREA DE ESTUDIO

3.4.1. Geomorfología

El área de estudio corresponde al sector del territorio nacional llamado "Norte Chico", caracterizado por la presencia de dos grandes unidades

geomorfológicas, las planicies litorales fluviales y marinas, en la costa, y una región montañosa en la cual no existe una Depresión Intermedia continua ni bien conformada (Börgel 1965). En el litoral de Los Vilos, destacan los siguientes rasgos geomorfológicos: planicies litorales, terrazas de abrasión marina, terrazas fluviales de inundación, sistemas de dunas, la Cordillera de la Costa y acantilado costero (ver Fig. 1). A continuación, se describen brevemente estos rasgos.

Las planicies costeras alcanzan grandes extensiones y se han originado por abrasión o sedimentación marina y fluviomarina. En la desembocadura de quebradas importantes, estas planicies se extienden ampliamente, por ejemplo, en las desembocaduras de los ríos Los Choros, Elquí y Limarí, al norte del área de estudio. Con menor potencia, se desarrollan también entre Quebrada Mata Gorda y Playa Agua Amarilla, al norte de Los Vilos (Fig. 1) (Börgel 1965).

De acuerdo a Paskoff (1993), existen en la costa del Norte Chico tres terrazas de abrasión marina: (i) Una terraza alta, situada entre 130-140 y 90-100 msnm, llamada *Sereniense I* (Cuaternario temprano). (ii) Una terraza intermedia, llamada *Herraduriense I* (Cuaternario medio), ubicada entre los 35-40 a 15-20 msnm y separada de la anterior por un escarpe abrupto (Paskoff 1993). (iii) Una terraza baja (Cuaternario reciente a Holoceno), situada a una altura de 5 a 7 msnm, denominada *Cachaguiense - Veguiense* (Varela 1981, Paskoff 1993). Esta última terraza tiene poco desarrollo en el litoral de Los Vilos y aparece sólo en pequeños sectores al sur del pueblo (Varela 1981). Las tres terrazas limitan al este con la Cordillera de la Costa.

La formación fluvial más importante en el área de estudio corresponde al Estero Conchalí, ubicado 4 km al norte de Los Vilos. Corresponde a un curso de agua pequeño (50 km de longitud), con un caudal débil, que termina en una pequeña laguna frente al mar, con desagüe subterráneo (Paskoff 1993). A pesar de que el Estero Conchalí es modesto, en su curso inferior se ha desarrollado una terraza fluvial de una extensión considerable, la que se habría generado en una etapa inicial de evolución del estero (Prieto 1995-96). A lo largo de la costa existen varias otras pequeñas quebradas, con cursos intermitentes de agua, que disectan las planicies costeras desembocando en el mar.

La unidad geomorfológica más destacada en la zona, la constituyen los grandes sistemas de dunas. Como se dijo en la introducción, las dunas se desarrollan frente a bahías situadas al norte de las desembocaduras de ríos, donde el viento dominante es perpendicular a la línea de costa (Caviedes 1972, Castro 1984-85, Paskoff 1993). Al norte de Los Vilos, se sitúa una de las tres dunas activas de mayor extensión del Norte Chico, la duna de Agua Amarilla (Fig. 1) (Paskoff 1993), ubicada inmediatamente al norte de la desembocadura del estero Conchalí y penetrando 2,5 km hacia el interior. Esta duna parece haber tenido al menos cuatro eventos de depositación distintos (Prieto 1996-97). En el presente, la duna Agua Amarilla indica una dirección de los vientos desde el sur-suroeste (Rivano y Sepulveda 1991). Otros sistemas de dunas, de menor desarrollo, se encuentran en el sector de Ñague, entre Quebrada Ramadilla y Los Vilos y en la Bahía El Negro (Fig. 1) (Prieto, 1995-96). Algunas

corresponden a paleodunas, reactivadas o removilizadas eólicamente (Varela 1981, Castro 1984-85, Paskoff 1993, Prieto 1996-97).

En el sector sur del área de estudio, en Quebrada El Negro, la Cordillera de la Costa puede alcanzar alturas sobre los 1.000 msnm. Otra característica de este sector sur es que, el borde occidental de las planicies, termina en un acantilado costero, que se extiende hasta el pueblo de Los Vilos y desaparece entre Los Vilos y Quebrada Agua Amarilla. El acantilado costero reaparece nuevamente, desde Caleta Ñague hacia el norte, como consecuencia del levantamiento tectónico del bloque situado al norte del estero Agua Amarilla (Fig. 1).

3.4.2. Clima

La región del Norte Chico corresponde a una transición climática entre la zona árida, del Norte Grande, y mediterránea de Chile central. De acuerdo a Van Husen (1967), se la puede definir como una región semiárida-mediterránea, caracterizada por veranos secos e intervalos esporádicos de sequías también en invierno. Di Castri & Hajek (1976) la han clasificado como una zona con clima subdesértico. Las precipitaciones en el Norte Chico, en general, se presentan entre Mayo y Octubre, con mayores montos pluviométricos en Julio. La escasez de precipitaciones se debe, principalmente, a la presencia casi permanente del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS), frente a las costas a esa latitud (Aceituno y col. 1990). La influencia permanente de altas presiones en la región son determinadas, en parte, por las temperaturas anormalmente bajas del océano Pacífico, a causa de la surgencia

de aguas frías de la corriente de Humboldt (Almeyda & Saez 1958, Aceituno 1988).

El predominio anticiclónico, en la costa del norte de Chile, determina una serie de características atmosféricas, tales como alta radiación incidente, transparencia atmosférica, sequedad del aire y existencia de zonas de inversión térmica (Ihl 1991, Romero & Rivera 1991). Estas últimas zonas son producto de la alta subsidencia atmosférica, generada por el ASPS, hecho que determina que la temperatura no disminuya sino que aumente con la altura. Fuera de la zona de inversión térmica, ocurre el descenso normal de la temperatura con la altura. En la zona costera, la presencia de la capa de inversión térmica se manifiesta en la mantención de las masas de aire, provenientes del mar, en los niveles inferiores de la atmósfera, impidiendo su mezcla con la masas de aire que se sitúan sobre el nivel de inversión térmica. Este hecho se traduce en la formación de fuertes neblinas costeras. La capa de inversión térmica varía estacionalmente, siendo en el verano algo más gruesa que en el invierno. En el valle del Choapa, la capa de inversión térmica desciende hasta 100 msnm, durante el invierno (Ihl 1991).

En la tabla 1 se muestran los datos de temperaturas máxima, mínima y promedio, así como las precipitaciones, en diferentes estaciones a lo largo de un gradiente longitudinal y latitudinal, en la región del Norte Chico.

De los datos presentados en la tabla 1 se desprenden algunas tendencias climáticas para el Norte Chico. En un gradiente latitudinal se

Tabla 1: Datos climáticos del área de estudio (30-33°S)

Estación	Altitud Msnm	Latitud °S	Longitud °W	T° Max. °C	T° Min. °C	T° Prom. °C	Pp. (mm)
La Serena	32	29°54'	71°15'	22,8	8,2	14,8	128,5
Punta Tortuga	25	29°55'	71°22'	20,8	9,2	14,7	102,6
Puerto Oscuro	140	31°27'	71°36'	-	-	-	196,1
Los Vilos	30	31°55'	71°32'	21,2	3,9	13,9	242,6
Zapallar	30	32°33'	71°30'	22,6	8,4	14,2	384,3
Quintero	2	32°47'	71°32'	20,7	5,2	13,9	281,6
Los Condores	200	32°07'	71°19'	26,2	6,7	15,6	-
Illapel	290	31°41'	71°10'	29,3	4,9	15,6	-
Limahuida	295	31°45'	71°10'	-	-	-	180
Huntil	650	31°34'	70°59'	-	-	-	241
Coiron	840	31°54'	70°46'	-	-	-	366
Tranquilla	975	31°57'	70°39'	30,3	5,9	16,9	250
San Agustín	1280	31°44'	70°51'	-	-	-	255

*Para el periodo comprendido entre 1971-1981.

observan temperaturas homogéneas, en este mismo sentido, se ve que la amplitud térmica es baja. En un gradiente este-oeste, las temperaturas también son bastante homogéneas, sin embargo la amplitud térmica aumenta hacia el interior del continente. De la misma tabla 1 se observa que las precipitaciones aumentan de norte a sur. En un gradiente altitudinal se encuentra un máximo de

precipitaciones entre los 600 a 800 msnm, producto del efecto orográfico del relieve.

Otra característica importante de las precipitaciones de Chile central-norte es su variabilidad interanual. Los extremos de la variabilidad interanual en el Norte Chico se manifiestan entre años muy lluviosos y años muy secos. Años muy lluviosos ocurren cada 20 o 30 años. Sequías prolongadas (de tres a seis años seguidos) se presentan, al menos, una vez cada década (Ihl 1991). Las situaciones extremas de variabilidad interanual, en muchos de los casos, se asocian a eventos El Niño y La Niña. Los eventos El Niño están asociados a un aumento pluviométrico en Chile central y Norte Chico, durante el invierno. Paralelamente, una disminución de la surgencia de aguas frías en la costa Pacífica, determina un aumento de las temperaturas oceánicas superficiales (Aceituno 1990), hecho que a su vez, favorece una mayor evaporación y contribuye al aumento de las precipitaciones (Ihl 1991). En el Norte Chico, durante los años de El Niño, se registran crecidas invernales en los caudales de los ríos, determinados por las lluvias cálidas sobre la nieve acumulada en la cordillera y por el adelanto de la fusión de las nieves en primavera (Romero & Rivera 1991). Durante los eventos La Niña, ocurren situaciones opuestas a las descritas. En Chile, se manifiestan a través de temperaturas superficiales del mar anormalmente bajas y un aumento de la surgencia de aguas frías en la costa. Estos factores se traducen en un robustecimiento del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y en un déficit pluviométrico en Chile central y Norte Chico (Aceituno 1990).

3.4.3. Selección de sitios de estudio

Los sitios de estudio de esta tesis se sitúan en el litoral de la zona de Los Vilos y el centro de interés lo constituyen los bosques pantanosos localizados entre las quebradas El Pangué ($31^{\circ} 47' S, 71^{\circ} 28' W$), por el norte, y El Negro ($31^{\circ} 58' S, 71^{\circ} 28' W$), por el sur (Fig. 1). En este sector hemos registrados la presencia de siete bosques pantanosos, todos situados en sectores puntuales de las quebradas, los cuales se muestran y nombran en la Fig. 1. Varela (1981) documenta, para la Quebrada Quereo cercana a Los Vilos, que un sistema de fallas geológicas dio origen a una fosa tectónica, actualmente cubierta por depósitos Cuaternarios. La existencia de esta fosa es la que permitiría el almacenamiento de aguas subterráneas, las cuales afloran en el sector del bosque pantanoso de Quereo, permitiendo el mantenimiento de especies palustres y acuáticas. Muchas otras quebradas en la zona, tienen escurrimiento de aguas intermitentes, posiblemente debidos a afloramientos de la napa subterránea similares a Quebrada Quereo.

Para el estudio estratigráfico de esta tesis, se seleccionó el bosque pantanoso de Quebrada Ñague (foto 3), ubicado 9 km. al norte de la ciudad de Los Vilos (Fig. 1), porque reúne características bastante interesantes para nuestros objetivos, a saber: Es la única Quebrada que tiene bosques pantanosos de **chequén** en toda su extensión, por lo tanto el área pantanosa corresponde a la mayor del área. Se sitúa sobre una terraza marina alta, cubierta por depósitos eólicos, terraza correspondiente al *Sereniense I* de la cronología de Paskoff (1993). El bosque está situado al norte de la Ensenada



Foto 3: Bosque de Ñague, panorámica tomada sobre la duna de Ñague.



Foto 4: Interior del bosque de Ñague, en el sitio ÑI.

de Ñague, en una depresión interdunaria muy poco profunda, con una topografía casi plana, conformando una cuenca hidrográfica extremadamente pequeña que, sin embargo, mantiene durante casi todo el año sectores inundados. La presencia de una falla, al sureste de la quebrada, separa el sistema hidrográfico de Quebrada Ñague del correspondiente al sector de Agua Amarilla. El resultado es el desarrollo de una hondonada, donde aflora el agua y se acumula la máxima potencia de sedimentos orgánicos, además de la existencia de una franja continua de la formación pantanosa que nos interesa. El bosque tiene una orientación sur-norte, a manera de un cinturón paralelo a la costa, extendiéndose desde la Ensenada Ñague (sitio Ñague III), hasta la carretera Panamericana. En su extremo norte, la carretera Panamericana divide el bosque en dos sectores (sitios Ñague II y I, foto 4). Una planicie, de unos 100 m de extensión, separa el extremo sur del bosque de una duna activa, que tiene la misma orientación que el bosque (Duna Ñague, Fig. 1).

4. METODOLOGÍAS

4.1. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

Como la distribución de los bosques pantanosos, en la costa de Los Vilos, es discontinua, se realizaron muestreos de vegetación en seis de los siete manchones discretos de bosque localizados en las quebradas del área de estudio (ver Fig. 1). El muestreo consistió en transectos, de 100 metros de longitud, en los cuales se registraron todas las especies presentes, a intervalos de un metro (método de "intercepto de puntos", Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). Los transectos consideraron, separadamente, los estratos arbóreo (>2 m de altura) y arbustivo (<2 m de altura). En los casos en que habían sectores con suelos inundados, se realizaron transectos adicionales, también con 100 puntos, para el registro de las especies acuáticas y palustres. Con estos datos, se calcularon los porcentajes de frecuencias relativas de cada especie, con respecto al número total de registros de especies a lo largo del transecto. Como puede existir superposición de taxa en los puntos del transecto, este total es diferente a 100 (ver tablas 2 y 3). Se ha privilegiado este valor de importancia, porque muestra una mejor correlación con los valores de frecuencias polínicas de la atmósfera y de los sedimentos de las columnas estratigráficas.

Se realizaron muestreos complementarios en áreas representativas de cada una de las otras cuatro formaciones vegetales no boscosas, presentes en la región (Fig. 1): vegetación de dunas, vegetación de marismas, jaral costero y matorral mixto. Tanto en el matorral costero como en las dunas, con vegetación

de escasa cobertura, se muestrearon cuadrados (4 m^2), tamaños calculados mediante el método del área mínima (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). En cada cuadrado se midió el largo y el ancho de cada individuo y, con estos datos, se calculó el porcentaje de cobertura de cada especie. En las otras dos formaciones vegetales (matorral mixto y marismas), con vegetación muy densa, se usó el mismo método de 'intercepto de puntos' aplicado a los bosques pantanosos. Estos muestreos de la vegetación pantanosa y no pantanosa fueron usados como análogo modernos, en la interpretación de los diagramas de polen. A continuación, se especifica el número de censos realizados para cada tipo de vegetación no pantanosa del área de estudio.

1) Vegetación de dunas: Se realizaron 10 muestreos, en la duna de Agua Amarilla, abarcando tanto zonas periféricas como centrales de la formación. 2) Vegetación de matorral mixto: Se efectuó un transecto de 100 puntos, en Quebrada Agua Amarilla. 3) Jaral costero: Se realizaron 10 parcelas, en el sector costero comprendido entre Quebrada Quereo y Loma La Cachina. Adicionalmente, se trazó un transecto de 100 puntos, en un sector cercano a la Laguna Conchalí. 4) Vegetación de marismas: Se realizaron 3 transectos, de 100 puntos cada uno, en la Laguna de Conchalí, considerando separadamente las franjas de plantas acuáticas, palustres y praderas de Chenopodiáceas.

