

UCh-Fc  
MAG-B  
V712  
c. 1

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL HOLOCENO DE LA COSTA DE  
CHILE CENTRAL BASADA EN ANÁLISIS DE POLEN EN SEDIMENTOS DE  
BOSQUES PANTANOSOS

Tesis  
entregada a la  
Universidad de Chile  
en cumplimiento parcial de los requisitos  
para optar al grado de  
Magister en Ciencias con mención en Biología

Facultad de Ciencias

por

Rodrigo Patricio Villa Martínez

ENERO 1995

Director Tesis: Dra. Carolina Villagrán Moraga



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

I N F O R M E   D E   A P R O B A C I O N  
T E S I S   D E   M A G I S T E R

Se informa a la comisión de postgrado de la Facultad de Ciencias que la tesis de Magister presentada por el candidato:

RODRIGO PATRICIO VILLA MARTINEZ

Ha sido aprobada por la comisión de evaluación de la Tesis como requisito de tesis para optar al grado de Magister en Ciencias con mención en Biología, en el Examen de Defensa de Tesis rendido el día 13 de Diciembre de 1994.

Director de Tesis:

Dr. Carolina Villagrán .....



Comisión de Evaluación de la Tesis

Dr. Juan Armesto Zamudio .....

Dr. Humberto Fuenzalida P. ....

Dr. Alejandro Troncoso A. ....



## DEDICATORIA

A mi esposa **Jessica**  
por su apoyo y amor incondicional  
durante estos años  
a mi hijo **Nicolás**  
por darme tantas satisfacciones,  
a pesar de su corta edad

A mis padres: **Miguel y Ana Luisa**  
por su apoyo constante en mi educación  
y por su fe en mí. A mis hermanos **Miguel,**  
**Juliana y Maribel.**

Por el tiempo que no he podido dedicarles  
a todos.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora, Dra. Carolina Villagrán, por su ayuda constante en el desarrollo de esta tesis y por soportar durante tanto tiempo mis errores.

A mis amigos Luis Felipe Hinojosa, Juan Carlos Aravena, Héctor Jiménez, Cecilia Pérez y Patricio Moreno por su cooperación decisiva en los trabajos de terreno. En especial a J Aravena y P. Moreno por sus valiosos aportes y discusión de los resultados. A Mario Briceño por su ayuda en el tratamiento químico de las muestras al comienzo de esta tesis.

A la Dra. Marta Paez y Lic. Claudio Pérez, de la Universidad Nacional de Mar de Plata (Argentina) por su ayuda en el tratamiento estadístico de los resultados.

A los doctores Juan Armesto, Humberto Fuenzalida y Alejandro Troncoso por los valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron la versión final.

Al señor Hernán Beltrán y señora María Muñoz, por haberme recibido en su casa y hacerme la estadía en la capital mucho más grata.

Esta tesis fue financiada por los proyectos Fondecyt 91-0844, SAREC y PG 101-93 del Depto. de Postgrado y Postítulo, Dirección Académica y Estudiantil de la Universidad de Chile.

## INDICE DE MATERIAS

	página
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE FOTOS .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
AREA DE ESTUDIO .....	9
MÉTODOS .....	15
Muestreo de la flora y vegetación .....	15
Muestreo del polen actual, lluvia de polen y polen fósil .....	14
Análisis de laboratorio .....	15
Concentración e influjo de polen .....	17
Tratamiento estadístico .....	18
RESULTADOS .....	23
Descripción de la vegetación .....	23
Descripción del polen atmosférico .....	31
Ordenación y Clasificación de la vegetación y polen atmosférico .....	37
Análisis de la relación vegetación/ polen atmosférico .....	40

<b>Estratigrafía y análisis de polen</b>	
<b>de los registros .....</b>	<b>42</b>
Estratigrafía perfil Quintero .....	42
Estratigrafía perfil Puente Santa Julia .....	44
Registro Polínico de Quintero .....	44
Registro Polínico Puente Santa Julia .....	51
<b>Análisis de la relación lluvia de polen</b>	
<b>actual y fósil: Búsqueda de análogos</b>	
<b>modernos .....</b>	<b>56</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
Relación vegetación y polen atmosférico.....	61
Historia de la vegetación y del clima	
basada en el análisis de polen fósil.....	63
Reconstrucción paleoambiental: Modelo	
de la evolución del litoral de	
Chile central y sucesión vegetacional.....	66
Comparación de los resultados	
con los registros paleoambientales	
de Chile central.....	71
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 5 .....</b>	<b>115</b>

ANEXO 6 ..... 116

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Distribución geográfica de los bosques pantanosos en Chile Central-Sur. Fuentes: San Martín et al. 1988, San Martín et al. 1990, Ramírez et al. 1983 y Villagrán 1982.
- Figura 2: Situación geográfica y geomorfología del área de estudio. Ubicación de los registros de polen fósil, muestreos de vegetación y lluvia de polen actual. Fuentes: Castro 1984-85; Castro 1987 y Andrade & Castro 1987.
- Figura 3: Diagramas climáticos de Quintero. A) Según Di Castri & Hajek (1976); B) Periodo 1988-1992, Anuarios Meteorológicos, Dirección Nacional de Meteorología.
- Figura 4: Esquema de las grandes unidades de vegetación del área del bosque pantanoso "Las Petras", Quintero; los números 3-14, indican los muestreos de vegetación y lluvia de polen actual. El asterisco indica el lugar de barrenaje del perfil Quintero.
- Figura 5: Composición florística y frecuencias relativas (%) de los taxa en las unidades de vegetación estudiadas.
- Figura 6: Diagrama de frecuencias relativas (%) de los taxa en la lluvia de polen actual del área de Quintero.
- Figura 7: Análisis de componentes principales de las variables en la vegetación.
- Figura 8: Análisis de componentes principales de las

variables en la lluvia de polen actual. 1: *Lithrea*; 2: *Schinus*; 3: *Adenopeltis*; 4: *Cryptocarya*; 5: *Maytenus*; 6: *Azara*; 7: *Adiantum*; 8: *Cruciferae*; 9: *Ephedra*; 10: *Compositae-Tubuliflorae*; 11: *Umbellíferas*; 12: *Myrceugenia*; 13: *Rubiáceas*; 14: *Rubus*; 15: *Escallonia*; 16: *Equisetum*; 17: *Drimys*; 18: *Cissus*; 19: *Trifolium*; 20: *Gunnera*; 21: *Azolla*; 22: *Selliera*; 23: *Chenopodiáceas*; 24: *Compositae-Liguliflorae*; 25: *Blechnum*; 26: *Triglochin*; 27: *Phylla*; 28: *Cyperáceas*; 29: *Gramíneas*.

Figura 9: Análisis de Conglomerados para las muestras de vegetación (V) y polen atmosférico (L).

Figura 10: Estratigrafía de los perfiles Quintero y Puente Santa Julia.

Figura 11: Diagrama de porcentajes (%) de polen del registro Quintero.

Figura 12: Diagrama de concentración (granos por cm<sup>3</sup> de sedimento) de polen del registro Quintero.

Figura 13: Diagrama de influjo polínico (granos por año por cm<sup>2</sup> de sedimento) del registro Quintero.

Figura 14: Diagrama de porcentajes (%) polínicos del registro Puente Santa Julia.

Figura 15: Diagrama de concentración (granos por cm<sup>3</sup> de sedimento) de polen del registro Santa Julia.

Figura 16: Diagrama de influjo de polen (granos por año por cm<sup>2</sup> de sedimento) del registro Puente Santa Julia.

Figura 17: Análisis de componentes principales de los muestreos de lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm de las muestras) del registro Quintero.

Figura 18: Análisis de componentes principales de los muestreos de lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm de las muestras) del registro Puente Santa Julia.

Figura 19: Modelo de la evolución del litoral y de la vegetación del área de estudio.

Figura 20: Estratigrafía de los perfiles Quintero (A, esta tesis), Quintero (B) y Quereo (C) de Villagrán & Varela (1990).

## LISTA DE FOTOS

FOTO 1: Matorral Esclerófilo en la ladera oriental de las dunas de Ritoque, Quintero.

FOTO 2: Sector emergido del bosque pantanoso de Quintero.

FOTO 3: Sector inundado del bosque pantanoso de Quintero.

FOTO 4: *Scirpus californicus*, especie dominante de la vegetación de pantano.

FOTO 5: Praderas inundables de Chenopodiáceas, cercanas de al pantano.

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Resumen de los indicadores polínicos de las unidades de vegetación en la lluvia polen actual.

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Lista florística del sector del bosque pantanoso de Quintero y Santa Julia, y de la vegetación de matorral esclerófilo. El asterisco indica especie introducida.

ANEXO 2: Flora polínica actual.

ANEXO 3: Clave de identificación de polen.

ANEXO 4: Niveles de distinción de taxa en la lluvia de polen.

ANEXO 5: Análisis de conglomerados de los muestreo de la lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos del registro Quintero (profundidad en cm.).

ANEXO 6: Análisis de conglomerados de los muestreos de la lluvia de polen (L) y los niveles estratigráficos del registro Puente Santa Julia (profundidades en cm.).

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es reconstruir la historia climático-vegetacional de la costa de Chile central durante el Holoceno, en base al análisis de polen fósil de dos localidades provenientes del litoral de Chile central, uno en Quintero ( $32^{\circ}47'S$ ) y el otro en Santa Julia ( $32^{\circ}49'S$ ). Estos perfiles documentan la historia holocénica del área durante los últimos 5000 años. Para ambas localidades se obtuvo diagramas porcentuales de polen, de acuerdo a métodos convencionales, y valores absolutos de polen en base a análisis de concentración e influjo. En la búsqueda de análogos modernos para la interpretación botánica de las secuencias polínicas estudiadas, se realizó, adicionalmente, un análisis estadístico de la relación existente entre la vegetación actual, el polen atmosférico y los espectros fósiles.

El análisis de polen fósil realizado permite establecer la siguiente secuencia temporal de eventos: Una fase inicial de playa comienza a ser colonizada por Chenopodiáceas, probablemente halófitas, y Gramíneas antes de 5000 años A.P.. La abundancia del taxon alóctono *Ephedra*, y la condición arenosa de los sedimentos, indican que la cobertura de la vegetación era baja y tenía un carácter seco. Desde los 4500 años A.P., el aumento de los

taxa acuáticos, como *Typha*, *Myriophyllum* y el alga *Pediastrum*, indican el establecimiento de una laguna de aguas someras que aún estaría circundada por vegetación de playa, como lo muestra la persistencia de las Chenopodiáceas. A los 4000 años A.P. se produce un cambio importante, probablemente determinado por un aumento de la humedad. Este consiste en un reemplazo de los sedimentos de limo por una turba de Cyperáceas, desaparición de las Chenopodiáceas halófitas y aumento de las Cyperáceas y Rubiáceas. La última fase, fechada en 2000 años A.P. para el perfil Quintero y en 1450 años A.P. para el perfil Santa Julia, se caracteriza por la aparición de los taxa del bosque actual (*Escallonia* y *Myrceugenia*), y un aumento de las especies acuáticas y de los helechos de sotobosque. Las condiciones climáticas de esta última fase habrían sido similares a las actuales. Considerando esta secuencia, y los factores geomorfológicos y climáticos involucrados, se propone un modelo reconstructivo de la evolución del litoral y la vegetación del área de estudio.

El análisis estadístico de la relación vegetación-polen atmosférico muestra que la lluvia de polen actual refleja fielmente la vegetación del área, tanto en composición como en abundancias de los taxa dominantes. Los análisis de analogía entre el polen atmosférico y fósil de los registros Quintero y Santa Julia, muestran que la mayoría de los espectros fósiles tienen análogos en la vegetación

actual del área de estudio. Una excepción lo constituye la vegetación rala de halófitas y Chenopodiáceas de la base del perfil Quintero, existente antes de 4500 años A.P., la cual solamente muestra analogía con una muestra de polen actual proveniente de las praderas más alejadas de las formaciones pantanosas actuales.

La interpretación climática de las secuencias polínicas estudiadas concuerda con las cronologías establecidas por otros autores para la zona, y reafirman la existencia de climas más cálidos y secos que el actual en el Holoceno medio de Chile central, antes de 4500 años A.P. A partir de los 4000 años A.P., el clima se habría tornado relativamente más húmedo y fresco. Durante los últimos 2000 años se habrían establecido las actuales condiciones climáticas en la zona.

#### ABSTRACT

The objective of this thesis was to reconstruct the climatic and vegetational history of the central Chilean coast along the Holocene, based in fossil pollen analyses. Two data sets from coastal sites in central Chile, dating from 5000 years B.P.: Quintero (32°47'S), and Santa Julia (32°49'S) were used. For both sequences, percent pollen diagrams, and absolute pollen values were determined using conventional methods; and influx and concentrations, respectively. In

order to interpret the results, a statistical analysis of the relation between present-day vegetation and current atmospheric pollen values was developed.

Fossil pollen analyses suggest the following temporal sequence: an initial beach condition that was colonized by Chenopodiaceae, probably halophytic, and grasses (Gramineae) before 5000 years B.P.. The abundance of the alloctonous taxa *Ephedra*, and the frequency of sandy sediments, indicate that vegetational cover was low, and suggests dry climatic conditions. From 4500 years B.P., the rise in aquatic taxa such as *Typha*, *Myriophyllum*, and the alga *Pediastrum*, would indicate the establishment of a shallow lagoon, surrounded by beach vegetation, as shown by the persistence of some Chenopodiaceae. At around 4000 years B.P., an important change takes place, as indicated by a rise in humidity. This change is marked by the difference in the nature of sediments, from limos to peat dominated by Cyperaceae, the disappearance of halophytic Chenopodiaceae, and the rise of Cyperaceous and Rubiaceus taxa. The more recent phases, dated around 2000 years BP for the Quintero profile, and 1450 years BP for the Santa Julia profile, are characterized by the presence of present-day forest taxa (e.g., *Escallonia* and *Myrceugenia*), and a rise in aquatic species, plus the presence of sub-canopy ferns. Climatic conditions during these last phases would be as today. Considering this sequence, and geomorphologic and climatic

factors, I propose a model of the littoral and vegetation evolution in the study site.

The statistical analysis of the relationship between present-day vegetation and current pollen rain, reflects a strong correlation between these values. The concordance between atmospheric pollen and fossil pollen data shows that most fossil spectra have current vegetation analogues. An exception is the sparse halophytic-chenopodiaceous vegetation that existed at the Quintero site at around 4500 years B.P. This condition is only present in the prairie vegetation, now found only far away from the study site.

The climatic interpretation of fossil pollen spectra is concordant with the other chronologies established for this zone, and reaffirm the existence of a warmer and driest climate in the mid-Holocene in central Chile, before 4500 years B.P.. Since 4000 years BP, more humid and fresh climates have prevailed. Present day conditions were established at least 2000 years ago.

## INTRODUCCIÓN

El clima de Chile central ( $32^{\circ}$ - $39^{\circ}$ S), es de tipo mediterráneo, con lluvias en el invierno y verano seco. Está regido principalmente por la influencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur, cuya posición promedio se localiza en torno a los  $30^{\circ}$ S y presenta un ciclo anual de desplazamiento entre los  $20^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ S. Las lluvias de invierno en la región están asociadas a la posición más boreal del Anticiclón, dentro de su ciclo anual (Aceituno et al 1990). Adicionalmente, anomalías climáticas en esta región han sido relacionadas a fenómenos globales de la circulación atmosférica, como la Oscilación del Sur (OS). Durante la fase negativa de la OS, la presión es anormalmente baja en el dominio del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur; esta situación ha sido vinculada con una tendencia hacia inviernos cálidos y más húmedos en Chile central (Aceituno et al 1990).

El carácter de transición climática (Fuenzalida 1970, Aceituno et al. 1990) que posee Chile central determina una marcada heterogeneidad latitudinal de la vegetación, desde matorral semiárido en el norte, bosques y matorral esclerófilo en el centro, y bosques deciduos de roble (*Nothofagus obliqua*) en el sur (Schmithüsen 1956). Estas características de la región la hacen particularmente

sensible para el registro de los cambios de vegetación y clima que han ocurrido en el pasado.

Esta tesis se centra en las formaciones de bosques pantanosos de la costa de Chile central. Estos bosques pantanosos tienen una amplia distribución latitudinal en Chile, aunque fragmentada, desde Coquimbo a Puerto Montt (San Martín et al. 1988). La Figura 1 muestra la distribución de estos bosques, que han sido publicados. En el Norte Chico y zona central, los bosques pantanosos se sitúan preferentemente en quebradas de la Cordillera de la Costa, mientras que en la zona sur se encuentran en el Valle Longitudinal y en los faldeos de ambas cordilleras. Se desarrollan siempre en suelos con mal drenaje o con anegamiento estacional (Ramírez et al. 1983, San Martín et al. 1988). Los taxa dominantes son varias especies de Myrtaceae: *Luma chequen* en el Norte Chico, *Myrceugenia exsucca* en la región Central-Sur, y *Blepharocalyx cruckshanksii* en la Región de los Lagos. Especies comunes en todo el rango de distribución son: *Drimys winteri*, *Escallonia revoluta*, *Aristotelia chilensis*, *Cissus striata*, *Boquila trifoliolata*, *Blechnum chilense*, *Gunnera tinctoria*, *Equisetum bogotense*, *Cyperus eragrostis* y *Scirpus cernuus* (Villagrán 1982, Looser 1944, Ramírez et al. 1983, San Martín et al. 1988).

Estos bosques se desarrollan comúnmente en fosas tectónicas (Varela, 1981), en depresiones dunarias