4.2. RELACIÓN VEGETACIÓN - LLUVIA DE POLEN

En tres de los sitios con bosques pantanosos muestreados vegetacionalmente, se tomaron muestras del suelo superficial, usado como captador del polen de la atmósfera. Se colectaron cinco réplicas de suelos por

transecto, usando un cilindro de 95 cm³. Para las restantes formaciones vegetales no pantanosas, se obtuvieron tres replicas de suelo superficial por unidad de vegetación. Submuestras de 3 cm³ de suelo, fueron desmineralizadas en el laboratorio con KOH, HF y acetólisis, de acuerdo al método de Faegri & Iversen (1989). Los granos de polen fueron determinados y contados al microscopio, considerando una suma básica de 300 por cada muestra de suelo (excluyendo de esta suma las especies acuáticas, palustres y helechos). Sobre la base de la suma básica, se calcularon los porcentajes de frecuencia de polen de cada taxon.

Para analizar el grado de similitud entre las muestras de polen y las de vegetación actual, se utilizó la medida de distancia euclidiana, es decir, la distancia entre muestreos en un espacio multidimensional, de acuerdo al teorema de Pitágoras:

$$D_{(j,k)} = (\sum (X_{ij} - X_{ik})^2)^{1/2}$$

Siendo D la distancia entre j y K, dos muestras cualquiera. La distancia euclidiana mide el grado de disimilitud, el que va de cero (máxima similitud) a infinito (Pielou 1984). Los resultados se muestran en forma de dendrogramas de distancia, la unión entre grupos se realizó utilizando los promedios. La distancia euclidiana es representada en una escala porcentual de disimilitud, asumiendo que el 100 % corresponde a la mayor distancia registrada entre los grupos. Para interpretar los espectros polínicos fósiles, se relacionaron con sus

análogos de la lluvia de polen actual, sobre la base un análisis de componentes principales.

4.3. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO

Las columnas estratigráficas de los suelos de los bosque pantanosos se obtuvieron, en el tramo inicial (columna Ñague I), intermedio (columna Ñague II) y desembocadura (columna Ñague III) de Quebrada Ñague, utilizando Sonda de Dachnowsky y Sonda Rusa (ver Fig. 1). Con la primera sonda, se tomaron testigos superpuestos, utilizando tres hoyos cercanos entre sí. Con la Sonda Rusa se obtuvieron columnas continuas, extraídas de un solo orificio. El análisis de los sedimentos consideró textura, color y proporción de materia orgánica, usando la Tabla de Munsell (1994) y radiografías con rayos-x, estas últimas para establecer los límites entre los estratos de distintos sedimentos y facilitar la descripción de la columna estratigráfica. A lo largo de las columnas de sedimentos, se extrajeron muestras de 3 cm³, para análisis de polen, a intervalos que fluctuaron entre 2 y 5 cm. El procesamiento químico y el recuento microscópico de polen se realizó con los mismos métodos descritos para la lluvia de polen. Adicionalmente, debido a que las muestras contenían mucho detrito inorgánico, también se filtraron con ultrasonido. Para el análisis de las concentraciones polínicas, antes de iniciar el tratamiento químico, se agregaron a las muestras tabletas con esporas de *Lycopodium* (2 tabletas por 3 cm³ de sedimento), taxon usado como marcador alóctono. Los valores de concentración de cada taxa polínico fueron calculados sobre la base de la siguiente igualdad (Stockmarr 1971):

$$\text{Cc polen} = \frac{\text{granos de polen fósil contados} \times \text{total de granos del marcador}}{\text{granos de } \textit{Lycopodium} \text{ contados}}$$

Las variaciones de las frecuencias polínicas versus la profundidad de las muestras se graficaron con el programa Tilia (Grimm 1992). Un análisis de conglomerado, realizado con el mismo programa Tilia, permitió establecer los límites de las zonas y fases polínicas en el diagrama de polen (intervalos de sedimentos caracterizados por espectros polínicos singulares y característicos).

En los mismos niveles estratigráficos donde se analizaron los granos de polen, se contaron micropartículas de carbón, considerando dos clases de tamaños; $< 60 \mu\text{m}$ y $> 60 \mu\text{m}$. Los resultados de este análisis se presentan como concentraciones de partículas y fueron hechos con la misma metodología empleada para el cálculo de las concentraciones polínicas. Adicionalmente, a través de observación con la lupa, se rescataron de los sedimentos otros macrorestos vegetales y animales, principalmente trozos de vegetales carbonizados y megasporangios del helecho acuático *Azolla filiculoides*.

Los sedimentos correspondientes a los cambios más importantes en la composición polínica, fueron fechados mediante técnicas de radiocarbono, realizadas en el laboratorio Beta Analytic Inc. (U.S.A.). Los fechados obtenidos para la columna Ñague III son: Beta N° 118854 AMS, 1.470 ± 50 ; Beta N° 118855 AMS, 3.870 ± 40 y Beta N° 107118 standard, 4.890 ± 150 . Para

correlacionar la edad de los sedimentos de esta columna estratigráfica con las otras columnas barrenadas (Ñague I y II), se realizó un fechado adicional, en la columna Ñague I, entre 62 y 60 cm de profundidad, el cual está pendiente. Sobre la base de las tres dataciones obtenidas en la columna Ñague III, se extrapolaron las edades de eventos de cambio polínico abrupto en los registros, mediante regresiones lineales. Sin embargo, considerando la heterogeneidad de los sedimentos, las tasas de sedimentación podrían ser diferentes, de acuerdo al tipo de sedimentos. Por ello, se consideraron, adicionalmente, eventos sincrónicos documentados en la literatura para precisar los tiempos interpolados.

5. RESULTADOS

5.1. FLORA Y ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN

La formación vegetal dominante, en las planicies costeras de la zona de Los Vilos, corresponde a un matorral de baja cobertura, caracterizado por la abundancia de arbustos, como *Baccharis concava* y *Schinus polygamus*. En las quebradas, que atraviesan las planicies costeras, generalmente en sentido este-oeste (Fig. 1), domina la vegetación arbórea y un matorral arborescente. La vegetación de quebradas contrasta fuertemente con el jaral costero, por su gran cobertura y biomasa, gracias a la humedad que aportan las masas de aire oceánico, las neblinas y la escorrentía proveniente del abrupto relieve adyacente. En pequeños sectores de estas quebradas se desarrollan manchones de bosques pantanosos, en los sectores donde la napa freática se acerca a la superficie y afloran aguas subterráneas (Varela 1981). Este tipo de bosques tiene carácter azonal, edáfico, y una amplia distribución discontinua a lo largo de la costa de Chile central y Norte Chico, donde se dan las condiciones geomorfológicas descritas. Los bosques pantanosos del Norte Chico corresponden a la asociación *Drimys-Myrceugenella chequen*, y los de Chile central, a la asociación *Drimys-Myrceugenia exsucca* (Villagrán 1982). Se caracterizan por su gran cobertura de follaje y baja diversidad arbórea; en general, son monoestratificados y presentan suelos anegados estacionalmente, en algunos sectores de su interior. A excepción de Quebrada Ñague, con desarrollo de bosques higrófilos en toda su extensión, las formaciones

pantanosas se localizan en áreas muy restringidas a lo largo de las quebradas, en los sectores donde confluye el agua de escorrentía y la napa subterránea se acerca o aflora a la superficie.

Considerando la fisionomía general de la vegetación, es posible reconocer en área de estudio las siguientes formaciones: bosques, matorrales, vegetación de dunas y formaciones herbáceas de humedales (vegas y marismas). En las Tablas 2 y 3, se muestran los porcentajes relativos de frecuencia, estratificación por especies y formas de vida de las distintas formaciones vegetales reconocidas para el área, sobre la base del muestreo de la vegetación en los sitios señalados en la Fig. 1. En general, y de acuerdo a la hipótesis, se muestrearon, separadamente, dos grandes unidades: boscosas y no boscosas. En la Tabla 2, se presentan los datos de vegetación obtenidos para las formaciones boscosas: bosques pantanosos, esclerófilos y mixtos. En la Tabla 3, se muestran los datos de la vegetación no boscosa: formaciones de dunas, jaral costero y marismas. Sobre esta base (Tablas 2, 3), se describen a continuación las formaciones vegetales del área de estudio.

Bosques pantanosos: estos bosques se ubican en quebradas, cercanas al mar, y en pequeñas depresiones a lo largo de las planicies litorales. De norte a sur, los bosques estudiados se sitúan en las siguientes quebradas: El Pangué, Ñague, Mal Paso, Quereo, Los Desechos y Los Poleos (Fig. 1). Corresponden a bosques más densos que las restantes formaciones arbóreas, restringidos a sectores donde aflora agua de la napa. El dosel arbóreo puede alcanzar hasta 12 m de altura y está compuesto por especies siempreverdes, siendo también

frecuentes las enredaderas y las hemiparásitas. En los lugares con dosel arbóreo muy cerrado, el estrato arbustivo es escaso. Hacia la periferia del bosque, o en claros, los arbustos aumentan. Los sectores con cursos de agua de baja energía o con substratos anegados, presentan abundantes especies acuáticas y palustres. En la tabla 2, se muestra la composición florística de los bosques pantanosos muestreados. Para el estrato arbóreo, las frecuencias relativas son elevadas para la Mirtácea *Luma chequen* (20 - 39%), la especie arbórea característica de todos los bosques pantanosos de la zona; otras especies importantes y frecuentes son: *Drimys winteri* (3 - 25%), *Escallonia revoluta* (3 - 41%), la enredadera *Cissus striata* (5 - 14%). Entre los elementos arbóreos de carácter algo más xérico de la formación, destacan *Maytenus boaria* (hasta 29%) y *Schinus latifolius* (3 - 33%). En el estrato arbustivo, predominan renovales de especies arbóreas, como *Luma chequen* (16 - 76%) y *Drimys winteri* (9 - 37%), y los arbustos *Cestrum parqui* (5 - 49%) y *Eupatorium glechonophyllum* (5 - 11%). En los sectores anegados, las especies acuáticas y palustres más frecuentes corresponden a *Juncus cyperoides* (100%), *Lemna* sp. (44%), *Veronica anagallis-acuatica* (44%), *Azolla filiculoides* (30%) y *Scirpus cernuus* (29%).

Bosques Esclerófilos: Este tipo de bosque se ubica en fondos de quebradas profundas, con escurrimiento de agua superficial estacional e intermitente. Esta compuesto por especies, en su mayoría, siempreverdes, correspondiendo las formas de vida dominantes a fanerófitas, tanto arbóreas como arbustivas. Son importantes, en los sectores de bosques más denso, las enredaderas y

Tabla 2: Porcentajes de frecuencias relativas de taxa en los bosques de la región de Los Vilos

TIPOS DE BOSQUES	PANTANOSOS DE CHEQUEN Y CANELO																		ESCLERÓFILO		MIXTO	
LOCALIDADES	El Pangue			Ñague I				Ñague III		Mal Paso		Quereo		Desechos		Poleos		El Negro		Mal Paso		
TOTAL DE REGISTROS/100 m	149	80	198	148	53	41	101	107	73	162	121	138	81	131	39	158	45	111	38	28	102	
ALTITUD (M.S.M.)	20	20	20	75	75	75	75	50	50	80	80	30	30	70	70	110	110	60	60	90	90	
ESTRATOS (*)	A	Ar	P/Ac	A	Ar	P	Ac	A	Ar	A	Ar	A	Ar	A	Ar	A	Ar	A	Ar	A	Ar	
ARBOLES																						
Luma chequen	34	40		41	47			23	16	20	18	22	25	33		39	76	6	3			
Drimys winteri				3	11			25	19	25	30	9	9	20	37							
Escallonia revoluta	3			41	8									3	5			1				
Rhaphithamnus spinosus				5	13				1													
Escallonia pulverulenta								7	15			15	2	3								
Aristotelia chilensis				4	2			1														
Citronella mucronata														6								
Pouteria splendens														5	5							
Maytenus boaria	7			1				7	11	22	4	4	1			29	7	13	8			
Azara celastrina	5	5						4	1	2	1	4	1	5	10	3		8	3		1	
Schinus latifolius	9	6								4	3	33	4	3		9	4	25	13	25	3	
Cryptocarya alba										4	7			3	21				3			
Lithrea caustica	19	21						4			5							5			15	
Peumus boldus	4	4						8	4	3				12	5			6	11			
Kageneckia oblonga																		10	3			
Myrceugenia exsucca																		14	11			
ENREDADERAS Y HEMIPARÁSITAS																						
Cissus striata	6	5		5	11			9	10	13	9	6	4	6		14	4	2				
Tristerix tetrandus	3	3										1				3		2				
Dioscorea sp.																				16		
ARBUSTOS																						
Cestrum parqui	3	5						6	10	1	6	7	49			5	3	9		13		
Eupatorium glechonophyllum	5	11						2	7	1	8		5		10							
Senna stipulacea								5	5					2								
Adenopeltis colliguaja										3	7											
Fuchsia lycioides	2									1	2							5		25	11	
Baccharis sp.																		2	18			
Adesmia arborea																		1		39	6	
Baccharis concava																				11	31	
Bahía ambrosioides																					25	
Puya chilensis																					8	
HIERBAS ACUÁTICAS Y PALUSTRES																						
Azolla filiculoides			30																			
Scirpus cernuus			29																			
Hydrocotyle sp.			17																			
Especie desconocida 1			16																			
Ludwigia peploides			5																			
Triglochin striata			2																			
Cotula coronopifolia			1																			
Juncus cyperoides						100																
Callitriche sp.							13															
Veronica anagallis-acuatica							44															
Lemna sp.							44															

hemiparásitas. En el estrato arbóreo (Tabla 2), las especies esclerófilas dominantes son *Schinus latifolius* (25%), *Myrceugenia exsucca* (14%) y *Maytenus boaria* (13%); otras especies, con frecuencias menores, son *Kageneckia oblonga* (10%) y *Azara celastrina* (8%). En el estrato arbustivo, dominan *Baccharis sp.* (18%), la enredadera *Dioscorea sp.* (16%), *Cestrum parqui* (13%) y *Schinus latifolius* (13%).

Bosques mixtos: Este tipo de formación se sitúa en las laderas de quebradas, más frecuentemente en las exposiciones hacia el sur (Tabla 2). Corresponde a una formación de matorral arborescente, con mezcla de especies deciduas de verano y siempreverdes, siendo más frecuentes las primeras; las formas de vida más comunes son fanerófitas arbustivas y, en menor grado, arbóreas de poca altura. En el estrato alto, dominan las especies deciduas *Adesmia arborea* (39%) y *Fuchsia lycioides* (25%) y la especie esclerófila siempreverde, *Schinus latifolius* (25%). En el estrato arbustivo, las especies con mayores frecuencias son la siempreverde, *Lithrea caustica* (15%), la semidecidua *Baccharis concava* (31%) y las deciduas *Bahia ambrosioides* (25%) y *Fuchsia lycioides* (11%).