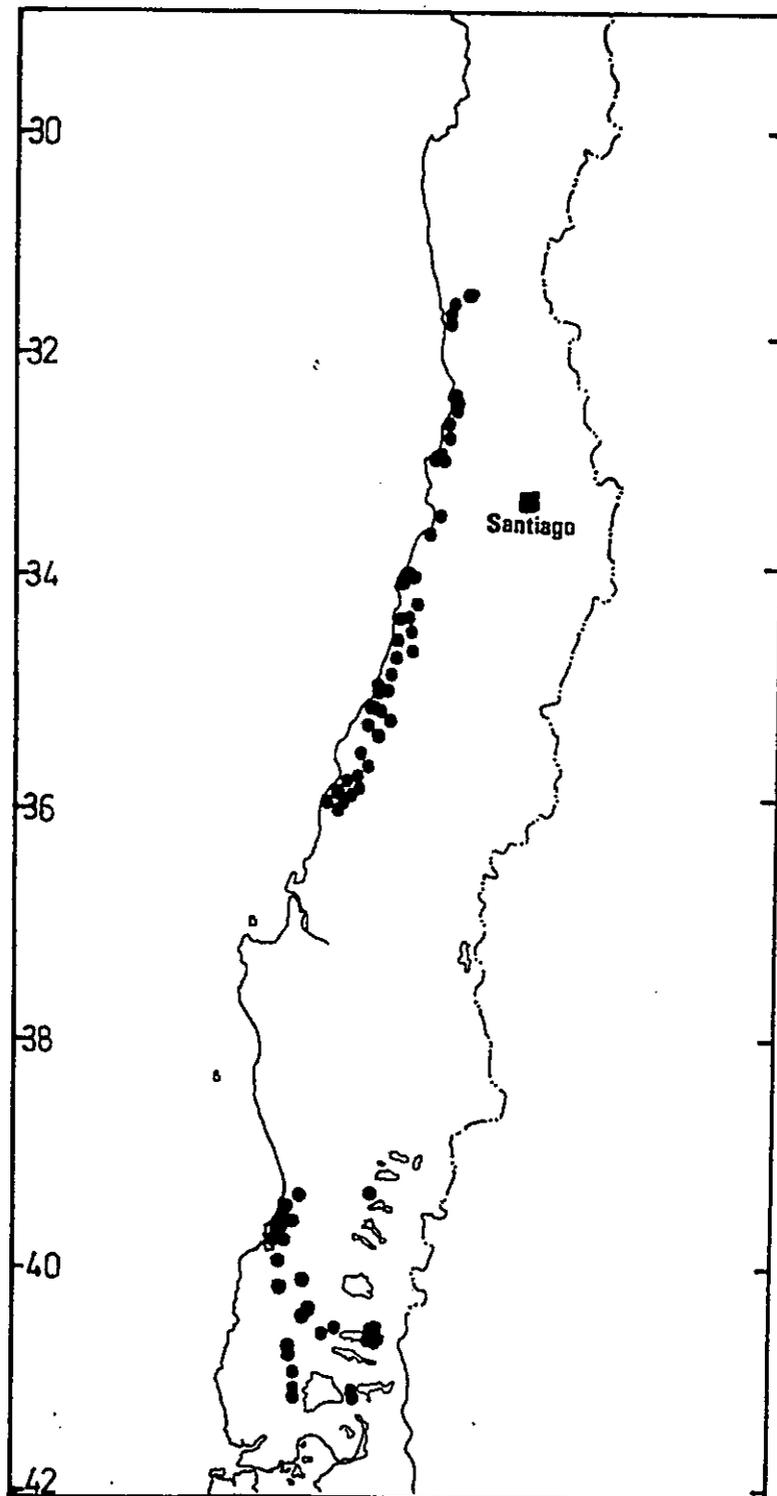


FIGURA 1: Distribución geográfica de los bosques pantanosos citados en la literatura para Chile central-sur. La disyunción entre los 36° y 39°S, puede reflejar insuficientes muestreos en esa área. Fuentes: San Martín et al 1988, San Martín et al 1990, Ramírez et al 1983 y Villagrán 1982.

(Castro 1987) y en fondos de quebradas (San Martín et al. 1988). Esta geomorfología permite la alimentación constante con aguas subterráneas que se concentran en estos sitios (Varela, 1981, Castro 1984-85); por ello, la vegetación tiene un carácter azonal y dependiente de la humedad edáfica permanente (San Martín et al. 1988).

La rápida acumulación de materia orgánica que se produce en estas áreas posibilita la obtención de potentes columnas de sedimentos para análisis de polen fósil. Dos registros palinológicos realizados en bosques pantanosos de Chile central (Villagrán & Varela 1990) sugieren que durante el Holoceno (los últimos 10000 años) la vegetación de estos bosques ha sufrido notables modificaciones. El registro de Quebrada Quereo (32°S), en el litoral semiárido, muestra un cambio importante de vegetación a inicios del Holoceno. En torno a 10000 años A.P. desaparecen los taxa palustres y las trazas de polen arbóreo del área y comienza a dominar una vegetación de matorral semiárido. Según Villagrán & Varela (1990), este cambio de vegetación indicaría que las condiciones cambiaron desde húmedas en el Tardiglacial a secas en el Holoceno. La vegetación semiárida habría dominado gran parte del Holoceno; en torno a los 3,000 años A.P., en probable asociación con condiciones de mayor humedad, se registra un aumento de taxa palustres y arbóreos. Una muestra obtenida en el bosque pantanoso de Quintero (32°47'S), fechada en 3,800 años A.P.,

según los mismos autores registra exclusivamente taxa no arbóreos (*Ephedra*, Compositae, Chenopodiaceae/Amaranthaceae). A partir de 1,720 años A.P., el registro del bosque de Quintero documenta la colonización de los actuales elementos de bosque (*Drimys*, *Myrceugenia* y *Escallonia/Aextoxicon*), reflejando condiciones de mayor humedad (Villagrán & Varela 1990). Ambos registros sugieren que gran parte del Holoceno de la costa de Chile central tuvo un clima más seco que el actual y solamente en el Holoceno tardío habrían existido condiciones de mayor humedad. Las evidencias geomorfológicas y paleopedológicas establecidas por Veit (1991, 1993) para el Norte Chico (30°S) muestran que durante los últimos 5000 años han ocurrido varias fluctuaciones climáticas. Según este autor (com. pers.) ocurrieron fases más húmedas entre 5100 y 4500, entre 3700 y 2500, y los últimos 1800 años A.P., y fases más secas entre 4500 y 3700, y entre 2500 y 1800 años A.P.

## OBJETIVO GENERAL

El propósito de esta tesis es proponer una reconstrucción de la historia climática y vegetacional de la costa de Chile central durante el Holoceno medio y tardío, en base a análisis de polen fósil proveniente de sedimentos obtenidos en bosques pantanosos. El área de estudio se encuentra entre la ciudad de Quintero y el estero Mantagua,  $32^{\circ}47'-32^{\circ}52'S$  y  $71^{\circ}28'-71^{\circ}32'W$ , alrededor de 10 m de altitud.

La historia vegetacional de los bosques pantanosos se interpretará en base a análogos modernos, establecidos mediante análisis de la relación vegetación-polen atmosférico. Adicionalmente, se intentará correlacionar los cambios pasados de la vegetación con los cambios climáticos y las fluctuaciones del nivel del mar durante el Holoceno documentados en la literatura.

Se espera que los períodos de mayores temperaturas y/o menores precipitaciones se expresen en los registros de polen a través de la dominancia de los indicadores herbáceos de las playas del litoral y del matorral xerofítico del Norte Chico como Asteraceae, Chenopodiaceae y *Ephedra*. Villagrán & Varela (1990) sugieren que *Ephedra* es un indicador de transporte a larga distancia.

Su presencia en los perfiles indicaría vegetación abierta y de baja cobertura, hechos que permiten una mayor expresión de polen foráneo. Condiciones climáticas equivalentes a las actuales de Chile central se espera queden expresados por los indicadores del bosque esclerófilo como *Lithrea* y *Schinus*, que crecen actualmente en lugares abiertos y asoleados (Rodríguez et al. 1983), u otros como *Peumus*, *Cryptocarya* y *Beilschmedia*, que crecen en quebradas más húmedas en Chile central. Taxa acuáticos y palustres, como *Cyperaceae*, *Myriophyllum*, *Gunnera* y *Blechnum*, indicarían períodos más húmedos, con formación de lagunas y pantanos. El registro del elemento de los bosques pantanosos actuales, como *Escallonia*, *Cissus*, *Myrceugenia* (posiblemente *M. exsucca*) y *Drimys winteri* indicarían condiciones equivalentes a los observados en el sitio de estudio. Tanto *M. exsucca* como *D. winteri* son taxa endémicos de los bosques subántarticos y de carácter higrófilo (Rodríguez et al. 1983). *Cissus* y *Escallonia* se encuentran en lugares húmedos y sombríos, generalmente en quebradas (Rodríguez et al. 1983, Hoffmann 1982) donde las temperaturas son levemente más bajas que en los lugares abiertos. Por tanto, en la actualidad, estos taxa indican condiciones locales en Chile central con temperaturas más bajas y mayores precipitaciones que en la región en general.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analizar la relación vegetación/lluvia de polen actual en el área de estudio, en base a muestreos y análisis de la vegetación y del suelo superficial, utilizado este último como captador del polen atmosférico.
- 2) Determinar y cuantificar el contenido polínico a lo largo de dos columnas de sedimentos provenientes de la costa de Chile central, a fin de establecer una secuencia temporal del desarrollo de la vegetación en el área de estudio.
- 3) Definir y fechar los niveles estratigráficos en que ocurren los principales cambios florísticos en los dos perfiles de polen fósil estudiados, y correlacionar ambos registros en base a los fechados, sedimentos y tasas de sedimentación.
- 4) Reconstruir la historia de la vegetación documentada en ambos registros e interpretar el paleoclima, considerando los análogos modernos obtenidos del análisis de la relación lluvia de polen/vegetación actual.
- 5) Proponer un modelo de la evolución del litoral y de la vegetación en el área de estudio, considerando las evidencias paleoambientales documentadas en la literatura.

## AREA DE ESTUDIO

La figura 2, muestra la situación geográfica y la geomorfología del área de estudio y los dos sitios seleccionados para el análisis de polen fósil: los bosques pantanosos de Quintero ( $32^{\circ}47'S-71^{\circ}30'W$ ) y Santa Julia ( $32^{\circ}49'S-71^{\circ}29'W$ ).

El clima regional ha sido clasificado como mediterráneo, semiárido y con influencia marítima por Di Castri y Hajek (1976). Este tipo de clima esta caracterizado por bajos niveles de precipitaciones, concentradas entre los meses de mayo-agosto (Figura 3), con una media anual de 281 mm. Los meses restantes presentan condiciones secas. La dirección predominante de los vientos es W, aunque en los meses invernales la dirección cambia a NW (Miller 1976). Las temperaturas promedios varían entre 9.3 y 15.8 °C, siendo la temperatura máxima promedio de 19°C y la mínima promedio de 10.7°C. La zona presenta una alta humedad relativa (82%), y alta nubosidad, casi diariamente. Estos dos últimos rasgos están directamente asociados a la influencia oceánica y a la posición de la capa de inversión térmica, que en invierno se ubica a menos de 500 m sobre el nivel del mar (Miller 1976, Fuenzalida 1970, Levi 1956).

En la Figura 2 se muestra la geomorlogía

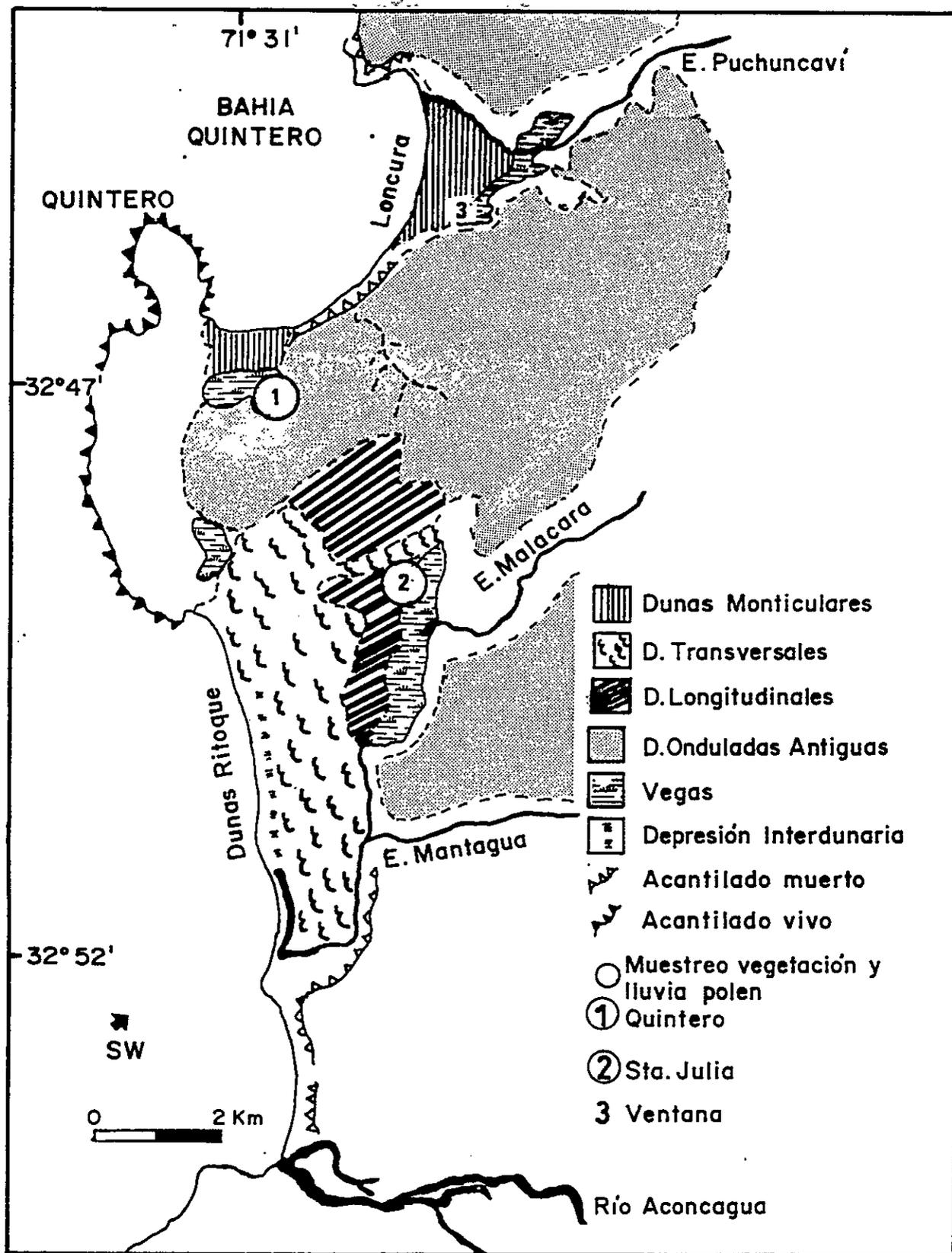


FIGURA 2: Situación geográfica y geomorfología del área de estudio. Ubicación de los registros de polen fósil, muestreos de vegetación y lluvia de polen actual. Fuentes: Castro 1984-85; Castro 1987 y Andrade & Castro 1987.

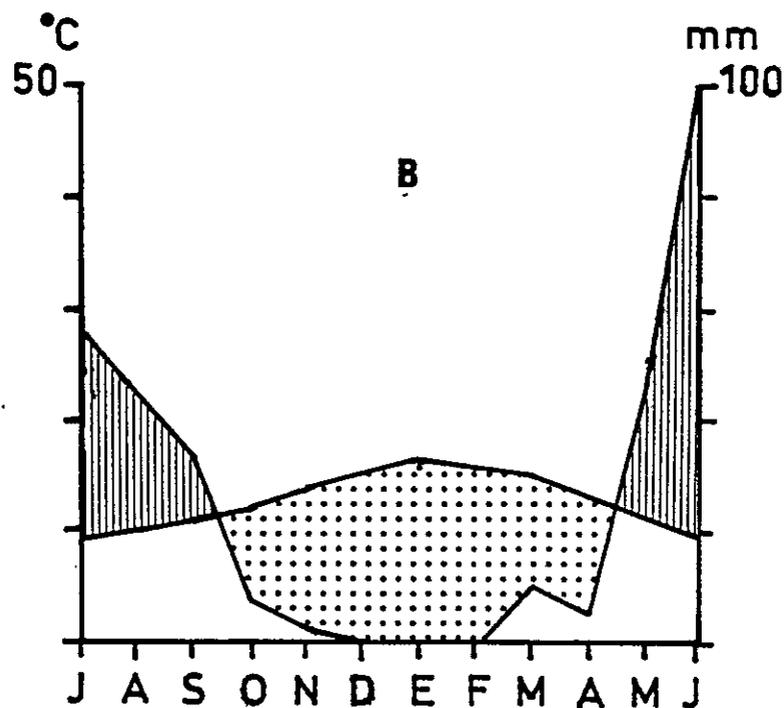
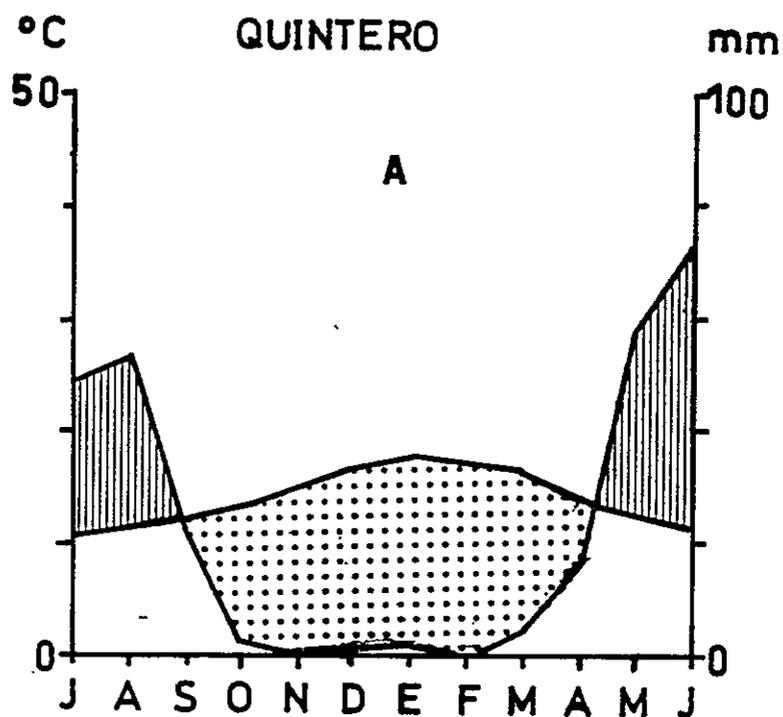


FIGURA 3: Diagramas climaticos de Quintero. A) Según Di Castri & Hajek 1976; B) Periodo 1988-92, Anuarios Metereológicos, Dirección Nacional de Meteorología.

del paisaje litoral de la zona de estudio, al norte de la desembocadura del Río Aconcagua, cuya evolución ha sido estudiada por Caviedes (1972). Este autor ha establecido la génesis de los dos rasgos dominantes del área: planicies litorales y dunas que reposan sobre estas planicies. De acuerdo Caviedes, las formas dunarias corresponden a varias generaciones, de las cuales aquellas situadas sobre las planicies más altas y más al interior son más antiguas, mientras que las depositadas en las planicies más bajas y cercanas al litoral son más modernas. En la Figura 2 se muestran las distintas las distintas unidades morfológicas que han sido reconocidas por Castro (1984-85, 1987) en un corte transversal a partir de la playa hacia el interior: 1) dunas monticulares; 2) depresiones interdunarias; 3) dunas transversales libres, activas; 4) dunas longitudinales antiguas, semiestabilizadas; 5) dunas en lomajes suaves antiguas y estabilizadas. De acuerdo Paskoff (1970), Caviedes (1972) y Castro (1984-85, 1987) las dunas antiguas tienen edades Holoceno y Pleistoceno, y las dunas actuales activas, que se encuentran en las terrazas marinas bajas, se habrían formado después de la última transgresión importante del Holoceno, entre 6000 y 4000 años A.P..

La génesis de los hábitats ocupados actualmente por los bosques pantanosos parece estar en directa relación con la formación de los sistemas de dunas actualmente activos. Así por ejemplo, de acuerdo a Caviedes

(1972) y Castro (1987) el bosque y los pantanos del sitio Santa Julia (Fig. 2) se sitúan detrás del frente transgresivo del complejo de dunas transversales de Ritoque. El avance de estas dunas se encontraría limitado por la presencia de los esteros de Quintero y Mantagua, que actuarían como un obstáculo natural, represando los pequeños cursos de agua del sector, y formando zonas con mal drenaje. Una explicación similar ha sido dada por Andrade y Castro (1987) para el área de dunas activas de Loncura (Fig. 2) que han represado las aguas del estero Puchuncaví, dando origen a la laguna de Campiche, primero, y posteriormente a terrenos con mal drenaje ocupados ahora por un pantano. Perfiles tomados en este pantano proporcionan una edad basal de  $6290 \pm 170$  años A.P., en una columna de 6 m de potencia (datos no publicados).