Vegetación de dunas: Este tipo de vegetación se desarrolla sobre campos de dunas activos (Fig. 1). Se caracteriza por la presencia de especies hemicriptófitas y perennes, de poca altura, en general, menores a 50 cm de altura, con sistemas radiculares profundos y bien desarrollados, como el caso de *Ambrosia chamissonis*. Sistemas radiculares superficiales, y un hábito rastrero, lo presenta, por ejemplo, *Carpobrotus aequilaterus*. En general, la formación presenta una cobertura baja (Tabla 3), siendo las especies más

Tabla 3: Porcentajes de frecuencias relativas de taxa de las formacion no arbóreas de la región de Los Vilos

FORMACIÓN VEGETAL	DUNA		JARAL COSTERO		MARISMAS		
	Agua Amarilla	Quereo/L a Cachina	Laguna Conchalí		Laguna Conchalí		
TOTAL DE REGISTROS	45	51	130	58	225	176	194
ALTITUD (M.S.M.)	30	40	2	2	2	2	2
ESPECIES							
<i>Ambrosia chamissonis</i>	17						
<i>Chorizanthe sp.</i>	16	5					
<i>Margyricarpus pinnatus</i>	15	3					
<i>Senecio bahioides</i>	12						
<i>Carpobrotus aequilaterus</i>	10						
<i>Scirpus ellychniarius</i>	10			10			
<i>Erigeron berterianus</i>	9		2				
<i>Phacelia sp.</i>	4						
<i>Oenothera stricta</i>	3						
<i>Adesmia sp.</i>	2						
<i>Schinus polygamus</i>	1	25	46				
<i>Baccharis concava</i>		23	42				
<i>Colletia hystrix</i>		15					
<i>Cristaria glaucophylla</i>		9		5			
<i>Puya chilensis</i>		7	2	3			
<i>Schinus latifolius</i>		6					
<i>Spheralcea obtusiloba</i>		4		2			
<i>Lithrea caustica</i>		2					
<i>Ephedra andina</i>		1	1	2			
<i>Lycium ricardiocladum</i>			5	9			
<i>Tristerix tetrandus</i>			2				
<i>Maytenus boaria</i>			1				
<i>Distichlis sp. 2</i>				55			
<i>Frankenia sp.</i>				7			
<i>Chenopodium sp.</i>				3			
<i>Solanum maritimo</i>				3			
<i>Distichlis sp.1</i>					25	32	10
<i>Sarcocornia fruticosa</i>					43	6	
<i>Triglochin striata</i>					20	26	
<i>Cotula coronopifolia</i>					7	2	
<i>Scirpus californicus</i>					4		
Alga verde						33	52
<i>Potamogeton sp.</i>							39

abundantes *Ambrosia chamissonis* (17%), *Chorizanthe sp* (16%) y *Margyricarpus pinnatus* (15%); otras especies presentes, con porcentajes algo más bajos, son *Senecio bahioides* (12%), *Carpobrotus aequilaterus* (10%), *Scirpus ellychniarius* (10%) y *Erigeron berterianus* (9%).

Jaral Costero: Esta formación se ubica a lo largo de las planicies costeras no invadidas por campos de dunas. Corresponde a una vegetación con fisionomía de matorral, de hasta 1,5 m de altura, con especies principalmente semidecíduas como *Baccharis concava* y *Schinus polygamus*, o áfilas, como *Colletia hystrix*. Dentro de esta formación, las formas de vida más comunes son Caméfitas y Fanerófitas arbustivas; otras formas de vida presentes, pero menos frecuentes, son suculentas tales como *Puya chilensis*. Los porcentajes de cobertura relativa (Tabla 3), muestran la dominancia de *Schinus polygamus* (25 - 46%) y *Baccharis concava* (23 - 42%); otras especies, menos representadas, son *Colletia hystrix* (15%) y *Cristaria glaucophylla* (9 - 5%). Para el estrato bajo (< 50 cm de altura), en el sector de la laguna de Conchalí, las especies dominantes son *Distichlis sp.* (55%) y, en menor porcentaje, *Scirpus ellychniarius* (10%).

Marismas: Esta formación vegetal se ubica junto a cursos de agua dulce, de baja energía, y exhibe una fisionomía herbácea y abierta. La vegetación es baja (< 50 cm de altura), con especies rastreras y, algunas, en roseta. Las formas de vida más comunes corresponden a Terófitas e Hidrófitas. En la Tabla 3, se muestra la estructura de este tipo vegetacional, sobre la base de los tres transectos realizados, en los distintos cinturones de vegetación aledaña al agua

(vegetación acuática, vegetación palustre y pradera de *Sarcocornia fruticosa*). Solamente una especie es común a las tres franjas de vegetación, la gramínea halófito *Distichlis sp1*, siendo menos frecuente en el cinturón acuático. En el cinturón de vegetación más alejado de la fuente del agua, dominan *Sarcocornia fruticosa* (43%) y *Distichlis sp1* (25%). En el cinturón palustre domina un alga verde (33 %), *Distichlis sp1* (32%) y *Triglochin striata* (26%). En el cinturón acuático domina la misma alga verde anterior (52%) y *Potamogeton sp* (39%).

5.2. POLEN ATMOSFÉRICO

Las abundancias relativas (% de polen) de los distintos taxa, registrados en las muestras de suelo superficial de las diferentes formaciones vegetales, se muestran en la Fig. 2 y en la Tabla 4. Como un rasgo importante para nuestra hipótesis, se observa que la lluvia de polen de las formaciones de bosques pantanosos y de matorral arborescente mixto, están dominadas por espectros arbóreos (54 - 85%). En contraste, la lluvia de polen de las distintas formaciones vegetales no arborescentes (dunas, jaral costero, marismas), está dominada por espectros de polen no arbóreo (55 - 93%). A continuación, se describe separadamente la composición polínica de estos dos grupos de formaciones.

Polen atmosférico de las formaciones arborescentes

Para los bosques pantanosos, las tres muestras de lluvia de polen estudiadas, muestran sumas arbóreas que sobrepasan el 50 % (Fig. 2, Tabla 4). Es dominante el polen del taxon característico de estos bosques, *Luma chequen* (14 - 41%); En el sitio Ñague I, *Escallonia* alcanza valores de hasta 24%. Otros

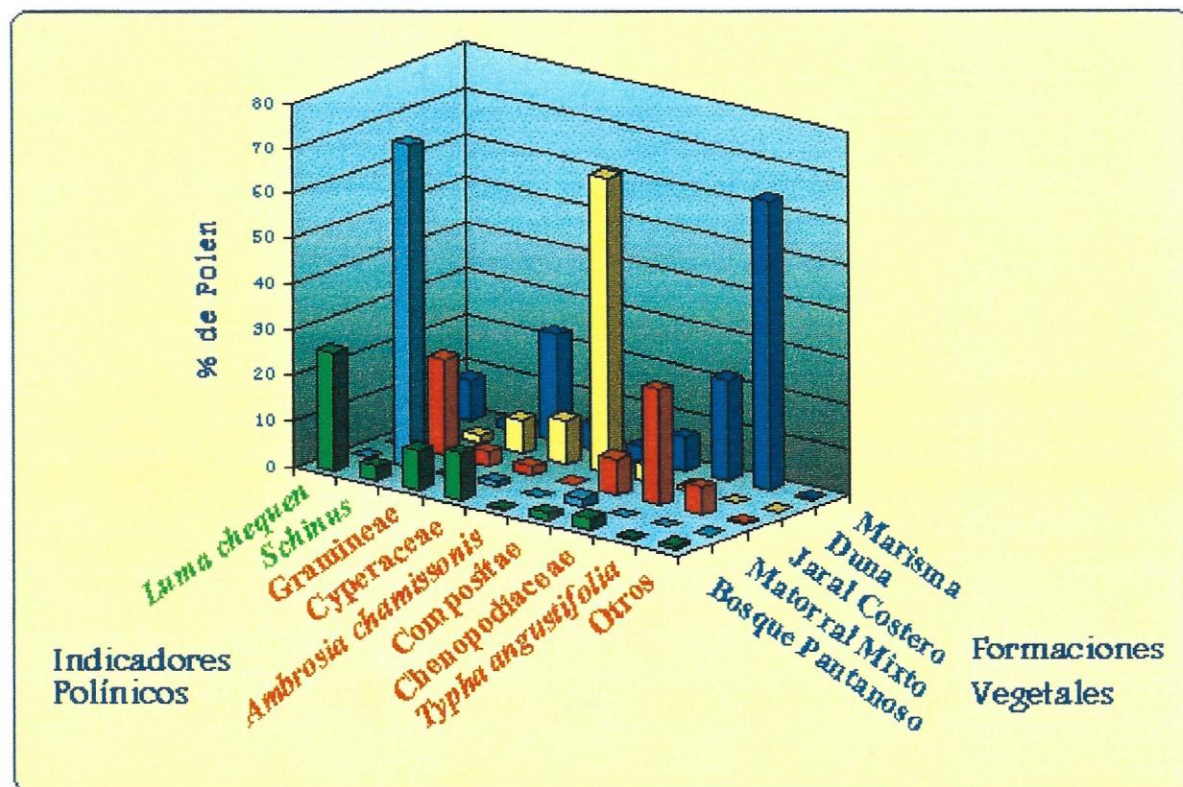


Tabla 4: Porcentajes de frecuencia polínicas de los taxa presentes en la lluvia de polen atmosférica de las distintas formaciones vegetales muestreadas

Taxa polínicos	Bosque Pantanoso	Matorral Mixto	Jaral Costero	Duna	Marismas
Polen Arbóreo y Enredaderas					
Aristotelia chilensis	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Azara celastrina	6.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Cissus striata	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00
Cryptocarya alba	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Disocorea sp	0.63	0.00	0.16	0.00	0.00
Drimys winteri	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Escallonia sp	10.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Lithrea caustica	0.32	13.73	3.33	1.02	1.30
Luma chequen	25.53	0.00	0.00	0.00	8.77
Maytenus boaria	5.53	0.33	0.16	0.34	1.62
Peumus boldus	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00
Pinus sp	1.16	0.00	1.60	1.71	0.32
Pouteria splendens	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
Rhaphithamnus spinosus	0.73	0.33	0.00	0.00	0.00
Schinus sp	3.24	70.92	20.91	1.71	1.62
Senna sp	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Polen No Arbóreo					
Ambosia chamissonis	0.21	0.00	0.32	64.85	2.92
Calandrinia sp	0.00	0.00	0.16	0.68	0.00
Chenopodiaceae	2.46	0.00	25.43	1.02	22.08
Chorizanthe sp	0.21	0.00	1.76	1.02	0.65
Compositae	5.84	6.42	32.40	14.58	23.96
Cruciferae	2.02	0.33	1.76	0.68	0.00
Ephedra andina	0.00	0.00	1.44	0.00	0.32
Euphorbiaceae	2.65	1.63	0.00	1.71	1.95
Gramineae	8.66	0.65	3.17	7.17	23.05
Liliflorae	1.79	0.65	2.08	1.02	0.32
Malvaceae	0.85	1.31	4.00	0.68	0.32
Papilionaceae	2.16	1.31	2.08	0.68	0.65
Phyla nodiflora	1.38	0.00	0.00	0.00	0.32
Poligonaceae	0.44	0.00	0.00	0.00	0.65
Puya sp	0.31	0.65	0.16	0.34	0.00
Solanaceae	3.34	0.98	0.96	0.68	2.27
Umbelliferae	0.53	0.00	0.80	1.02	4.22
Polen de Acuáticas, Palustres y Esporas					
Cyperaceae	10.16	1.28	2.12	9.29	5.63
Cystopteris sp	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Espora monolete	0.46	0.00	0.00	0.00	0.09
Espora trilete	0.47	0.64	0.00	0.00	0.85
Myriophyllum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
Triglochin striata	1.54	0.00	0.00	0.00	0.47
Typha angustifolia	0.18	0.00	6.06	0.00	63.38
Otros	3.33	0.37	4.19	1.72	3.93

taxa arbóreos representados son: *Azara celastrina* (hasta 13%), *Maytenus boaria* (hasta 9%), y trazas de polen arbóreo de *Drimys winteri*, *Aristotelia chilensis*, *Schinus* y de la enredadera *Cissus striata*. Los taxa no arbóreos están menos representados, no sobrepasando en conjunto el 50%. Entre ellos, destacan las Gramíneas (4 - 13%) y, en menor proporción, las Compuestas (1 - 6%). Los taxa acuáticos y palustres están representados, mayoritariamente, por las Ciperáceas, que alcanzan valores que fluctúan entre 5 y 18%. En el bosque de Ñague III, se registró además polen del taxon acuático, *Triglochin* (5%).

El matorral mixto también presenta dominancia de polen arbóreo (85%). Sin embargo, existen indicadores de polen arbóreo que permiten distinguir, nítidamente, la expresión polínica de estas formaciones, con respecto a la de los bosques pantanosos. Los indicadores arbóreos del matorral mixto son dos taxa esclerófilos: *Schinus* (71%) y *Lithrea caustica* (14%). El polen no arbóreo y acuático tienen una representación escasa en esta formación.

Polen atmosférico de las formaciones abiertas

Las muestras de suelo superficial, analizadas para las distintas formaciones litorales no arborescentes, muestran la dominancia polínica de taxa no arbóreos (Ver Fig. 2, Tabla 4). Los taxa más representados son: Compuestas, Gramíneas, *Ambrosia chamissonis*, Chenopodiáceas y la acuática *Typha angustifolia*. En la lluvia de polen de la vegetación de dunas, el taxon dominante es *Ambrosia chamissonis* (65%), siendo casi exclusivo de esta formación. Las Compuestas alcanzan aquí valores de hasta 11%, proporción algo menor que en otras formaciones costeras. En el jaral costero, las Chenopodiáceas

alcanzan valores entre 43%, en el sector de La Cachina-Quereo, y 8% en la laguna de Conchalí; en las marismas tienen proporciones equivalentes las Chenopodiáceas (22%), las Compuestas (22%) y las Gramíneas (23%). Las acuáticas están también representadas en las marismas, principalmente por *Typha angustifolia*, con valores de hasta 63%, evidenciando su cercanía a la laguna. Las Ciperáceas se presentan con valores bajos (hasta 9%). El polen arbóreo en las formaciones costeras está dominado por *Schinus*, el que alcanza valores considerables sólo en el matorral costero de laguna Conchalí (39%).

Del análisis de la composición y abundancia polínica en la atmósfera, se desprende que existen indicadores polínicos que expresan cuál ha sido la formación vegetal fuente del polen atmosférico. Por ejemplo, la presencia de bosques pantanosos se expresa a través de altas proporciones de polen arbóreo de *Luma chequen* y *Escallonia*. Otros indicadores arbóreos característicos de esta formación, son *Maytenus boaria*, *Azara celastrina*, *Drimys winteri* y *Cissus striata*. El matorral mixto estaría representado en la atmósfera a través de muy altos porcentajes de taxa esclérofilos, como *Schinus* y *Lithrea caustica*. La vegetación de dunas estaría representada en la lluvia de polen, casi exclusivamente, por la especie introducida *Ambrosia chamissonis* y, en menor proporción, por Gramíneas y Compuestas. El jaral costero, por polen de Chenopodiáceas. Los sectores cercanos a cuerpos de agua, por altos porcentajes de la totora, *Typha angustifolia*. También las marismas están caracterizadas, principalmente, por la especie palustre *Typha angustifolia*,

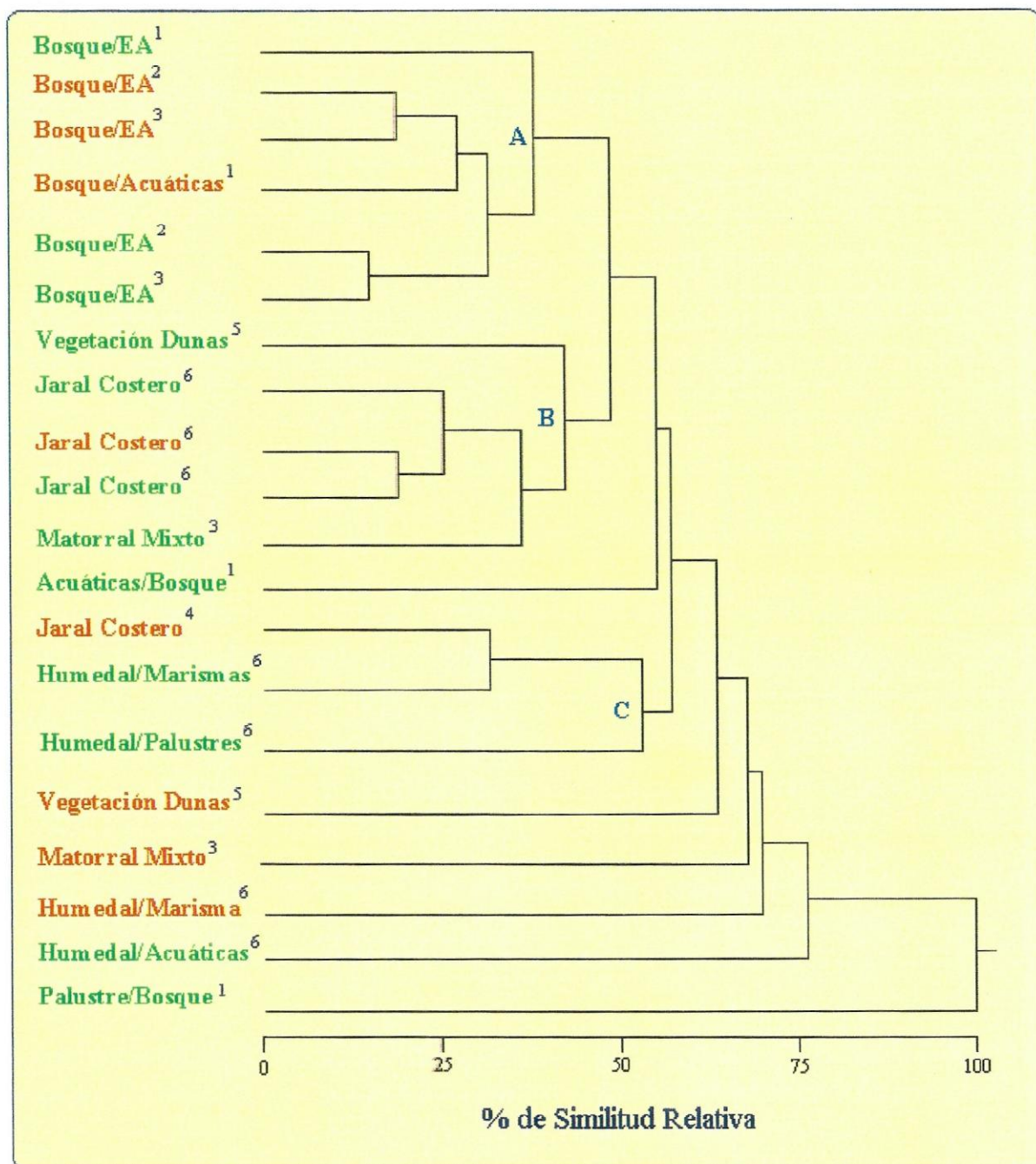
además de valores importantes, relativamente equilibrados, de Gramíneas, Compuestas y Chenopodiáceas.

Relación vegetación-polen

El dendrograma de la figura 5, se muestran los resultados del análisis de conglomerados, realizado para investigar la relación entre la lluvia de polen actual y la vegetación actual. Se observan tres agrupaciones principales en este dendrograma:

El primer grupo (Grupo A), reúne los muestreos de la vegetación de los estratos arbóreo y arbustivo de los bosques pantanosos, junto con la lluvia de polen actual obtenida para estos bosques. Este resultado destaca la singularidad florística de la vegetación de bosques pantanosos y su buena correlación con el polen atmosférico que la representa. En este mismo Grupo A, queda integrado también el muestreo polínico correspondiente a la vegetación acuática del bosque pantanoso. Este resultado pone de manifiesto la mayor importancia que tiene el aporte de polen del dosel arbóreo, en la composición del polen atmosférico de la formación. En contraste, los muestreos homólogos de la vegetación acuática y palustre del bosque pantanoso quedan aislados del grupo A en el dendrograma, claramente una expresión de la composición florística singular que tienen los sectores inundados de los bosques pantanosos.

El segundo grupo (Grupo B), integra los muestreos de vegetación del matorral mixto, dunas y jaral costero y, solamente, el muestreo de polen del jaral costero; en contraste, las muestras de lluvia de polen del matorral mixto y



dunas quedan muy segregadas del grupo. En el caso del matorral mixto, esto se debe a la sobrerrepresentación en la lluvia de polen de los taxa esclerófilos (*Schinus* y *Lithrea*), con mayor biomasa, en desmedro de su contraparte decidua.

El tercer grupo (Grupo C) muestra una cercanía entre uno de los muestreos de lluvia de polen del jaral costero y la vegetación de marismas. Posiblemente, este resultado sea un efecto de nuestras limitaciones en la determinación de los granos de polen. No nos fue posible precisar una determinación de los granos de polen de los géneros y especies de la Familia Chenopodiáceas, porque no encontramos caracteres de diagnóstico. Desafortunadamente, la determinación al nivel familiar no permite discriminar entre los taxa de Chenopodiáceas de la vegetación de jaral, con presencia de la especie *Chenopodium sp.*, y los de la vegetación de marismas, cuya especie dominante es la Chenopodiácea *Sarcocornia fruticosa*.

La distribución no agrupada de los muestreos de lluvia de polen y de vegetación de las formaciones de humedales ponen de manifiesto que, estas formaciones, se diferencian polínicamente y florísticamente del resto de las formaciones del área de estudio; adicionalmente, dentro de las formaciones de humedales, existe también una marcada diferencia florística entre los distintos cinturones de vegetación, dispuestos paralelamente, de acuerdo a la distancia de los cuerpos de agua (eg. franja de arbustos, praderas de Chenopodiáceas, vegetación palustre semi-acuática y vegetación acuática).

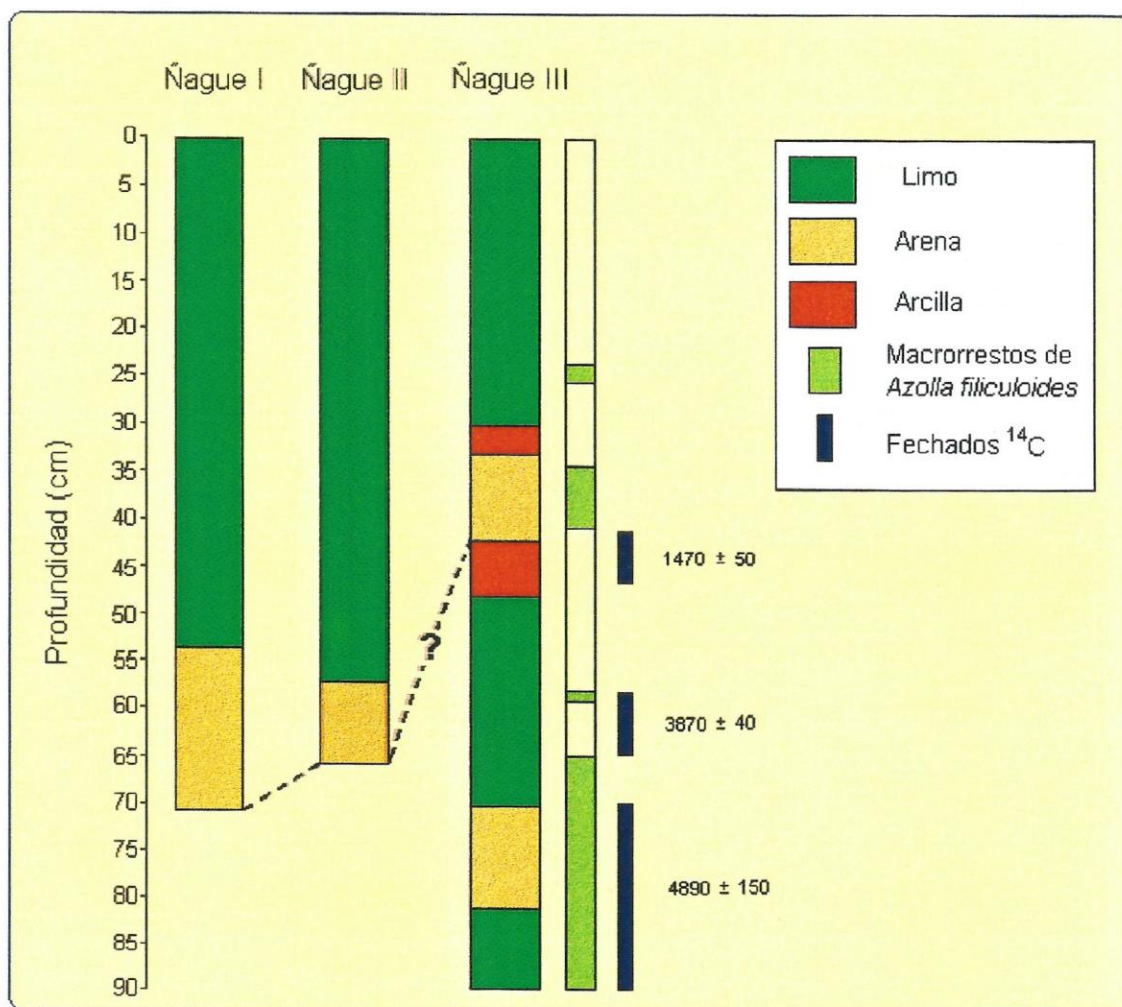
5.3. ESTRATIGRAFÍA DE LOS REGISTROS ÑAGUE

5.3.1. Sedimentos

Al interior del bosque pantanoso de Quebrada Ñague (Fig. 1), se obtuvieron tres columnas estratigráficas (Fig. 4); de norte a sur, estas corresponden a los sectores: Ñague I, con 70 cm de potencia; Ñague II, con 65 cm de potencia; y Ñague III, con 90 cm de potencia (Fig. 1). El registro de macrorestos vegetales, correspondiente a esporocarpos de *Azolla filiculoides*, y los tres fechados radiocarbónicos disponibles a la fecha, también se muestran en la Figura 4. De acuerdo a las profundidades, y a las correlaciones entre los tipos de sedimentos de las tres columnas, se seleccionó la columna Ñague III para el análisis de polen y de macrorestos porque, aparentemente, sería la más antigua. La descripción de los sedimentos de las tres columnas obtenidas se proporciona a continuación.

Ñague I

Esta columna fue obtenida en el extremo noreste del bosque, al este de la carretera Panamericana (Fig. 1), y tiene una potencia de 70 cm. Desde la superficie a la base, los sedimentos corresponden a limo orgánico, levemente arenoso, los primeros 20 cm, de color negro (2,5Y2,5/1); algo más arenosos entre 5,5 y 8,5 cm de profundidad. Entre 20 y 40 cm de profundidad, limo orgánico puro, color negro (2,5Y2,5/1), más compacto desde los 23 cm hacia abajo. Desde 40 a 53 cm de profundidad hay una transición gradual, desde limo orgánico arenoso color gris muy oscuro (2,5Y3/1), hacia arena. Finalmente,



entre 53 cm y la base del perfil (70 cm), los sedimentos corresponden a arena café grisáceo, oscura (2,5Y4/2).

Ñague II

Esta columna fue obtenida en el sector norte del bosque, al oeste de la Carretera Panamericana (Fig. 1 y 4), y está conformada, desde de la superficie a la base, por: sedimentos de limo orgánico, los primeros 45,5 cm de profundidad, de color negro (10YR2/1); los primeros 20 cm contienen macrorrestos vegetales, principalmente pequeños trozos de ramas. Desde 45,5 cm hasta 57 cm de profundidad, los sedimentos intergradan, gradualmente, desde limo orgánico arenoso hacia arena limosa orgánica color negro (2,5 Y2,5/1). Finalmente, entre 57 y 65 cm de profundidad, los sedimentos se componen de arena café grisácea-oscura (2,5Y4/3).

Ñague III

Esta columna fue obtenida en el extremo sur del bosque de Ñague (Fig. 1 y 4). Desde la superficie a la base, los sedimentos se componen de: limo orgánico, los primeros 10 cm, color café muy oscuro a negro (7,5 YR 2,5/2 a 7,5 YR 2,5/1); limo orgánico arenoso color negro (2,5 Y 2,5/1), desde 10 cm hasta 30 cm; este limo, observado con rayos X, muestra un limite oblicuo, con respecto al limo orgánico de la superficie. Entre los 30 y 33 cm, hay arcilla arenosa color café grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2). Entre 33 y 42 cm, hay arena limosa orgánica color gris, muy oscura (10 YR 3/1). Entre 42 y 48 cm, hay arcilla arenosa color café grisáceo, muy oscura (10 YR 3/2). Los últimos dos centímetros de esta capa de arcilla son más claros, café grisáceo oscuro (2,5 Y

4/2). Hasta 60 cm, los sedimentos se componen de limo orgánico color negro (2,5 N); entre 60 y 70 cm, de limo orgánico arenoso de color negro (2,5 Y 2,5/1); el limite entre estas dos capas de limo se observa inclinado, con el análisis de rayos X. Entre 70 y 81 cm hay una capa de arena limosa orgánica. Finalmente, desde los 81 cm hasta la base del perfil, reaparece una capa de limo orgánico arenoso, similar a la que hay entre los 60 y 70 cm de profundidad.

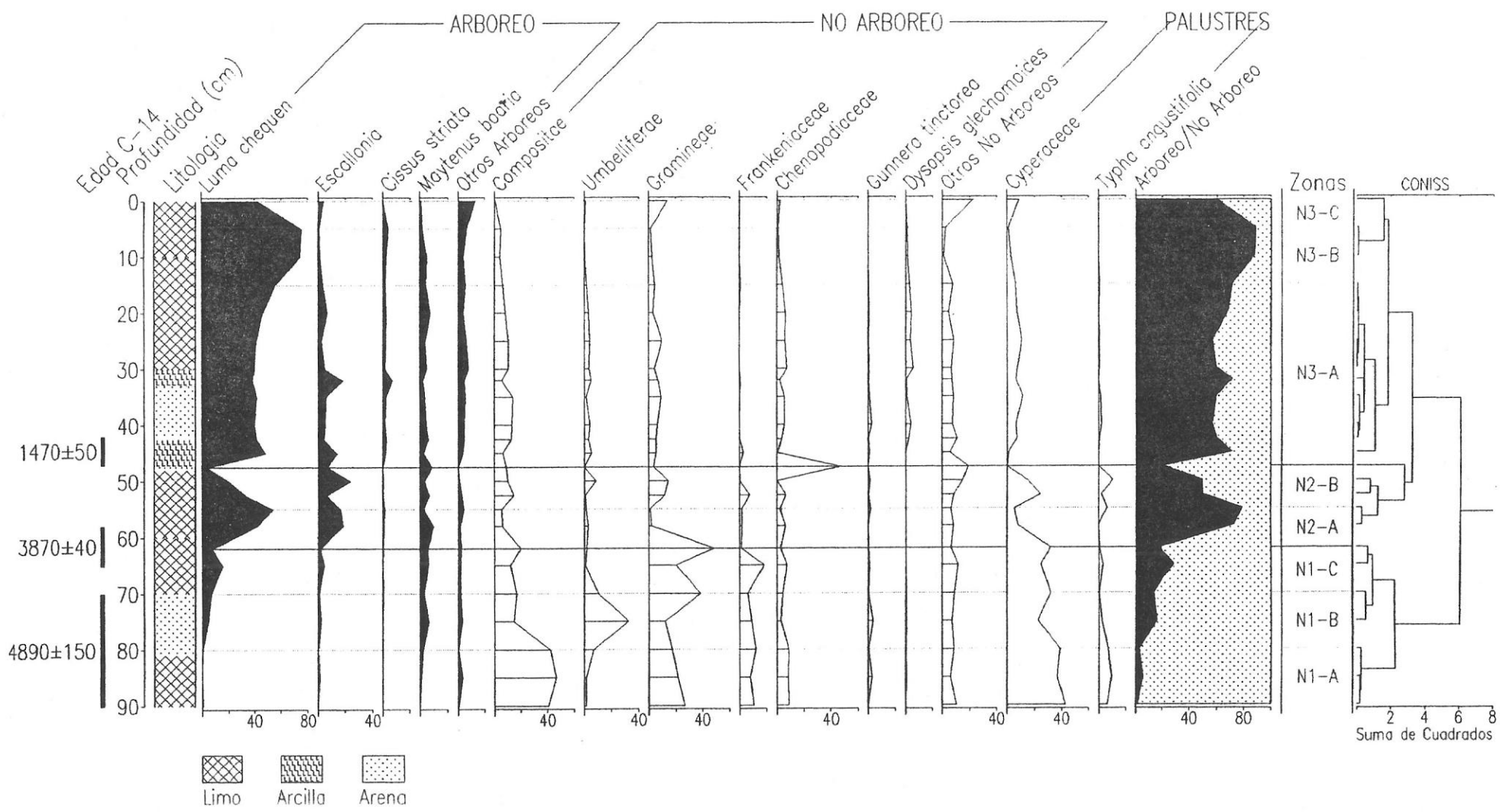
5.3.2. Frecuencias polínicas

La columna estratigráfica Ñague III (Fig. 4), con una potencia de 90 cm, tiene una edad basal de alrededor de 5.000 años ^{14}C A.P. Se dispone de tres fechados radiocarbónicos para precisar las edades de este registro: 4.890 ± 150 , entre 90 - 70 cm de profundidad (Beta N° 107118); 3.870 ± 40 , entre 65 - 58 cm (Beta N° 118855); 1.470 ± 50 , entre 47 - 42 cm (Beta N° 118854).