Otros bosques pantanosos del litoral, como el de Quereo en el Norte Chico, se desarrollan en fosas tectónicas, originadas por la tectónica de bloques durante el Terciario superior-Cuaternario. Esta geomorfología permite la alimentación constante de aguas subterráneas (Varela 1981). Según Caviedes (1972), desde la desembocadura del Aconcagua hacia el norte, hasta maitencillo, la horizontabilidad de las capas terciarias indican una relativa tranquila estabilidad tectónica de sector, a excepción del bloque de Quintero.

La vegetación regional del área de estudio corresponde a la formación de estepa costera de

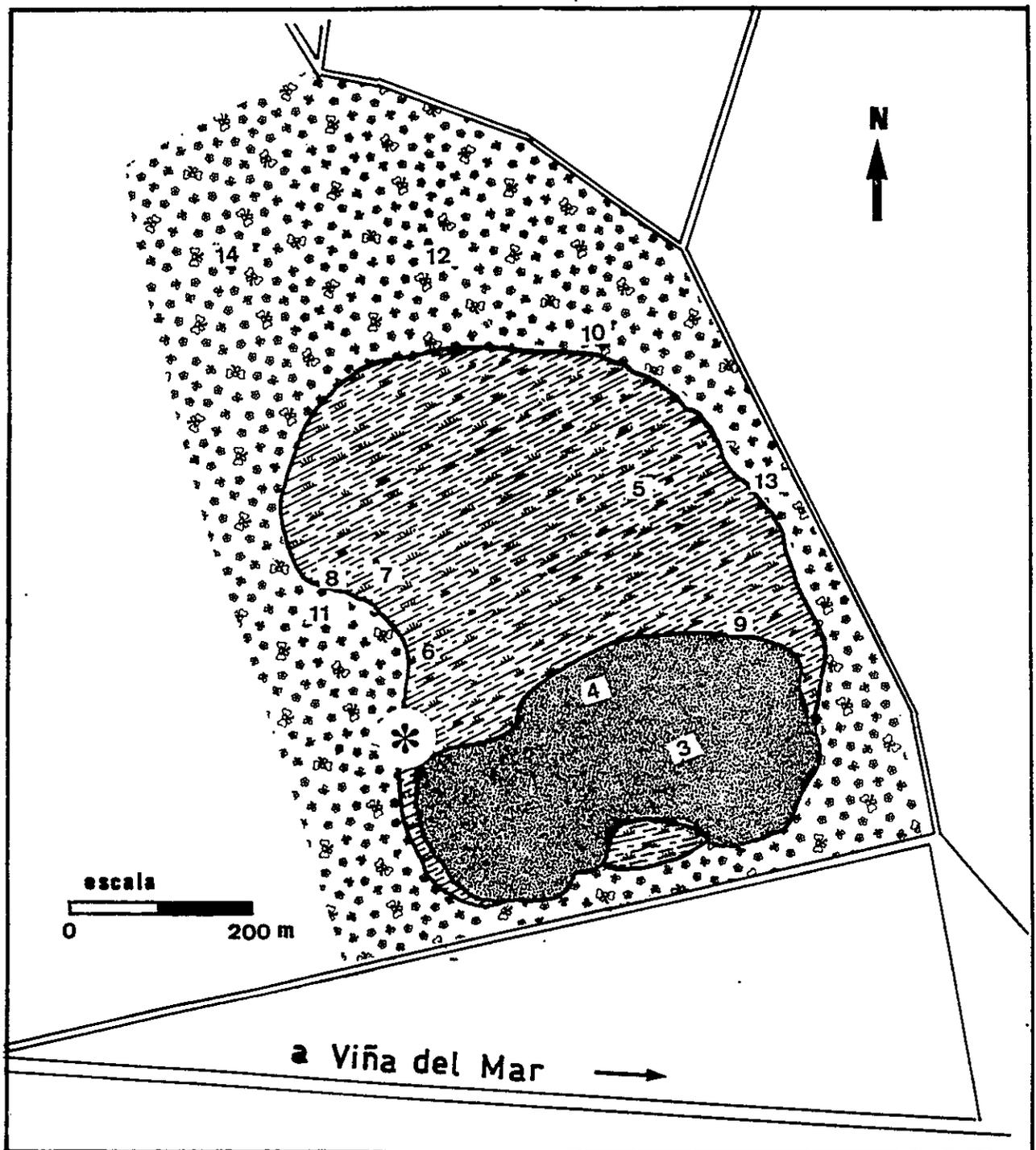
arbustos y hierbas mesófilas (Fuenzalida 1970). De acuerdo a la edad de las formas dunarias, desde el litoral al interior, la vegetación se zonifica desde asociaciones ralas de *Nolana paradoxa* y *Ambrosia chamissonis* en las dunas borderas actuales hasta matorrales de *Bachharis concava*, *Margyricarpus pinnatus* y taxa esclerófilos en las dunas antiguas más estabilizadas (Kohler 1967). En la ladera oriental de la duna de Ritoque se observa una extensa franja de matorral esclerófilo constituido por *Lithrea caustica*, *Schinus spp.*, *Cryptocarya alba*, *Peumus boldus*, *Maytenus boaria*, *Azara celastrina*, *Adenopeltis serrata* y en las herbáceas dominan varias especies de gramíneas y el helecho "palito negro", *Adiantum spp.* En las quebradas húmedas se desarrollan matorrales de *Drimys winteri*, *Myrceugenia exsucca*, *Cissus striata*, *Azara sp.* y *Peumus boldus* (Fuenzalida 1970).

La vegetación del área del Bosque Las Petras en Quintero, ha sido estudiada anteriormente por Looser (1944), Levi (1951), Gunkel (1954) y Villagrán (1982). Esta última autora incluye la vegetación del bosque "Las Petras" en la asociación *Drimys-Myrceugenia exsucca*.

## MÉTODOS

### Muestreo de la Flora y Vegetación

En el área de estudio se coleccionaron 97 especies, las cuales fueron determinadas en el Herbario del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago. Las especies se listan en el anexo 1. La Figura 4 muestra esquemáticamente la heterogeneidad de la vegetación del área en que se desarrolla el bosque pantanoso de Quintero. Se distinguen visualmente tres grandes unidades de vegetación: 1) bosque de petras, 2) pantano de *Scirpus californicus* y ecotonos dominados por Cyperáceas, 3) Praderas de Chenopodiáceas, inundables estacionalmente. Estas praderas (en el sentido de Cabrera y Willink 1980) están sometidas a una fuerte presión de pastoreo, lo que ha modificado la estructura florística original agregando numerosos taxa alóctonos, en el anexo 1 se indican los taxa que componen estas praderas y cuales de estos son introducidos. En la Figura 4 se indican, con los números 3 al 14, las estaciones en que se realizaron los muestreos de vegetación y de lluvia de polen, y con asterisco el lugar del barrenaje del perfil Quintero. Adicionalmente, se muestreo el matorral esclerófilo, en dos sitios indicados en la Figura 2 (2), por considerar probable que en algún



ECOTONO & PANTANO    
  PRADERAS    
  BOSQUE PANTANOSO

Figura 4: Esquema de las grandes unidades de vegetación del área del bosque pantanoso "Las Petras", Quintero; los números 3-14, indican los muestreos de vegetación y lluvia de polen actual. El asterisco indica el lugar de barrenaje del perfil Quintero.

período del Holoceno este tipo de vegetación haya dominado en el área.

Para el muestreo de la vegetación se utilizaron algunos de los métodos descritos por Mueller-Dombois & Ellenberg (1974). Para la vegetación herbácea, lianas y de matorral se utilizó el método del intercepto de puntos, considerando transectos con 100 puntos cada uno, en cada estación de muestreo, y con dos replicas. Para la vegetación herbácea se realizaron transectos de 10 m; para Matorral y lianas se hicieron transectos de 50 m. Para la vegetación arbórea se utilizó el método de los cuartos, considerando transectos de 250 metros, incluyendo 100 árboles. En el sector inundado del bosque de petras, el muestreo de la vegetación acuática se realizó en base a 10 transectos de 1 m de longitud, con dos réplicas, con registro de especies acuáticas cada 10 cm. A partir de estos datos se calcularon las frecuencias (%) de cada uno de los taxa.

#### **Muestreo del polen actual, lluvia de polen y polen fósil**

Para la determinación del polen se realizó una colección de referencia de la flora del área. Las descripciones de los taxa fueron hechas con microscopio Nikon, Labophot 2, objetivo 100X (anexo 2). Se construyó una clave para la identificación de todos los taxa encontrados en el área (anexo 3).

Para el análisis del polen atmosférico se utilizaron muestras de suelo superficial, las cuales fueron extraídas con un cilindro de acero (95 cm<sup>3</sup>), en cada una de las estaciones de muestreo de la vegetación, con dos réplicas. La determinación de los taxa polínicos se realizó por comparación con la colección de referencia de la flora actual, y en base a datos de la literatura, en particular Heusser (1971) y Villagrán (1969 y 1982). En el anexo 4, se señala el nivel de distinción taxonómica alcanzado en las determinaciones del polen.

Los perfiles Quintero y Santa Julia fueron extraídos utilizando los barrenos de Dachnowsky y sonda Rusa. Para obtener perfiles continuos y superpuestos, con la sonda de Dachnowsky, se barrenó alternativamente en 3 agujeros paralelos situados a no más de 10 cm de distancia entre sí. El perfil Quintero tiene una profundidad de 670 cm. y Santa Julia de 380 cm.

#### **Análisis de Laboratorio**

Las anteras de las flores para la colección de referencia de polen, fueron sometidas a acetólisis (Erdtman 1969, en caliente a baño maría por 3-5 minutos) y el polen montado en gelatina-glicerizada.