En la Figura 5 se muestran los resultados del análisis de frecuencias polínicas de la columna Ñague III. De acuerdo al análisis de conglomerados, que se muestra a la derecha de la Figura 5, se pueden reconocer tres grandes zonas polínicas a lo largo del registro. A continuación se describen estas tres zonas, desde la más antigua a la más moderna.

Zona Ñague - 1 (Ñ-1)

Esta zona va desde los 90 hasta los 62 cm de profundidad y, de acuerdo a los fechados radiocarbónicos, transcurre entre alrededor de 5.000 y 3.800 años ^{14}C A.P. Se caracteriza por la escasa representación de polen arbóreo (1-28%) y la predominancia de polen no arbóreo (71 - 99%). Existe una importante representación de esporas y polen de taxa acuáticos en la zona (30 - 51%). De



acuerdo a la secuencia de sedimentos, y a las abundancias relativas de taxa polínicos, se distinguen tres fases dentro de esta zona.

Fase 1-A: Desde la base (90 cm), hasta el nivel de 80 cm, está constituida por sedimentos de limo arenoso orgánico y se caracteriza por la dominancia del polen herbáceo de Compuestas (41-46%) y valores relativamente constantes de Gramíneas, Chenopodiáceas y Frankeniáceas; estos dos últimos taxa son halófitos. Destacan también, altas proporciones de taxa de la familia palustre de las Ciperáceas (35 - 42%) y, en menor proporción, de la especie semi-acuática *Typha angustifolia* (6 - 9%).

Fase 1-B: Se sitúa entre los 80 y los 70 cm de profundidad, en sedimentos de arena limosa orgánica, y se caracteriza por la disminución de las Compuestas y un abrupto aumento en la proporción de las Umbelíferas (hasta 33%). Las Ciperáceas y *Typha angustifolia* tienden a disminuir, en relación a la fase anterior. En este lapso ya se registran trazas de taxa de bosque, principalmente *Maytenus boaria* (hasta 7%) y *Luma chequen* (hasta 7%).

Fase 1-C: Se sitúa entre 70 y 62 cm de profundidad, en sedimentos de limo orgánico arenoso. Durante esta fase, los taxa de bosque aumentan, aunque persiste el predominio de taxa no arbóreos que caracteriza toda la zona polínica. Aumentan también las Gramíneas (hasta 49%) y las Frankeniáceas (hasta 18%), en relación a los niveles anteriores. Las Ciperáceas se mantienen con porcentajes relativamente constantes, respecto a la fase anterior.

Zona Ñague - 2 (Ñ2)

Esta zona se sitúa entre 62 y 47 cm de profundidad y, de acuerdo a los

fechados radiocarbónicos, transcurre aproximadamente entre los 4.000 y 1.900 años ^{14}C A.P. (edad interpolada). En contraste con la zona anterior, esta zona se caracteriza por la dominancia del polen de taxa arbóreos, durante la fase inicial, y su brusca disminución al final de la zona (79 - 21%). De acuerdo a este abrupto cambio en la abundancia del polen arbóreo, como también a cambios en los sedimentos, esta zona se puede dividir en dos fases:

Fase 2-A: Se sitúa entre 62 y 55 cm de profundidad y los sedimentos se componen mayoritariamente de limo orgánico. Se caracteriza por el fuerte aumento y dominancia polínica de taxa arbóreos, principalmente *Luma chequen* (21 - 54%) y *Escallonia* (7 - 24%); el polen no arbóreo está representado por porcentajes relativamente bajos de Compuestas (6 - 15%), Gramíneas (1-14%) y Chenopodiáceas (hasta 6%). Destaca la abrupta disminución en los porcentajes del polen de Frankeniáceas, respecto a la zona anterior. Las acuáticas y palustres también disminuyen, respecto a la zona anterior.

Fase 2-B: Se sitúa entre 55 y 47 cm de profundidad y, esta constituida por sedimentos de limo orgánico que intergradan hacia arcilla arenosa al final de la zona. Se caracteriza por una tendencia de marcada disminución en los porcentajes del polen arbóreo, y hacia el final de la zona, de la mayoría de los taxa no arbóreos. Las acuáticas y palustres muestran un aumento en los porcentajes, respecto a la zona anterior, y solo hacia el final de la zona muestran la misma abrupta disminución en porcentajes que muestran los otros taxa, en el límite con la zona siguiente. El único taxon que exhibe altos

porcentajes, en el límite superior de la zona, es Chenopodiáceas, las que llegan hasta 50 %.

Zona Ñague -3 (Ñ3)

Esta última zona abarca, desde los 47 de profundidad hasta la superficie, y se extiende temporalmente desde 1.900 años ¹⁴C A.P (edad interpolada) hasta el presente. Está caracterizada por la fuerte disminución de los porcentajes de las Chenopodiáceas, que caracterizan el límite entre esta zona y la anterior, y por el aumento y posterior dominancia del espectro de polen arbóreo, principalmente el taxon característico de los bosques pantanosos actuales, *Luma chequen*. Se distinguen tres fases dentro de la zona.

Fase 3-A: Desde los 47 cm hasta los 15 cm de profundidad, con sedimentos compuestos por arcilla arenosa y arena limosa orgánica. Una capa de limo orgánico arenoso, se encuentra hacia el final de la fase. Se caracteriza por la disminución de las Chenopodiáceas y por el aumento y mantención de abundancias relativamente estables de los taxa de bosque (56 - 72%). Las abundancias relativas de los granos de polen no arbóreos, acuáticas y palustres se mantienen bajo el 15%, a lo largo de toda la fase, siendo las mejor representadas Compuestas, Gramíneas, Chenopodiáceas y Ciperáceas.

Fase 3-B: Esta fase se sitúa entre 15 y 5 cm de profundidad y corresponde a sedimentos de limo orgánico arenoso y limo orgánico. Se caracteriza por un aumento abrupto en los porcentajes del taxon actualmente dominante del bosque, *Luma chequen*, el que alcanza porcentajes de hasta 76%, los máximos del registro; la vegetación no arbórea mantiene muy bajos

porcentajes, siendo las Compuestas las mejor representadas (5%). Las acuáticas y palustres disminuyen con respecto a las zonas anteriores.

Fase 3-C: Esta última fase abarca los últimos 5 cm de la columna del bosque Ñague III y corresponde, porcentualmente, a la lluvia de polen del actual bosque. Se distingue de la fase anterior, por una disminución de los taxa arbóreos y un leve aumento de las Gramíneas, probablemente por perturbación antrópica moderna. La influencia humana se expresa a través de la presencia de trazas del árbol plantado y exótico, *Pinus*. Posiblemente, sea la apertura del dosel arbóreo la que se vea reflejada en la disminución de los taxa de bosque, junto con el aumento de otros taxa herbáceos no característicos de los bosques pantanosos.

5.3.3. Concentraciones polínicas

El diagrama de concentraciones polínicas (Fig. 6), cantidad absoluta de granos de polen por nivel de profundidad, muestra las mismas tendencias de cambio del diagrama de porcentajes polínicos, pero acentúa las fluctuaciones de los taxa, permitiendo precisar mejor las tendencias. De acuerdo a la misma zonificación de la Fig. 5, se observa la siguiente secuencia:

Zona Ñague - 1 (Ñ1).

Muestra bajas concentraciones de granos de polen en todo su transcurso y polen arbóreo prácticamente inexistente, salvo trazas de *Maytenus boaria* en el techo de la zona. En la Fase Ñague 1-A, se observa la ausencia casi total de taxa arbóreos y la dominancia de Compuestas y Gramíneas, entre las hierbas de seco y de Ciperáceas y *Typha angustifolia*, entre las palustres, como en el

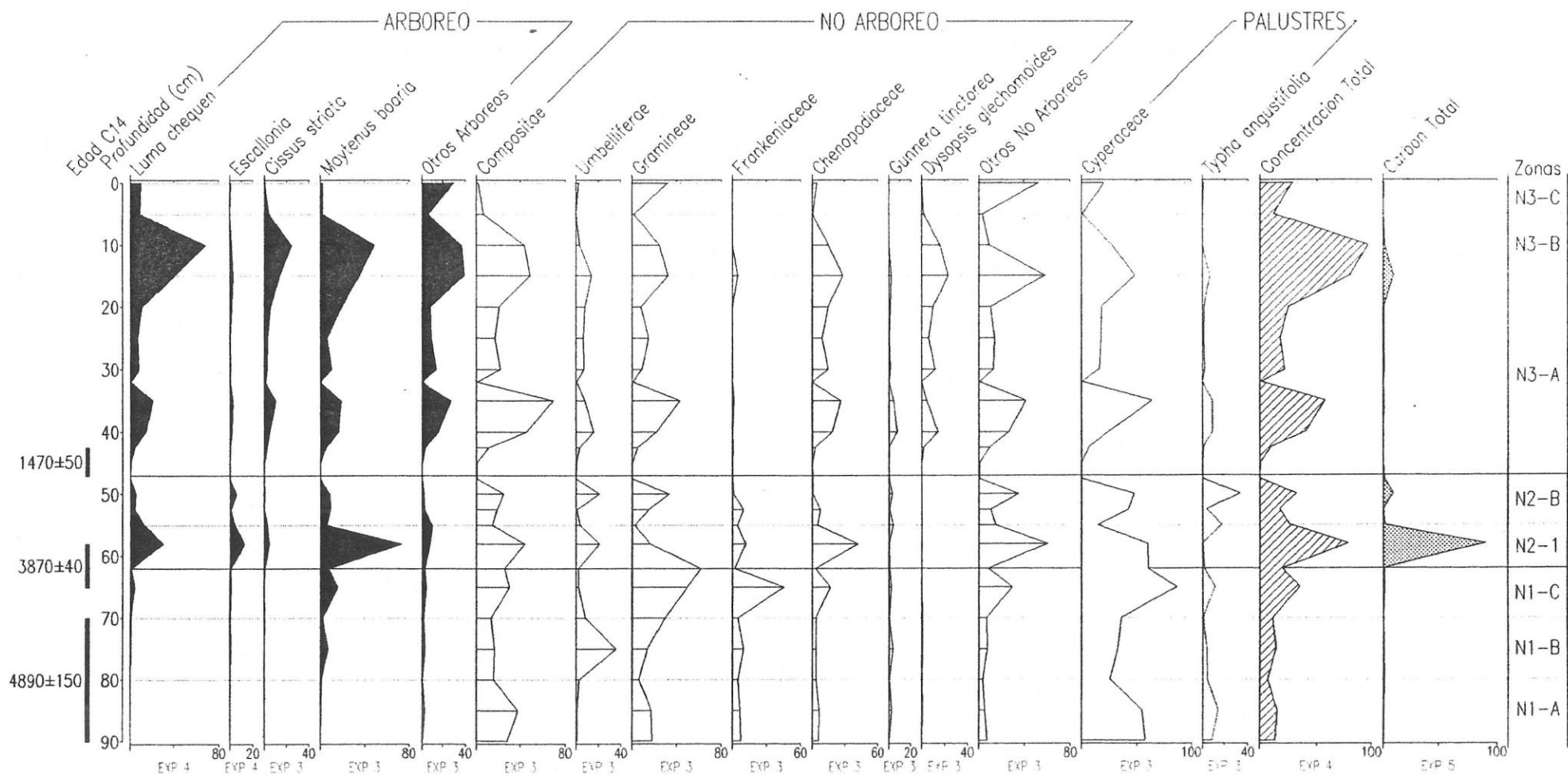


diagrama de porcentajes. Adicionalmente, destaca en este análisis la importancia del taxon hidrófilo *Gunnera tinctoria*. En la Fase Ñague 1-B, suben en importancia las Umbelíferas y, en menor grado, *Gunnera tinctoria*, mientras que disminuye el polen de Compuestas, Ciperáceas y *Typha angustifolia*, tal como sucedía con los porcentajes polínicos. En la Fase Ñague 1-C, se registran trazas arbóreas de *Maytenus boaria*. Los taxa no arbóreos aumentan, con incrementos importantes de las halófitas, Frankeniáceas y, en menor grado, Chenopodiáceas; las Gramíneas y las palustres, como Ciperáceas y *Typha angustifolia*.

Zona Ñague - 2 (Ñ2)

En el transcurso inferior y medio de la zona (Ñ2, fase A), se observa un incremento muy notable de la productividad de la vegetación, expresada en altas concentraciones totales de granos, principalmente como producto de un aumento importante de los taxa arbóreos, principalmente *Luma chequen* y , en menor grado *Maytenus boaria*, *Escallonia*, *Drimys winter* y la enredadera *Cissus striata*. También aumenta el polen no arbóreo, como las Chenopodiáceas, en tanto que disminuyen Gramíneas y Frankeniáceas. La Fase Ñague 2-B, muestra una tendencia hacia la disminución en las concentraciones de casi todos los taxa, respecto a la zona anterior, a excepción del taxon palustre *Typha angustifolia*, el que muestra sus proporciones máximas. Hacia el final de la zona 2 se observa la disminución, hasta prácticamente la desaparición, de todos los taxa polínicos.

Zona Ñague - 3 (Ñ3)

Durante esta zona se observan abruptas fluctuaciones de las concentraciones de granos de polen, tanto del elemento arbóreo como del no arbóreo y palustre; para todos estos grupos, se observan dos aumentos importantes en la concentración (entre 40 - 35 cm y entre 15 - 10 cm) y tres caídas muy abruptas (al inicio de la zona, en el nivel de profundidad correspondiente a 32 cm y en el techo de la columna). A excepción del descenso de concentraciones del techo de la zona-3, que puede deberse a causales antrópicas, los otros dos descensos se producen durante el transcurso de la fase N3-A. El primer descenso de la concentración polínica, a inicios de la fase Ñ3-A es muy dramático y sugiere un cambio vegetacional drástico y de corta duración, desde bosque a vegetación abierta. El segundo descenso de las concentraciones polínicas de la fase Ñ3-A sugiere una disminución de la productividad del bosque sin un cambio sustancial en la estructura de la vegetación, ya que las concentraciones de taxa solamente disminuyen sin que ninguno desaparezca. Concomitantemente con estos descensos de las concentraciones polínicas, se observan abruptos cambios en los sedimentos, desde arenas limosas orgánicas hacia arcillas. Durante la Fase Ñague 3-B, destacan las máximas concentraciones totales de granos, principalmente debido a los fuertes incrementos de *Luma chequen* y *Maytenus boaria*. Al final de la fase se observa una disminución marcada en la concentración de granos de polen de todos los taxa. La Fase Ñague 3-C, muestra un sustancial descenso de la concentración total de granos, producto del leve aumento de las concentración de taxa

herbáceos y baja importante de la concentración de taxa arbóreos, probablemente efecto de la acción antrópica en el sector, como lo evidencian las trazas de polen exótico en el diagrama de porcentajes.