Para el tratamiento químico de las muestras de suelo superficial se obtuvo una muestra única, por unidad de vegetación, tomando submuestras iguales de cada

una de las réplicas hasta completar un volumen de 10 cm<sup>3</sup>. Estas muestras fueron procesadas con KOH, HF y acetólisis (Faegri & Iversen 1975). Para concentrar los granos, las muestras se trataron con ultrasonido (por 25 segundos), utilizando un equipo Branson 2200. El montaje fue realizado en gelatina-glicerizada.

En los registros de Quintero y Santa Julia las muestras para el tratamiento químico fueron extraídas cada 10 ó 20 cm., considerando 3 cm<sup>3</sup> en cada nivel de profundidad. Las muestras fueron tratadas con el mismo procedimiento químico que las muestras de suelo superficial.

Los recuentos microscópicos de polen atmosférico y fósil se llevaron a cabo hasta completar una suma básica de 300 granos. No se consideran en esta suma los granos de plantas acuáticas y los productores de esporas (helechos).

En algunos niveles de los perfiles no fue posible completar el recuento básico de 300 granos. En el perfil Quintero; entre los niveles 85-225 cm y 265-275 cm, los recuentos alcanzaron 45 a 200 granos. En los niveles 10-65 cm, los recuentos llegaron hasta 280-290 granos. En estos niveles con baja cantidad de palinomorfos se revisó hasta 12-15 preparaciones microscópicas. En el perfil Santa Julia, en los niveles 195-225 cm, 245 cm, 265-285 cm, el recuento osciló entre 100 a 260 granos y en los niveles 235 cm y 295 cm, 50 y 65 granos respectivamente.

De la suma básica de 300 granos se calculó los porcentajes de los taxa arbóreos y no arbóreos, y los resultados se representaron en un diagrama de polen convencional. Los porcentajes de los taxa acuáticos y de helechos se calcularon considerando los valores de estos taxa como suma total. Los datos se graficaron utilizando el programa Tilia (Grimm 1992). La zonación de los perfiles se realizó con un análisis de conglomerados (CONISS), que considera la posición estratigráfica de las muestras (Grimm 1987).

#### Concentración e influjo de polen:

Paralelamente al análisis porcentual de polen, se realizó también recuentos absolutos utilizando un marcador alóctono, de acuerdo con la metodología de Stockmarr (1971). Para ello, a cada muestra se agregó antes del tratamiento químico 4 a 5 pastillas de *Lycopodium*, y unas gotas de HCl para disolver la cubierta de carbonato de calcio de las pastillas.

Los granos de *Lycopodium* fueron contados como cualquier otro taxon. Para calcular la concentración de granos se utilizó la siguiente relación:

$$\text{polen total} = \frac{\text{polen fósil contado} \times \text{N}^{\circ} \text{ total de marcador}}{\text{N}^{\circ} \text{ marcadores contados}}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ marcadores contados}$$

Considerando que la concentración de polen en los sedimentos es afectada por la tasa de acumulación de los mismos, se calculó también la tasa de acumulación de polen. Este parámetro considera la concentración de polen y la tasa de acumulación de sedimento, influjo de polen según Davis (1967), y está dada por la siguiente relación:

$$\text{influjo de polen} = \frac{\text{palinomorfos por cm}^3}{\text{años de deposición de 1 cm (vertical) de sedimento.}}$$

Las tasas de sedimentación fueron calculadas utilizando una interpolación lineal del programa Tilia (Grimm 1991).

#### **Tratamiento estadístico**

Para estudiar la relación entre la vegetación actual, lluvia de polen, y polen fósil se utilizaron técnicas de análisis multivariado. En particular, se utilizó Análisis de Conglomerado (paquete SPSS/PC, Nourisis 1986) y Componentes Principales (4 M factor del paquete BMDP, Frane et al. 1985).

Para reducir el ruido y la dimensionalidad de las matrices de datos, en los análisis estadísticos se consideraron solamente todas las variables

(taxa) que presentaban porcentajes de frecuencias polínicas iguales o mayores a un 2% al menos en una de las muestras. Para la vegetación, se consideraron solamente los porcentajes iguales o mayores a 5%. En la lluvia de polen fue excluido *Pinus*, ya que este taxon es exótico y, por tanto, no es importante en la historia de la vegetación natural. Como excepción, se incluyeron en el análisis estadístico algunos taxa con menos de 2% de frecuencia. Este es el caso de *Schinus*, *Maytenus*, *Azara*, *Drimys*, *Cissus*, *Gunnera* y Rubiáceas, por tratarse de importantes indicadores de las unidades de vegetación del área.

## RESULTADOS

### Descripción de la Vegetación Actual

Las Fotos 1-5 muestran el aspecto de las grandes unidades de vegetación del área del bosque pantanoso de Quintero y el matorral esclerófilo. La composición florística y las frecuencias relativas de cada taxon se muestran en la Figura 5 y se describen a continuación:

#### 1) Matorral esclerófilo:

El matorral esclerófilo estudiado (Figura 2, 2) se sitúa en el borde oriental de una duna antigua y estabilizada del sector comprendido entre la ciudad de Quintero y el estero de Mantagua. Los taxa dominantes son *Lithrea caustica* (39%) y *Cryptocarya alba* (60%). Con abundancias relativamente menores (10-25%) están representados: *Adenopeltis serrata*, *Myrceugenia obtusa*, *Peumus boldus*, *Schinus latifolius* y *Ribes punctatum*.

#### 2) Bosque de Petras

En esta unidad (Figura 5) se distinguen florísticamente dos subunidades, correspondientes a los sectores emergidos (muestreo 3) e inundados (muestreo 4). El sector emergido



FOTO 1: Matorral Esclerófilo en la ladera oriental de las Dunas de Ritoque, Quintero.



FOTO 2: Sector emergido del bosque pantanoso de Quintero.

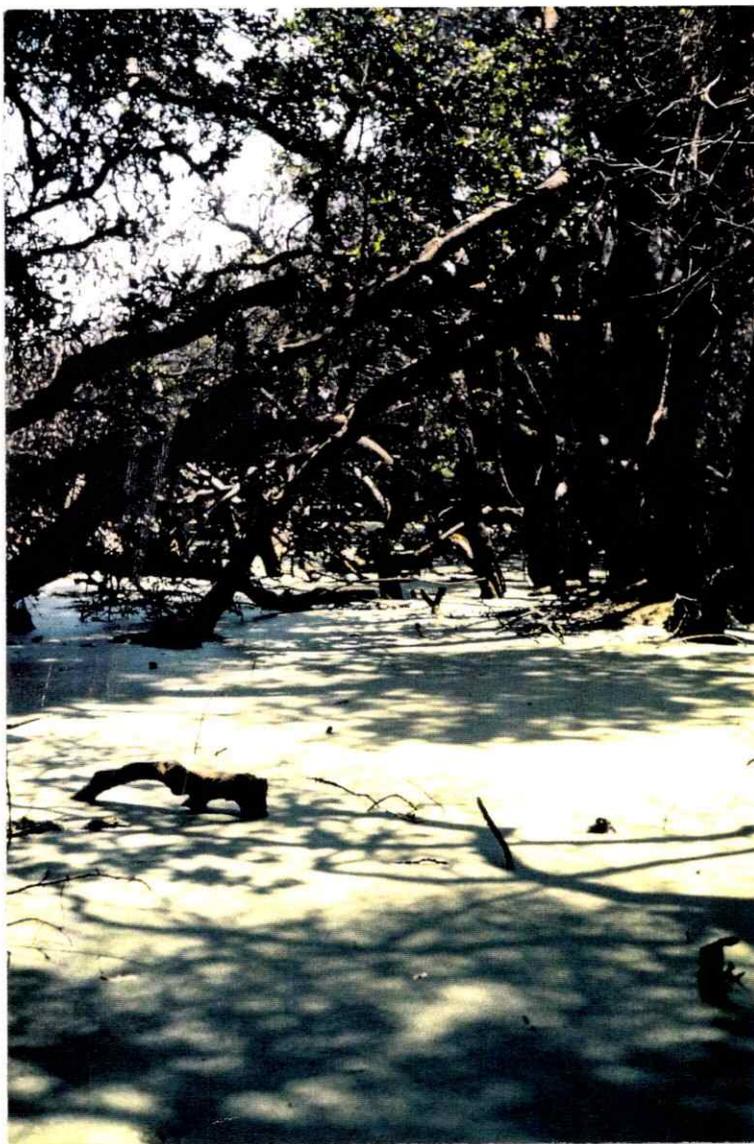


FOTO 3: Sector inundado del bosque pantanoso de Quintero.



FOTO 4: *Scirpus californicus*, especie dominante de la vegetación de pantano.



FOTO 5: Praderas inundables de Chenopodiáceas, cercanas al pantano.