5.3.4. Macrorestos vegetales y de carbón

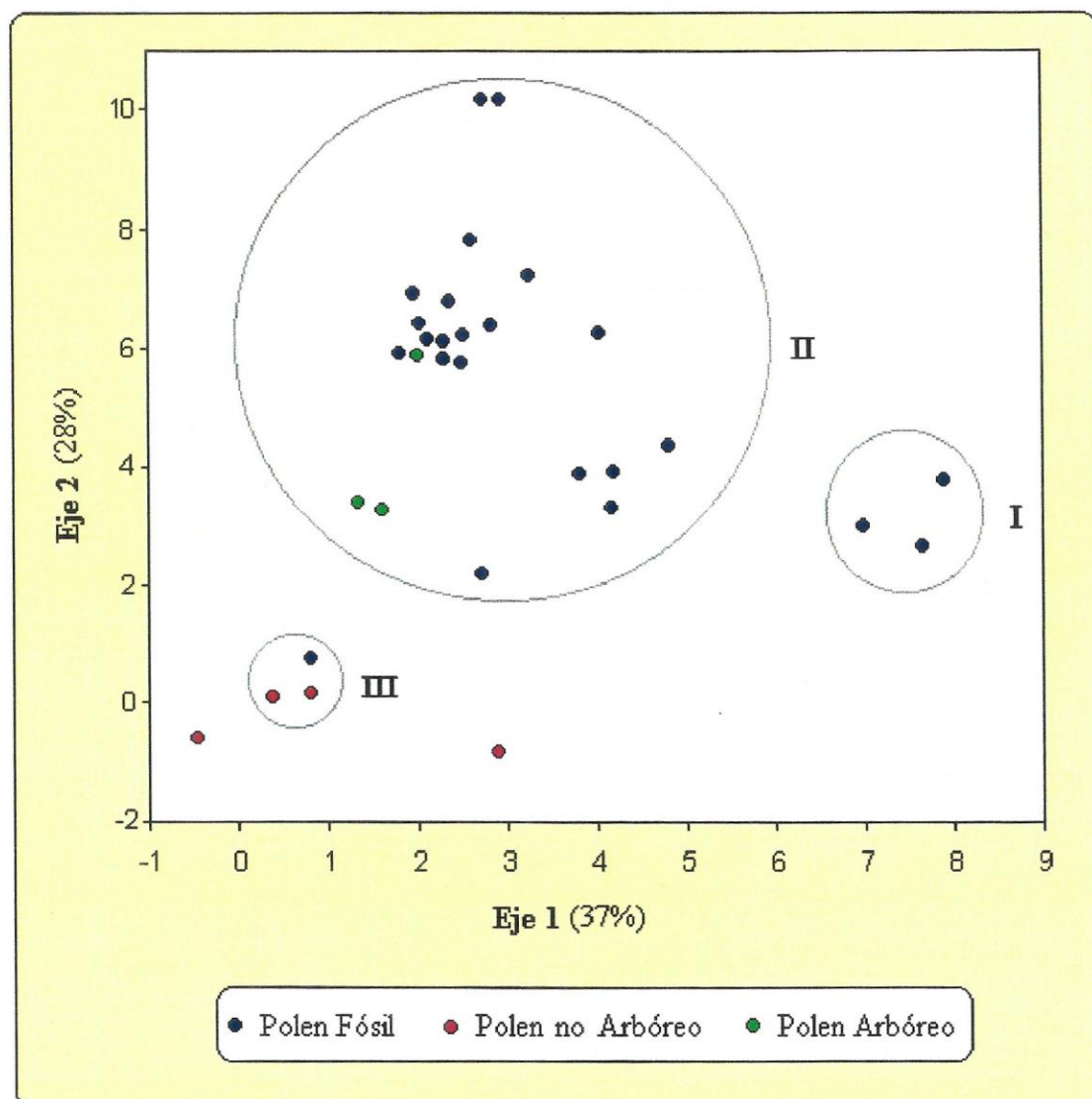
Los resultados de los recuentos de macrorestos vegetales y de carbón microscópico, contenidos en los sedimentos del perfil Ñague III, se muestran en las figuras. 4 y 6. Las observaciones de los sedimentos a la lupa, ha permitido reconocer macrorestos vegetales y animales (insectos) en los sedimentos, la mayoría muy fragmentados e imposibles de determinar. Se lograron determinar macrorestos de *Azolla filiculoides*, (esporocarpos) (Fig. 6), diminuta especie de helecho acuático, registrados a las profundidades de 90 - 65, 58, 40 - 35 y 25 cms. En el tramo 90 a 65 cm (zona polínica Ñague-1), fue donde se encontró la mayor cantidad de ellos, en especial en el nivel 65 cm (con 23 esporocarpos registrados). El registro de *Azolla filiculoides* en los sedimentos, indica presencia de cursos de agua de baja energía, durante el tiempo en el que se depositaron estos restos.

La concentración de carbón, se graficó de la misma manera que la concentración de polen (Fig. 6). A lo largo de la secuencia estratigráfica, se registran tres momentos con presencia de carbón; el más importante corresponde al nivel de 58 cm de profundidad (zona Ñague-2, fase A). En este nivel, se observan los máximos de concentración de carbón, para los dos tamaños de partículas considerados. El siguiente episodio, con algo de contenido de carbón, se sitúa en la fase siguiente, fase Ñ2-B, a 50 cm de

profundidad, y corresponde a un evento considerablemente menor, en cuanto a concentración de carbón. El tercer nivel con carbón, registrado a los 15 cm de profundidad, en el límite entre las fases Ñ3-A y Ñ3-B, y es de magnitud similar al registrado a los 50 cm. En la observación de los sedimentos a la lupa, fue posible constatar la presencia de macrorestos vegetales carbonizados en los sedimentos correspondientes al nivel de 58 cm de profundidad, hecho que permite corroborar la existencia de fuego en este tiempo. Además, es posible distinguir estructuras (restos de ramas pequeñas), razón por la que es posible asegurar que este ha sido un incendio local. Este tipo de macrorestos no es tan evidente en los niveles 50 y 15 cm; además, el tamaño de partículas carbonizadas, en ambos niveles, es menor que el encontrado en el nivel 58 cm, no siendo posible la distinción de estructuras.

5.4. ESPECTROS FÓSILES Y SUS ANÁLOGOS ACTUALES

En la figura 7 se muestran los resultados del análisis de componentes principales para las muestras de lluvia de polen actual y fósil. Los dos primeros ejes explican el 65% de la varianza de los datos. A lo largo del primer eje (37 % de la varianza), se pueden distinguir tres agrupaciones, además de un par de muestras de lluvia de polen actual dispersas. El primer grupo (I), reúne los tres primeros espectros polínicos de la base del registro Ñague III (niveles 90, 85, 80 cm); estos espectros corresponden a vegetación pantanosa (Ñ1-A), caracterizada por la dominancia de taxa palustres y no arbóreos. El segundo grupo (II) reúne los espectros actuales de la lluvia de polen de los bosques pantanosos muestreados (Ñague I y III y Mal Paso), además de todos los



espectros polínicos fósiles de la columna estratigráfica Ñague III, a excepción del nivel de 47 cm de profundidad, que se integra en el grupo III. El tercer grupo (III), corresponde a las muestras de lluvia de polen actual de las dunas y el jaral costero del sector Quereo-La Cachina e incluye, además, la muestra correspondiente al nivel 47 cm de profundidad de la columna Ñague. Este espectro corresponde al del límite entre las zonas polínicas 2 y 3, cuando se registra la abrupta reversión de los porcentajes y concentraciones de polen arbóreo, y fuerte aumento de las Chenopodiáceas, ya descrito.

A lo largo del segundo eje (28 % de la varianza), se observa una cierta segregación de los espectros integrados al grupo II, a saber: Subgrupo 1: corresponde a espectros de los niveles transicionales pantano / bosque en el registro Ñague III (fase 1 C), con trazas de taxa arbóreos y mayor importancia de los taxa no arbóreos y palustres (niveles 70, 65, 62, 50 cm). Subgrupo 2: integra la mayoría de los espectros correspondientes a la interfase entre las zonas polínicas 2 y 3 del registro Quereo (Ñ2-B 55-52 cm y Ñ3-A 45 a 15 cm) y los de la lluvia de polen actual del bosque Ñague III. Subgrupo 3: esta compuesto por los dos espectros superficiales del registro (fase Ñ3-B 10 y 5 cm), caracterizados por una muy alta dominancia de los taxa de bosque. Además, dentro de este subgrupo se sitúa el nivel 75 cm y la lluvia de polen actual del bosque Ñague I y del bosque pantanoso de Mal Paso.

6. DISCUSIÓN

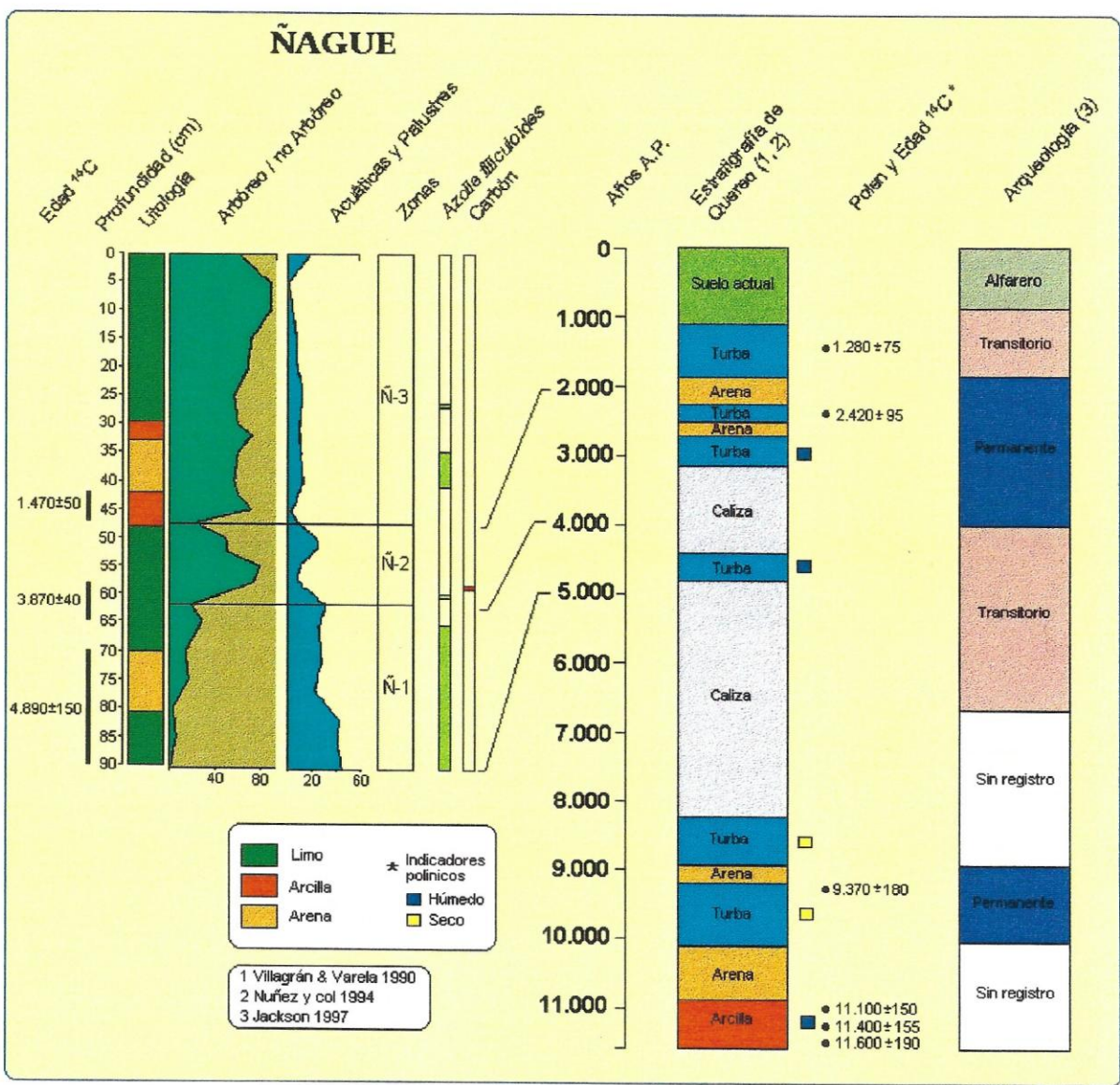
6.1. INTEGRACIÓN DE INDICADORES PALEOCLIMÁTICOS

En la Figura 8 se muestra una síntesis de los resultados obtenidos para Quebrada Ñague, en lo que se refiere a los fechados, análisis de sedimentos, polen arbóreo versus no arbóreo, acuáticas y palustres, concentración de carbón y macrorestos. Estos resultados se comparan con la secuencia de sedimentos de la columna estratigráfica de Quebrada Quereo (Villagrán & Varela 1990, Nuñez y col. 1994) y con la secuencia cronológica de tipos de asentamientos humanos en el área de estudio (Jackson 1997).

La abundante presencia de macrorrestos, correspondientes a esporocarpos del helecho acuático *Azolla filiculoides*, junto con los altos porcentajes de Ciperáceas y *Typha angustifolia*, indicadores de vegetación de pantano, en la base del perfil Ñague (Fig 8, zona polínica Ñague-1), sugieren el desarrollo temprano de cuerpos de agua en el área, relativamente someros, entre aproximadamente 5.000 y 4.000 años ¹⁴C A.P. En este momento, el actual bosque pantanoso todavía no se había desarrollado, como lo indica la neta dominancia de polen no arbóreo durante toda la zona. Una vegetación abierta y herbácea, con dominancia de taxa xerófilos pertenecientes a las familias Compuestas, Gramíneas y Umbelíferas, sugiere un clima local relativamente más seco que el actual, concordante con la depositación de limos arenosos y arenas durante la zona. El registro de taxa herbáceos halófitos,

como Frankeniáceas y Chenopodiáceas, sugieren presencia de marismas, cercanas al sitio de estudio.

La zona polínica Ñague-2, se inicia alrededor de 3.800 ^{14}C años A.P., y se extiende hasta cerca de 1.900 años ^{14}C A.P. (edad interpolada). El inicio de la zona corresponde a la etapa de colonización de bosques en el área, como se infiere de la abrupta aparición y dominancia del polen arbóreo, principalmente *Luma chequen*, *Escallonia* y *Maytenus boaria*, en asociación con sedimentos constituidos, principalmente, por limo orgánico. La presencia de carbón, micro- y macroscópico (ramas carbonizadas) en esta zona, sugiere la ocurrencia de un incendio en el bosque, posiblemente debido a causas antrópicas. Sin embargo, este incendio no fue, al parecer, lo suficientemente grande como para cambiar la dinámica de desarrollo del bosque en el área. El clima ha sido interpretado como más húmedo que durante la zona anterior. Hacia el transcurso medio de la zona, alrededor de los 2.700 años ^{14}C A.P. (edad interpolada), se registra una fuerte reversión de la tendencia de aumento de polen arbóreo, el que empieza a descender hasta culminar, hacia el final de la zona, con la dominancia de polen herbáceo, básicamente Chenopodiáceas. Para el límite superior de la zona se ha interpolado una edad de 1.900 años ^{14}C A.P., concomitantemente con la sustitución de limos orgánicos por arcillas arenosas. El diagrama de concentración polínica muestra una fuerte disminución de todos los taxa durante este límite, incluyendo los taxa arbóreos, los macrorrestos de *Azolla filiculoides*, otros indicadores palustres y las herbáceas en general. De acuerdo al análisis comparativo de los espectros polínicos actuales con la lluvia



de polen fósil, podemos interpretar este evento como un abrupto reemplazo de bosques por jaral costero, dominado por el polen de Chenopodiáceas. El clima ha sido interpretado como muy seco durante este lapso.

La última zona polínica del registro (Ñague-3) transcurre desde cerca de los 1.900 años ^{14}C A.P. (edad interpolada), hasta el presente. El transcurso bajo y medio de la zona está caracterizado por concentraciones polínicas bajas de todos los taxa, hasta cerca de los 1.500 años ^{14}C A.P. A partir de esta fecha, se registran las mayores concentraciones y frecuencias polínicas de todos los taxa, en concordancia con el cambio de sedimentos, desde arcillas arenosas y arenas hacia limos orgánicos. Los últimos 5 cm del perfil Ñague registran, nuevamente, un descenso de los indicadores de bosques, probablemente por perturbaciones antrópicas sub-actuales.

6.2. CORRELACIÓN LOCAL

En la Fig. 8 se muestra la cronología y los tipos de sedimentos de una columna estratigráfica procedente de un registro situado en Quebrada Quereo, muy cercana a Quebrada Ñague (Villagrán & Varela 1990, Nuñez y col. 1994). En esta columna se observan sedimentos basales constituídos por arcillas arenosas, asociadas a vegetación palustre (Ciperáceas y *Myriophyllum*), y con fechas del Pleistoceno tardío, alrededor de 11.400 y 11.600 años ^{14}C A.P. Durante todo el Holoceno temprano y medio, entre cerca de 9.370 y 3.000 años ^{14}C A.P., los sedimentos están dominados por calizas, interpretadas como depositadas bajo condiciones de clima árido, asociadas a indicadores polínicos muy xéricos, como Compuestas y Umbelíferas, a inicios del Holoceno. Con

posterioridad a 5.000 años ^{14}C A.P., los sedimentos de la columna Quereo muestran varios eventos de depositaciones de turbas, asociadas a vegetación acuática y palustre (*Anagallis*, Ciperáceas, *Typha angustifolia*), con delgadas intercalaciones de arenas. Este lapso de la columna Quereo, que corresponde cronológicamente con la secuencia estratigráfica de Quebrada Ñaguè, ha sido interpretado como con un clima relativamente más húmedo que el imperante durante el Holoceno temprano-medio, con sedimentos tipo calizas y vegetación de herbáceas xéricas.

En la Fig. 8 se muestra una cronología de los tipos de asentamientos humanos en la costa de Los Vilos, de acuerdo a las investigaciones arqueológicas (Jackson 1997, Jackson & Rodríguez 1998, Jackson & Ampuero 1992, Jackson y col. 1996, Baez y col. en prensa). Si bien las ocupaciones humanas en la costa de Los Vilos parecen no haber influido, de manera significativa, en el desarrollo de la vegetación del área de estudio, es indudable que los cambios climático-vegetacionales inferidos fueron significativos en la historia de poblamiento de los grupos humanos del Holoceno medio y tardío. Como se dijo en el planteamiento del problema, los antecedentes arqueológicos del área de estudio muestran dos patrones de ocupación costera durante el Holoceno. Las ocupaciones más tempranas en la zona, alrededor de 11.400 y 10.000 años ^{14}C A.P. (Núñez y col. 1994, Jackson y col. en prensa), indican un patrón de ocupación estacional en el área, pero durante lapsos prolongados. Se trataría de grupos cazadores-recolectores, con especialización en la explotación de los recursos marinos, en principio correspondientes a grupos paleoindios y

posteriormente, pertenecientes al Complejo Huentelauquén (Jackson y col. en prensa). Este tipo de ocupaciones es sincrónico con la deposición de turbas y registro de arcillas con vegetación palustre en la columna de Quereo. La frecuencia de ocupaciones humanas se hace casi nula, desde alrededor de los 9.000 hasta los 6.700 años ^{14}C A.P. A partir de esta fecha, se observa un nuevo incremento en la frecuencia de asentamientos costeros pero, a diferencia de las ocupaciones del Complejo Huentelauquén, las evidencias arqueológicas de estos sitios indican que se trata de eventos ocupacionales ocasionales de grupos de recolectores, con estrategias oportunistas de explotación de los recursos marinos, durante cortas temporadas de permanencia en el área (Jackson y col. 1996, Jackson & Ampuero 1992). Adicionalmente, estos grupos presentan relaciones con grupos del interior de la región, incluso con asentamientos de la vertiente oriental de los Andes argentinos (Jackson 1997). Este patrón ocupacional se mantiene hasta alrededor de los 4.000 años ^{14}C A.P. y, partir de esta fecha, aumenta nuevamente la frecuencia de asentamientos humanos especializados en la explotación de recursos marinos y con permanencia durante lapsos más prolongados en el área (Jackson y col. en prensa). A partir de 1.850 años ^{14}C A.P. se registra, nuevamente, el patrón de asentamientos transitorios de grupos recolectores, con estrategia oportunista y sin una impronta de especialización en la explotación de los recursos del mar (Jackson & Rodriguez 1998, Jackson com. pers.), ocupaciones que se mantienen hasta inicios del período Alfarero, alrededor de los 1.000 años ^{14}C A.P.

Nuestros resultados son concordantes con la hipótesis de Jackson (1997), que postula que los lapsos temporales correspondientes al patrón de ocupación más transitoria, con estrategias más oportunistas de explotación de recursos, estarían asociados a una disminución de los recursos alimenticios en los valles interiores, hecho que forzaría a estos grupos a bajar a la costa en busca de recursos marinos de mayor predictibilidad. Nuestros resultados muestran dos lapsos, coincidentes con patrones de ocupación transitoria en el área, en los cuales domina una vegetación abierta, interpretada como asociada a un clima más árido: a inicios de la secuencia, entre 5.000 y 4.000 años ^{14}C A.P., y entre 1.900 y 1.400 años ^{14}C A.P., cuando se registra una disminución de todos los indicadores arbóreos y no arbóreos y dominancia de las Chenopodiáceas. En contraste, durante el lapso con ocupaciones más permanentes, y estrategias especializadas en la explotación de recursos marinos, fechada entre 4.000 y 1.850 años ^{14}C A.P., se observa concordancia con el inicio de la colonización arbórea en el área de estudio. De manera análoga, las ocupaciones más permanentes, de finales del Pleistoceno e inicios del Holoceno, son congruentes con la existencia de un clima más húmedo, como lo evidencian los sedimentos constituidos por turbas y los registros de vegetación palustre, en las arcillas, de la columna de Quereo.

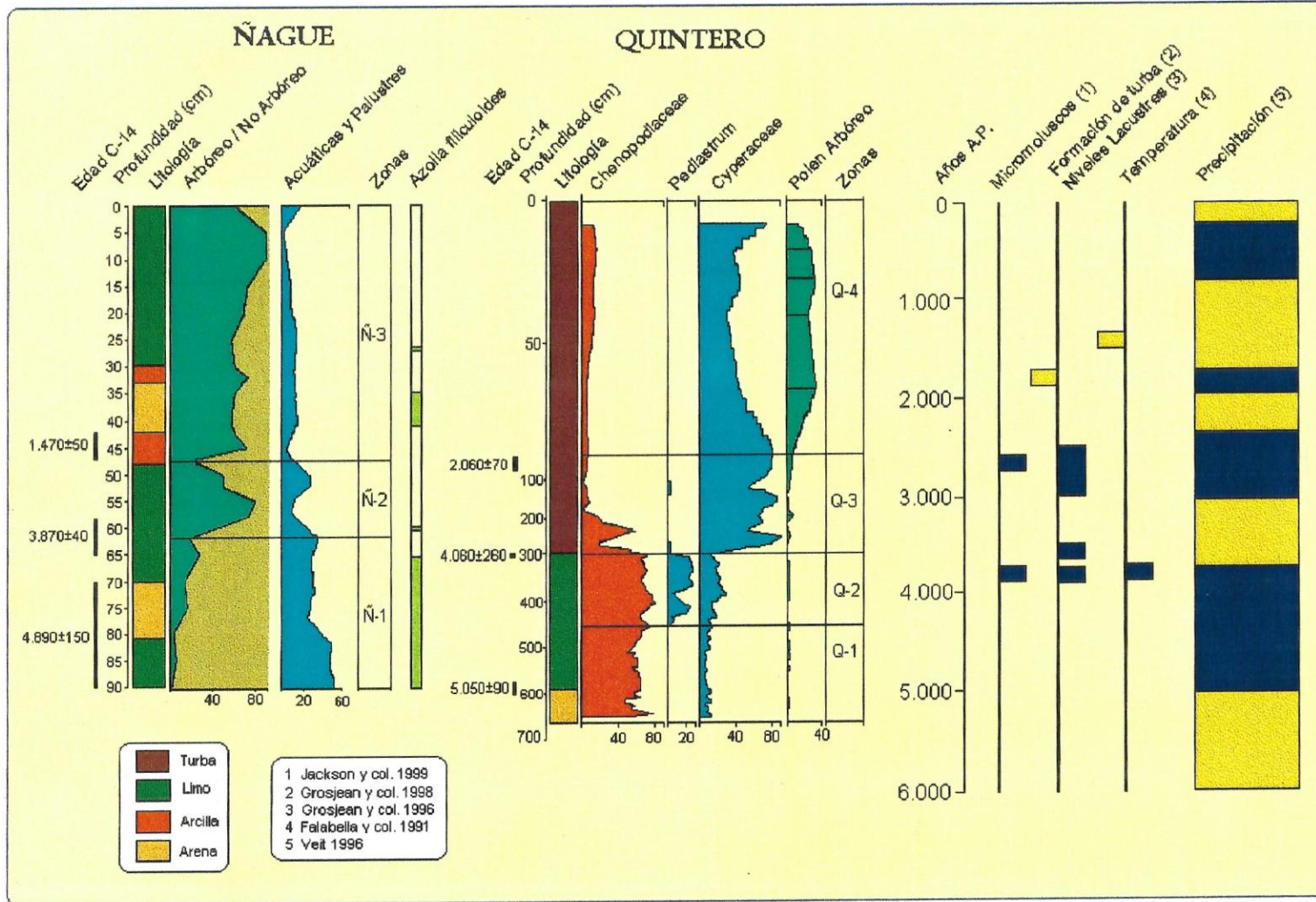
6.3. CORRELACIÓN REGIONAL

En la figura 9 se comparan los resultados del registro Ñague con otras evidencias paleoclimáticas existentes para 5^a y 4^a Regiones de Chile.

Los antecedentes paleoclimáticos publicados para Chile central-norte muestran prevalencia de condiciones más áridas que las actuales, durante el Holoceno medio (Heusser 1983, Ota & Paskoff 1993, Núñez y col. 1994, Grosjean y col. 1996, Núñez y col. 1995-96, Veit 1996). Aunque no se ha fechado con precisión la cronología de esta fase árida, todos los autores postulan que el máximo de aridez se habría producido, en algún momento, entre 6.000 a 5.000 años ^{14}C A.P., en sincronía con el máximo transgresivo del mar. Un clima seco para el Holoceno medio es consistente con las evidencias palinológicas del registro de Quintero II (Fig. 9) que muestra, entre alrededor de 5.000 y 4.500 años ^{14}C A.P., una zona polínica muy árida, con dominancia prácticamente exclusiva de las Chenopodiáceas. Entre 4.500 y 4.000 ^{14}C A.P. años, en este registro persistirían las condiciones áridas, evidenciadas por los máximos sostenidos de Chenopodiáceas, pero con desarrollo de lagunas, como lo muestra la presencia de la microalga *Pediastrum*, durante este tiempo. Como se expuso anteriormente, también en la columna Ñague la dominancia de polen no arbóreo sugería la existencia de un clima árido, durante la zona basal de la depositación de la secuencia estratigráfica, entre alrededor de 5.000 y 4.000 años ^{14}C A.P. De manera análoga a Quintero, en la columna Ñague la presencia de especies palustres y acuáticas, como *Azolla filiculoides*, sugerían formación de lagunas en este lapso. La formación de humedales, bajo condiciones de clima seco, podrían estar relacionadas con la formación de dunas este tiempo. En efecto, Caviedes (1972) ha postulado una expansión de los sistemas de dunas costeras, en la desembocadura del río Aconcagua, con

posterioridad al máximo transgresivo del mar del Holoceno medio, debido a la reactivación de los vientos del oeste. Es posible que avances de dunas de esta índole, obstruyan los cursos de agua, provocando su represamiento y la consecuente formación de vegas y lagunas, como lo han postulado varios autores para la región de Quintero (Villa-Martínez & Villagrán 1997; Castro 1984-85). Una situación análoga a la de Quintero podría haberse producido en Quebrada Ñague, por la formación de la Duna Ñague en su desembocadura.

La segunda zona polínica del registro Ñague, muestra la colonización y rápido establecimiento de vegetación arbórea en el área, a partir de aproximadamente 3.870 años ^{14}C A.P. hasta el tramo medio de la zona, alrededor de 2.700 años ^{14}C A.P. (edad interpolada). Este lapso ha sido interpretado como de condiciones más húmedas, por relación a las de la zona anterior. Distintos indicadores paleoclimáticos muestran concordancia con la instauración de un clima más húmedo, después de 4.000 años ^{14}C A.P. Por ejemplo, en el registro Quintero II de la costa de Chile central, se han postulado evidencias de condiciones más húmedas, a partir de los 4.000 años ^{14}C A.P., sobre la base del cambio de sedimentos desde limos a turbas y remplazo de las Chenopodiáceas por especies palustres de Ciperáceas (Villa-Martínez & Villagrán 1997). También los sedimentos de la secuencia estratigráfica Quintero I (Villagrán & Varela 1990) intergradan, desde arena, hacia arcilla-arenosa y arena turbosa, alrededor de los 3.800 años ^{14}C A.P. Otros tipos de indicadores paleoclimáticos también sugieren aumento de la humedad durante el lapso. Por ejemplo, el registro y fechados del molusco higrófilo *Radiodiscus* sp. (de



distribución actual al sur de Valdivia) en sitios arqueológicos de la costa de Los Vilos, sugiere incremento de la humedad a los 3.800 y 2.700 años ^{14}C A.P. (Jackson y col. 1999, Ms. en preparación). En el Valle del Encierro, en los Andes del Norte Chico ($\sim 29^\circ\text{S}$, 4.500 msnm), Grosjean y col. (1998) han fechado en 3.800 y 3.600 años ^{14}C A.P. la formación de turbas y en 2.600 años ^{14}C A.P. los avances de glaciares, ambos eventos atribuidos a un aumento de la humedad proveniente de los vientos del oeste. En los Andes de Copiapó, en Laguna del Negro Francisco ($27^\circ 28'\text{S}$, 4.500 msnm), los mismos autores (Grosjean y col. 1996) infieren un aumento de humedad a los 3.800 años ^{14}C A.P. y entre 3.000 y 2.600 años ^{14}C A.P., sobre la base de estudios sedimentológicos. En la costa de Chile central, en Laguna El Peral (ca. $33^\circ 30'\text{S}$), Falabella y col. (1991), sobre la base de análisis de $\delta^{18}\text{O}$ en conchas de moluscos, infieren condiciones más frías que las actuales hacia los 3.700 años ^{14}C A.P. Sobre la base de evidencias paleopedológicas, Veit (1996), postula condiciones húmedas en el Norte Chico, entre 3.000 y 2.400 años ^{14}C A.P. En conjunto, estos antecedentes sugieren que el aumento de humedad, registrado en Ñague entre 3.870 y 2.700 años ^{14}C A.P., tuvo un carácter regional, posiblemente debido a un incremento en la frecuencia de tormentas asociadas a los vientos del oeste, considerando que el análisis de $\delta^{18}\text{O}$ realizado por Falabella y col. (1991) indica temperaturas frías para este periodo.