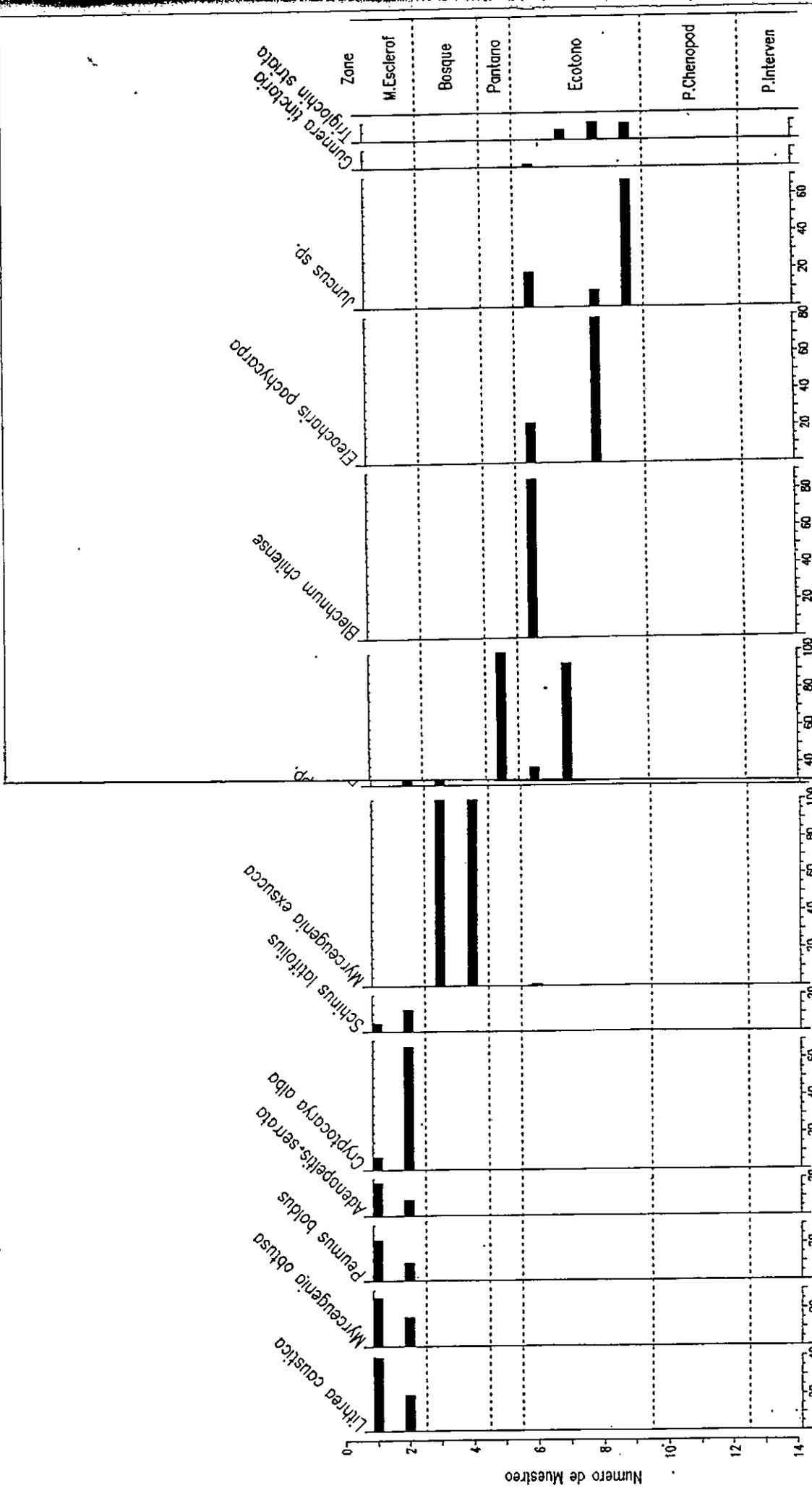


FIGURA 5: Composición flor los taxa en las

mantiene condiciones húmedas todo el año, pero sin llegar al anegamiento, excepto en algunos sectores donde se forman pequeñas pozas de agua que permanecen gran parte del año. El estrato arbóreo en este sector está dominado por *Myrceugenia exsucca*, con valores de frecuencia del 100%. Taxa asociados son *Drimys winteri*, *Escallonia revoluta* y *Aristotelia chilensis*. La enredadera *Cissus striata* presenta valores del 12%.

En el sector inundado se mantienen durante todo el año niveles de agua de más de 1 m de profundidad, observándose muy poca variación estacional. El bosque presenta dos estratos, uno arbóreo y otro de taxa acuáticos. El estrato arbóreo está constituido exclusivamente por individuos de *Myrceugenia exsucca* (100%). Las plantas acuáticas están representadas por la "lenteja de agua" (*Lemna valdiviana*, 75%), la cual forma un manto casi continuo en el agua, y por *Azolla filiculoides* (24%) menos frecuente y en manchones.

### 3) Pantano de *Scirpus californicus*:

Esta unidad (Figura 5, muestreo 5) mantiene altos niveles de agua, de más de 70 cm de profundidad, durante todo el año. En el estrato herbáceo alto crece exclusivamente *Scirpus californicus* (100%); junto a ésta crecen Gramíneas (31%) y las especies acuáticas *Azolla filiculoides* y *Lemna valdiviana*.

#### 4) Vegetación de los Ecotonos:

Esta unidad incluye la vegetación adyacente al pantano de *Scirpus californicus*, y mantiene condiciones de anegamiento prolongado a estacional, según su distancia al pantano. Es heterogénea y se distinguen tres subunidades florísticas:

##### a) Subunidad con dominio de *Blechnum chilense* (muestra 6)

Manchones del helecho "costilla de vaca" (*Blechnum chilense*, 86%) se desarrollan sólo en el borde W (Figura 3, muestra 6) del pantano; las especies asociadas son Cyperáceas, como *Scirpus californicus* y *Eleocharis pachycarpa*, y Gramíneas. Son frecuentes *Ranunculus chilensis*, *Myriophyllum aquaticum*, *Mimulus glabratus* e *Hydrocotyle ranunculoides*. Solamente en este sector crece *Gunnera tinctoria*, probablemente debido a la fuerte presión antrópica a que ha sido sometida.

##### b) Subunidad con dominio de Cyperáceas

Esta subunidad es la dominante del ecotono en toda la periferia del pantano de *S. californicus*, y se mantiene en condiciones de anegamiento prolongado, pero con aguas someras (muestras 7 y 8). Se caracteriza por la dominancia de especies de Cyperáceas (94%), representadas principalmente por *Scirpus inundatus*, *S. cernuus* y *Eleocharis pachycarpa*, asociadas a Gramíneas, *Plantago major* y *Triglochin striata*.

##### c) Subunidad con dominio de Juncáceas

Esta subunidad (muestra 9) soporta condiciones de anegamiento invernal y está caracterizada por la dominancia de *Juncus balticus* (60%), Gramíneas (65%) e *Hypochaeris sp* (55%). El

resto de los componentes se presentan con menores abundancias: *Phylla nodiflora* y *Triglochin striata*.

5) Praderas de Chenopodiáceas:

Esta unidad se caracteriza por la dominancia de distintas especies de Chenopodiáceas, las cuales abundan en condiciones salinas o en situaciones de desecamiento estacional de lagunas (Heusser 1983), como es el caso en el área. Se distinguen dos subunidades:

a) Subunidad con dominio de *Cotula coronopifolia*

Está situada en el borde NE del pantano (muestra 10) y presenta condiciones de anegamiento invernal. Está constituida por *Cotula coronopifolia* (54%), *Atriplex prostrata* (26%), Gramíneas, *Sida hederacea* y *Euphorbia ovatifolia*. Aparecen, también, otras especies de ambientes anegados como *Scirpus inundatus*.

b) Subunidad con dominio de *Sarcocornia fruticulosa*:

Esta Chenopodiácea se encuentra presente en todas las praderas que rodean al bosque y el pantano. El muestreo 11 está situado cerca del ecotono, y se mantiene húmedo gran parte del año, y está dominado por *Sarcocornia fruticulosa* (55%). Otros taxa acompañantes de menor importancia son Gramíneas, *Juncus balticus*, *Selleria radicans*, *Scirpus inundatus* y *Frankenia salina*. El muestreo 12 está situado al norte del pantano y se mantiene con condiciones secas durante todo el año. Está representada casi exclusivamente por

*Sarcocornia fruticulosa* (96%), *Cotula coronopifolia*, Gramíneas y *Frankenia salina*.

6) Praderas estabilizadas con perturbación antrópica:

Corresponden a los sectores más alejados del pantano (figura 4, muestras 13 y 14) y mantienen condiciones húmedas cuando ocurren precipitaciones invernales. Están sometidas a una fuerte presión de pastoreo e invadidas por malezas (*Plantago major*, *Trifolium repens*, *Medicago sativa*, *Plantago lanceolata*, *Agrostis stolonifera*, entre otras). La vegetación está dominada por Gramíneas (71-66%); se distinguen 2 subunidades:

a) Subunidad con dominio de *Juncus balticus*

Unidad representada básicamente por *Juncus balticus* (54%) y *Selleria radicans* (35%). Taxa asociados de menor importancia, y posiblemente provenientes de los ecotonos del pantano, son *Hypochaeris sp*, *Phylla nodiflora*, *Plantago major* y *Potentilla anserina*.

b) Subunidad con dominio de *Baccharis linearis*

Al NW del pantano crecen manchones del arbusto *Baccharis linearis* (47%), asociado a *Hypochaeris sp.* (45%). Otros taxa de menor importancia son *Plantago major* y *Sida hederacea*.

### Descripción del polen atmosférico

Los resultados del análisis cuantitativo de la lluvia de polen actual se muestran en la Figura 6; los

sitios de muestreo corresponden a los mismos de la vegetación (Figuras 2 y 4, muestras 1 al 14). El nivel taxonómico alcanzado en la determinación de los taxa polínicos se indica en el anexo 5.

#### 1) Matorral esclerófilo

Todos los taxa leñosos que caracterizan la vegetación se registran con valores polínicos bajos. Los taxa leñosos registrados son: *Lithrea caustica* (10,2%), *Adenopeltis serrata* (6,3%), *Cryptocarya alba* (20%), y *Schinus* (4,3%). El resto de los taxa componentes del actual bosque se registran con valores menores al 3%, (*Maytenus*, *Myrceugenia*, *Peumus*). *Pinus radiata* alcanza un 15% y *Compositae-Tubuliflorae* un 20%.