Durante el transcurso medio a superior de la zona polínica Ñague-2, después de alrededor de los 2.700 años ^{14}C A.P. (edad interpolada), se registra

un retroceso del bosque que culmina con su práctica desaparición, alrededor de los 1.900 años ^{14}C A.P. (edad interpolada), condición que se mantiene hasta alrededor de los 1.500 años ^{14}C A.P. Las condiciones más cálidas y secas postuladas para este lapso (de alrededor de 400 años), también han sido registradas a una escala regional amplia, sobre la base de distintos indicadores paleoclimáticos. En los Andes de Copiapó, en la laguna del Negro Francisco, Grosjean y col. (1996) registran una disminución de la humedad, alrededor de 1.800 años ^{14}C AP. En la costa de Chile central, los sedimentos del perfil Quintero I muestran una disminución del contenido de materia orgánica, y un cambio de turbas a arenas turbosas, con posterioridad a los 1.720 años ^{14}C A.P. (Villagrán & Varela 1990). Para esta misma región, se han inferido temperaturas más cálidas que las actuales, a los 1.500 años ^{14}C A.P. (33°30'S, Falabella y col. 1991). Esta última evidencia es concordante con un desplazamiento hacia el sur del cinturón de vientos del oeste, postulado por Veit (1996) para el tiempo entre 700 y 1.700 años ^{14}C A.P.

La última zona polínica del perfil Ñague (zona 3), muestra la rápida reinstauración y desarrollo continuo de bosque en el área, aunque con fluctuaciones en los valores de concentración del polen arbóreo, rasgo que se observa más detalladamente en el diagrama de concentraciones. La reexpansión del bosque, alrededor de los 1.500 años ^{14}C A.P., es coetánea con el desarrollo de bosques pantanosos en varios sitios palinológicos de la costa de Chile central. Así por ejemplo, en el registro Quintero I, el actual bosque pantanoso de petras se instaura alrededor de los 1.720 ^{14}C A.P. y en Quintero

II, a los 2.000 años ^{14}C A.P. Análogamente, el sitio Santa Julia (Villagrán & Varela 1990, Villa-Martínez & Villagrán 1997), muestra el inicio de la depositación de turbas-arcillosas, y el desarrollo de formaciones pantanosas alrededor de los 1.300 años ^{14}C A.P. Hacia finales del registro Ñague se observan los máximos arbóreos, probablemente bajo condiciones algo más húmedas que las actuales, como las postuladas por Veit (1996), entre los 700 y 200 años ^{14}C A.P. Después de 200 años ^{14}C A.P., condiciones climáticas algo más secas son postuladas por Veit (1996), coherentes con el retroceso del bosque que se observa al final del registro Ñague. Sin embargo, no se puede descartar el efecto antrópico como causal del retroceso del bosque ya que, durante este lapso, se han registrado trazas de taxa exóticos, como *Pinus*.

7. CONCLUSIONES

Considerando las hipótesis específicas de la tesis, se puede concluir que:

1. El análisis de polen muestra que las formaciones de bosques pantanosos han permanecido durante gran parte del Holoceno tardío en el área estudiada, bajo condiciones de clima probablemente algo más húmedas que las actuales. Contrastan dos lapsos temporales, con condiciones de clima claramente más áridas: 5.000-4.000 años ¹⁴C A.P. (zona polínica 1) y 1.900-1.500 años ¹⁴C A.P. (interfase zonas polínicas 2 y 3), ambas con predominio de formaciones herbáceas. Los espectros polínicos fósiles muestran correspondencia con los análogos actuales ya que, en el análisis de componentes principales, se agrupan las muestras de polen atmosférico proveniente de los bosques pantanosos actuales con, prácticamente, todos los espectros fósiles, a excepción de los procedentes de los lapsos áridos mencionados.
2. A excepción del carbón, los sedimentos y macrorestos analizados son concordantes con los cambios de la vegetación. Durante los lapsos áridos se depositan arenas y arcillas, mientras que durante los lapsos húmedos predominan limos y limos arenosos. Los macrorestos de *Azolla* se distribuyen en zona basal de la columna, en concordancia con una vegetación no arbórea, con vegas y cuerpos de agua en el área.
3. Los patrones de asentamiento de los grupos humanos costeros del área de estudio muestran correspondencia cronológica con los cambios climático-vegetacionales registrados, con prevalencia de ocupaciones transitorias y

oportunistas, durante los lapsos secos con vegetación herbácea, y más estables y especializadas, durante los lapsos húmedos con desarrollo de bosques. El momento con máximo contenido de carbón en el registro estudiado, queda inserto dentro del lapso con ocupaciones permanentes en el área, luego puede corresponder a causas antrópicas.

4. Posiblemente, los cambios paleoambientales registrados en el área de estudio fueron determinados por cambios climáticos regionales, como se desprende de su buena correlación con los espectros polínicos de la costa de Chile central y del registro de indicadores húmedos (*Radiodiscus*, turbas, avances glaciares y temperaturas frías) en una amplia región geográfica que abarca el litoral y los Andes de la 3^a, 4^a y 5^a Regiones de Chile.

8. Bibliografía

Aceituno, P., 1988. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*, vol. 116, N° 3. pp.505-523.

Aceituno, P., 1990. Anomalías Climáticas en la Región Sudamericana durante los extremos de la Oscilación Austral. *Revista Geofísica*. 32. pp. 65-78.

Aceituno, P., H. Fuenzalida & B. Rosenblüth. 1990. Climate along the Extratropical West Coast of South America. International Workshop Earth system response to global change - Northern and southern contrasts, La Serena, Chile, december 2-4, pp. 14.

Almeyda, E. & F. Saez. 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura. Proyecto 14: Investigaciones Económicas Agrícolas. pp 6-183.

Andrade, B. & C. Castro. 1987. Antecedentes sobre la valorización y manejo de las costas arenosas en Chile. *Revista geográfica de Chile. Terra Australis*, 30. pp 23-37

Báez, P., J. Arata & D. Jackson. 1999. Extracción de "Locos", *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789), durante el Holoceno temprano - medio de Los Vilos, IV Región. En prensa.

Börgel, R. 1965. Mapa geomorfológico de Chile. Descripción geomorfología del territorio. Facultad de Filosofía y Educación. Instituto de Geografía. Universidad de Chile. pp 39-48.

- Caro, H., J. Ruiz, S. Santander & M.T. Serra. 1973. Estudio sistemático y ecológico de un relicto de aguas subterráneas ubicado en la provincia de Coquimbo. Tesis, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Castro, C. 1984-85. Reseña del estado actual de conocimiento de las dunas litorales en Chile. *Rev. Geo. De Chile. Terra Australis*, 28, pp. 13-32.
- Castro, C. 1987. Transformaciones geomorfológicas recientes y degradación de las dunas de Ritoque. *Revista geográfica Norte Grande (Chile)*, 14, pp 3-13.
- Caviedes, C. 1972. Geomorfología de Cuaternario del valle de Aconcagua, Chile Central. *Freiburger Geographische Schriften* 11, pp. 1-153.
- Di Castri, F & E. Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile. pp 50-108
- Dowing, T., F. Santibáñez, H. Romero, H. Peña, R. Gwynne, M. Ihl & A. Rivera. 1994. Climate change and sustainable development in the Norte Chico, Chile: Climate, water resources and agriculture. Research report N° 6, Environmental change unit, Oxford, and Occasional paper N° 35. School of Geography, Birmingham. pp 1-57.
- Fægri, K. & J. Iversen. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. 4^a Edition. Blackwell Scientific Publication.
- Falabella, F., M.T. Planella & A. Pollastri. 1991. Análisis de oxígeno 18 en material malacológico de Chile central. *Actas del XI Congreso Nacional de Arqueología Chilena*. Stgo de Chile. pp 105-121.

- Grimm, E. 1992. Software Tilia Program. Illinois State Museum. Research & Collection Center. Springfield, U.S.A.
- Grosjean, M., B. Valero-Garcés, M. Geyh, B. Messerli, U. Schotterer, H. Schreier & K. Kelts. 1996. Mid-and late-Holocene limnogeology of Laguna del Negro Francisco, northern Chile, and its palaeoclimatic implications. *The Holocene* 7. pp. 151-159.
- Grosjean, M., M.A. Geyh, B. Messerli, H. Schreier & H. Veit. 1998. A late-Holocene (<2.600 BP) glacial advance in the south-central Andes (29°S), northern Chile. *The Holocene* 8.4 pp. 473-479.
- Heusser, C. 1983. Quaternary pollen record from Laguna de Tagua Tagua, Chile. *Science*, vol. 219. pp. 1429-1431.
- Ihl, M. 1991. Cambios climáticos y patrones locales de los climas del Norte Chico usando imágenes NOAA/AVHRR. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. pp 1-226.
- Jackson, D. 1997. Coexistencia e interacción de comunidades cazadores-recolectores del arcaico temprano en el semiárido de Chile. Valles. *Revista de estudios regionales*, N°3 Museo de la Ligua-Chile. pp.13-36.
- Jackson, D. & R. Seguel. 1994. Patrones de Asentamientos, Subsistencia y Cambios Secuenciales en las Ocupaciones Prehispánicas de la Comuna de Los Vilos, Provincia del Choapa. Informe final Proyecto FONDECYT 91-0026.
- Jackson, D. & A. Rodríguez. 1998. Ocupación del Complejo El Molle en la costa de Los Vilos, provincia del Choapa. *Boletín Sociedad Chilena de Arqueología*. N° 26. pp.19-21.

- Jackson, D. & G. Ampuero. 1992. Comentario a una datación radiocarbónica para el Arcaico medio del Norte Chico. Boletín Sociedad Chilena de Arqueología. Nº 15. pp. 11-13.
- Jackson, D., P. Baez, R. Seguel & J. Arata. 1996. Campamento arcaico para la explotación del intermareal: Significado del desconche local de moluscos. Valles. Revista de estudios regionales, Nº2 Museo de la Ligua-Chile. pp.89-109.
- Jackson, D., P. Báez & J. Arata. 1999. Composición Malacológica, estrategia de subsistencia y Cambios Paleoambientales en un asentamiento Arcaico, Norte Chico de Chile. Revista de Malacología Medica y Aplicada. México, D.F. En Prensa
- Jackson, D., M. Barrera, L., Contreras & I. Martínez. 1999. Excavaciones estratigráficas de rescate del sitio Arqueológico LV 046 b. Punta Chungo, Los Vilos, Provincia del Choapa. Ms. en preparación.
- Le Quesne, C., Villagrán & R. Villa 1999. Historia de los bosques relictos de "olivillo" (*Aetoxicon punctatum*) y Mirtáceas de la Isla Mocha, Chile, durante el Holoceno tardío. Revista Chilena de Historia Natural 72: pp. 31-47.
- Looser, G.1944. Anotaciones fitosociológicas sobre la región de Quintero. Revista Universitaria (U. Católica de Chile) 29: pp. 27-33.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. Wiley International, NY.
- Munsell 1994. Soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. N.Y.

- Nuñez, L., J. Varela & R. Casamiquela. 1977. The Paleo-Indian Occupation at Quereo: Multidisciplinary Reconstruction in the Semiarid Region of Chile. National Geographic Society. Research Reports. pp. 551- 561
- Nuñez, L., J. Varela, R. Casamiquela & C. Villagrán. 1994. Reconstrucción Multidisciplinaria de la Ocupación Prehistórica de Quereo, Centro de Chile. Latin American Antiquity. Vol. 5 (2), pp. 99-118.
- Núñez, L., M. Grosjean, B. Messerli & H. Schreliier. 1995-96. Cambios ambientales holocénicos en la puna de Atacama y sus implicancias paleoclimáticas. Estudios Atacameños N° 12. pp. 31-40.
- Ortlieb, L., 1995. Eventos El Niño y Episodios Lluviosos en El Desierto De Atacama: El Registro De Los Dos Últimos Siglos. Bull. Inst. Fr. études andines. 24 (3): pp. 519-537.
- Ota, Y. & R. Paskoff, 1993. Holocene Deposits on the Coast of North-Central Chile: Radiocarbon Ages and Implications for Coastal Changes. Revista Geológica de Chile. Vol. 20. pp.25-32.
- Paskoff, R. 1993. Geomorfología de Chile Semiárido. Universidad de La Serena. Facultad de Humanidades. pp 1-321.
- Pielou, E. C. 1984. The Interpretation of ecological data. John wiley & Sons, Inc. pp. 1-263.
- Prieto, X. 1995-96. Geomorfología del Sector Costero de la Comuna de Los Vilos. Informe FONDECYT. Proyecto N° 1950372. Primer Año.

- Prieto, X. 1996-97. Geomorfología de los Sitios Arqueológicos del Sector Costero de Los Vilos. Informe FONDECYT. Proyecto N° 1950372. Segundo Año.
- Ramírez, C., F. Ferriere & H. Figueroa. 1983. Estudio fitosociológico de los bosques pantanosos templados del Sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 56: pp. 11-26.
- Ramírez, C., C. San Martín & J. San Martín. 1995. Estructura florística de los bosques de Chile Sur-Central. Cap 11, pp 215-234. En *Ecología de los bosques nativos de Chile*. J. Armesto, C. Villagrán y M Kalin. Edit. Universitaria
- Rivano, S. & O. Sepulveda. 1991. Carta geológica de Chile: Hoja Illapel N° 69. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago. Chile.
- Romero, H. & A. Rivera. 1991. Efectos regionales de los cambios globales en el Norte Chico. I Taller internacional de geoecología de montaña y desarrollo sustentable de los Andes del Sur. Santiago y Norte de Chile. Octubre y Noviembre. pp 151 156.
- Romero, H., A. Rovira & G. Véliz. 1988. Geografía de la IV región "de Coquimbo". En *Geografía de Chile*. Instituto Geográfico Militar. Santiago Chile.
- San Martín, J., A. Troncoso & C. Ramirez. 1988. Estudio Fitosociológico de los Bosques Pantanosos Nativos de la Cordillera de la Costa en Chile Central. *Bosque*. 9 (1), pp. 17-33.

- San Martín, J., A. Troncoso, C. Ramírez, C. San Martín & A. Duarte. 1990. Estudio florístico y vegetacional de los bosques pantanosos nativos de la Cordillera costera entre los ríos Rapel y Mataquito, Chile central. *Revista geográfica de Chile. Terra Australis*, 33, pp. 103-128.
- Stockmarr, J. 1971. Tablets with Spores used in Absolute Pollen Analysis. *Pollen et Spores*. 13(4). pp.615-621.
- Van Husen, C. 1967. Klimagliederung in Chile auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen der Niederschlagssummen. pp 1-113.
- Varela, J. 1981. Geología del Cuaternario del Area de Los Vilos-Ensenada El Negro (IV Región) y su Relación con la Existencia del Bosque "Relicto" de Quebrada Quereo. Congreso Internacional de Zonas Áridas y Semiáridas. La Serena, Chile. Comunicaciones N° 33, pp.17-30.
- Veit, H. 1991. Aspectos geomorfológicos y pedológicos sobre cambios climáticos durante el Cuaternario Superior en el Norte Chico, Chile. I Taller Internacional de Geoecología de Montaña y Desarrollo Sustentable de los Andes del Sur. Santiago y Norte de Chile, pp.53-51.
- Veit, H. 1996. Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27-33°S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 123. pp 107-119.
- Villa-Martínez, R. & C. Villagrán. 1997. Historia de la vegetación de bosques pantanosos de la costa de Chile central durante el Holoceno medio y tardío. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: pp. 391-401.

Villagrán, C. 1982. Estructura florística e historia del bosque pantanoso de Quintero (Chile, V Región) y su relación con las comunidades relictuales de Chile Central y Norte Chico. Actas del III Congreso Geológico Chileno. Concepción, Noviembre 1982. pp. 377-402.

Villagrán, C. & J. Varela. 1990. Palynological Evidence for Increased Aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. Quaternary Research 34, pp. 198-207.