#### 2) Bosque de Petras:

El espectro polínico del bosque de petras de los sectores emergidos está representado por valores de 51% del taxon dominante, *Myrceugenia exsucca*. El resto de los componentes arbóreos del bosque (*Escallonia revoluta* y *Drimys winteri*) se registran con bajos valores (menos del 4%). Los componentes del sotobosque están representados por valores bajos de *Equisetum bogotense* (3%) y la liana *Cissus striata* (0,7%). Entre los taxa del exterior del bosque aparecen representadas las Gramíneas y Chenopodiáceas. Taxa indicadores de intervención antrópica son *Rubus ulmifolius* (6%) y *Pinus*

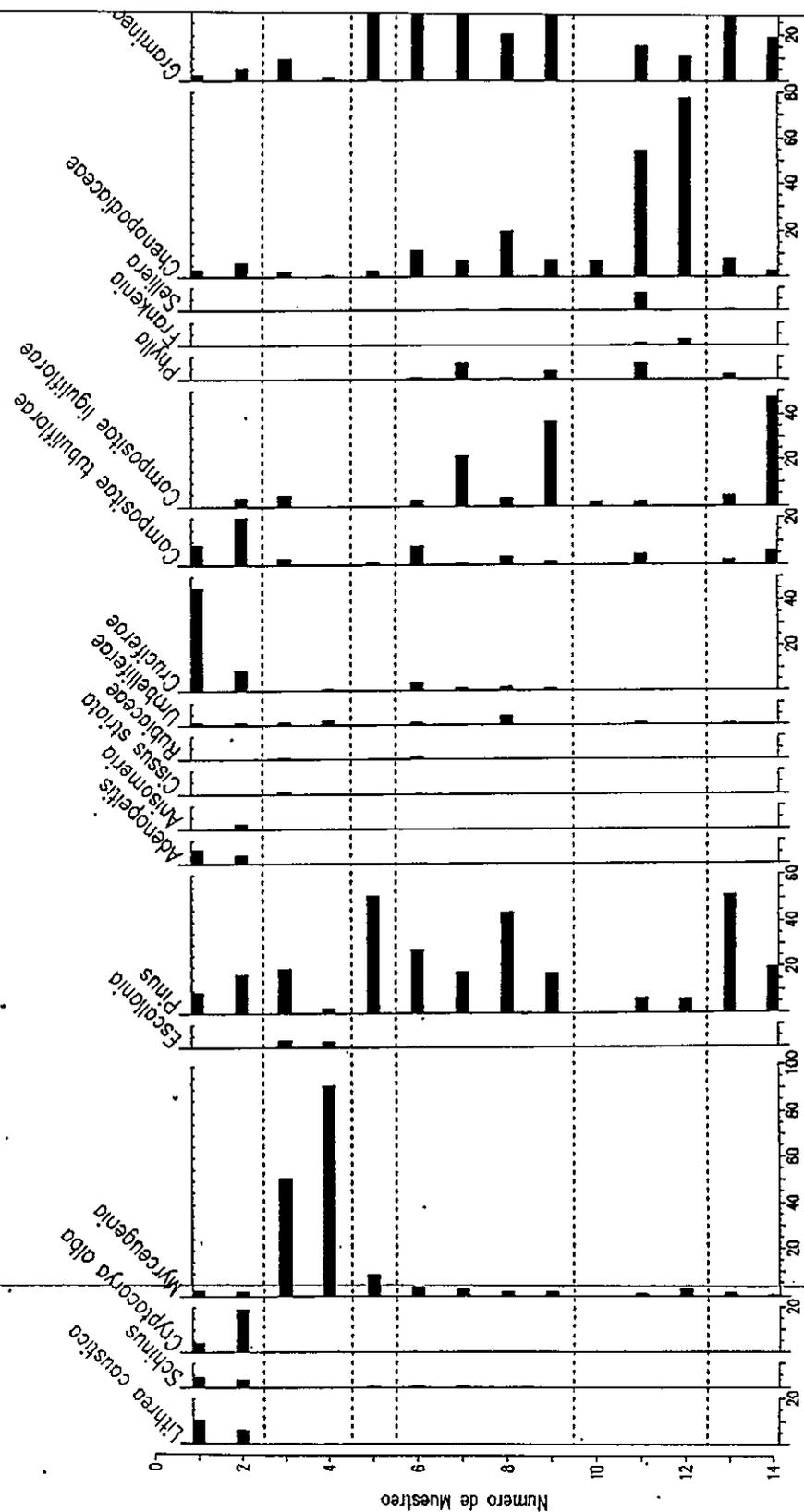


FIGURA 6: Diagrama de frecuencias relativas (%) de cada la lluvia de polen actual del área de Quinte

*radiata* (19%). El bosque de los sectores permanentemente inundados está representado casi exclusivamente por *Myrceugenia exsucca*, con valores de 93%. Se observa una disminución y/o ausencia de todos los otros taxa arbóreos y lianas. *Pinus* desciende al .2%.

3) Pantano de *Scirpus californicus*:

Está representado por valores altos de Cyperáceas (65%), probablemente *Scirpus californicus*. Las Gramíneas contribuyen con el 30% y *Azolla* con un 3%. Aparecen trazas de taxa propios del Ecotono (*Mimulus*, *Anagallis* y *Plantago*), que no alcanzan el 1%. *Pinus* llega al 55%.

4) Ecotonos:

Esta unidad está también caracterizada por valores altos de polen de Cyperáceas (30-55%) y Gramíneas (20-40%). *Triglochin striata* es frecuente (1-10%). El espectro polínico es similar al del pantano de *S. californicus*. El resto de los componentes representados es diverso, pero con valores bajos. *Pinus* mantiene valores altos (20-45%). Se distingue polínicamente la subunidad con dominio de *Blechnum chilense* (15%).

5) Praderas de Chenopodiáceas:

El espectro de esta unidad está dominado por polen de Chenopodiáceas (10-80%); las Gramíneas y Ciperáceas tienen

baja representatividad (10-15%). Es posible distinguir la pradera dominada por *Cotula* por la presencia de *Azolla* (11%). También es posible distinguir la pradera de *Sarcocornia* por la presencia del polen tipo *Frankenia* (ca 2%).

6) Praderas estabilizadas con perturbación antrópica:

En esta unidad dominan las Gramíneas (19-29%) y *Pinus radiata* (20-50%). En los sectores más cercanos al pantano dominan las Cyperáceas (30%) y en los sectores más alejados las Compuestas Ligulifloras (47%) y Tubulifloras (5%).

El análisis de la lluvia de polen indica que es posible distinguir claramente todas las grandes unidades de vegetación en base a espectros polínicos.

Un resumen de los taxa polínicos indicadores de las distintas unidades de vegetación se muestra en la Tabla 2. Los taxa indicadores del matorral esclerófilo son *Lithrea*, *Schinus* y *Cryptocarya*. Para el bosque pantanoso el indicador característico es *Myrceugenia*. Es posible distinguir palinológicamente el sector de bosque emergido por la mayor diversidad de taxa (*Drimys*, *Cissus*), el sector inundado es dominado exclusivamente por *Myrceugenia*. La unidad de Pantano tiene altos valores de Cyperáceas (65%). Los Ecotonos tienen un espectro polínico similar al del pantano, y co-dominan las Cyperáceas (30-60%), Gramíneas (20-40%) y *Triglochin* (2-5%). Es posible la distinción polínica

de la subunidad de *Blechnum chilense* (15%). En las praderas inundadas estacionalmente dominan las Chenopodiáceas (55-80%); la distinción de la unidad dominada por *Cotula* es posible por su asociación con *Azolla*. En las praderas dominadas por *Sarcocornia* aparecen, aunque con bajos valores, *Frankenia*, *Phylla* y *Selliera*. Finalmente, las praderas intervenidas se caracterizan por la dominancia de Compuestas y Gramíneas, y no es posible distinguir subunidades.

Vegetación	Indicadores polínicos	Indicadores polínicos restringidos
Matorral Esclerófilo	<i>Lithrea</i> (5-10%), <i>Schinus</i> (3-5%), <i>Cryptocarya</i> (4-18%)	
Bosque de Petras	<i>Myrceugenia</i> (60-91%)	Sector emergido del bosque: <i>Cissus</i> , <i>Equisetum</i> , <i>Drimys</i>
Pantano de <i>Scirpus californicus</i>	Cyperáceas (65%)	
Ecotonos	Cyperáceas (30-60%) Gramíneas (20-40%) <i>Triglochin</i> (2-5%) Compuestas Ligulifloras (3-30%)	<i>Blechnum chilense</i> (15%)
Praderas de Chenopodiáceas	Chenopodiáceas (55-80%)	<i>Cotula</i> : <i>Azolla</i> <i>Sarcocornia</i> : <i>Frankenia</i> , <i>Phylla</i>
Pradera Perturbadas	Gramíneas (20-30%) Compuestas: Tubulifloras (3-5%) Ligulifloras (5-46%)	

Tabla 2: Resumen de los indicadores polínicos de las unidades de vegetación en la lluvia de polen.

## Ordenación y Clasificación de la vegetación y polen atmosférico

Para el análisis de la vegetación se realizó un análisis de componentes principales utilizando una matriz de datos constituida por 14 muestras y 28 especies. Los cuatro primeros componentes explican el 59% de la varianza total. En la Figura 7 se muestran los dos primeros componentes (34.7% de la varianza), se observan 3 agrupaciones principales. El primer grupo lo constituyen las especies asociadas al matorral esclerófilo, el segundo las del bosque pantanoso, y el tercero los taxa pertenecientes a las praderas de chenopodiáceas, ecotono, pantano y praderas perturbadas.

Para el análisis de la lluvia de polen se utilizó una matriz de datos constituida por 14 muestras y 29 taxa polínicas. Los cuatro primeros componentes explican un 68% de la varianza, correspondiendo a los dos primeros el 46%. En la Figura 8 se muestran los dos primeros componentes y se observa nuevamente 3 grupos. El primero constituido por los taxa que componen el matorral esclerófilo, el segundo los taxa del bosque pantanoso y el tercero integrado por los taxa del pantano, ecotono y praderas.

Tanto el análisis de componentes de la vegetación como del polen muestran patrones semejantes: el eje 1 separa los grupos de taxa esclerófilos, en el extremo positivo, en el negativo aparecen agrupados los taxa que

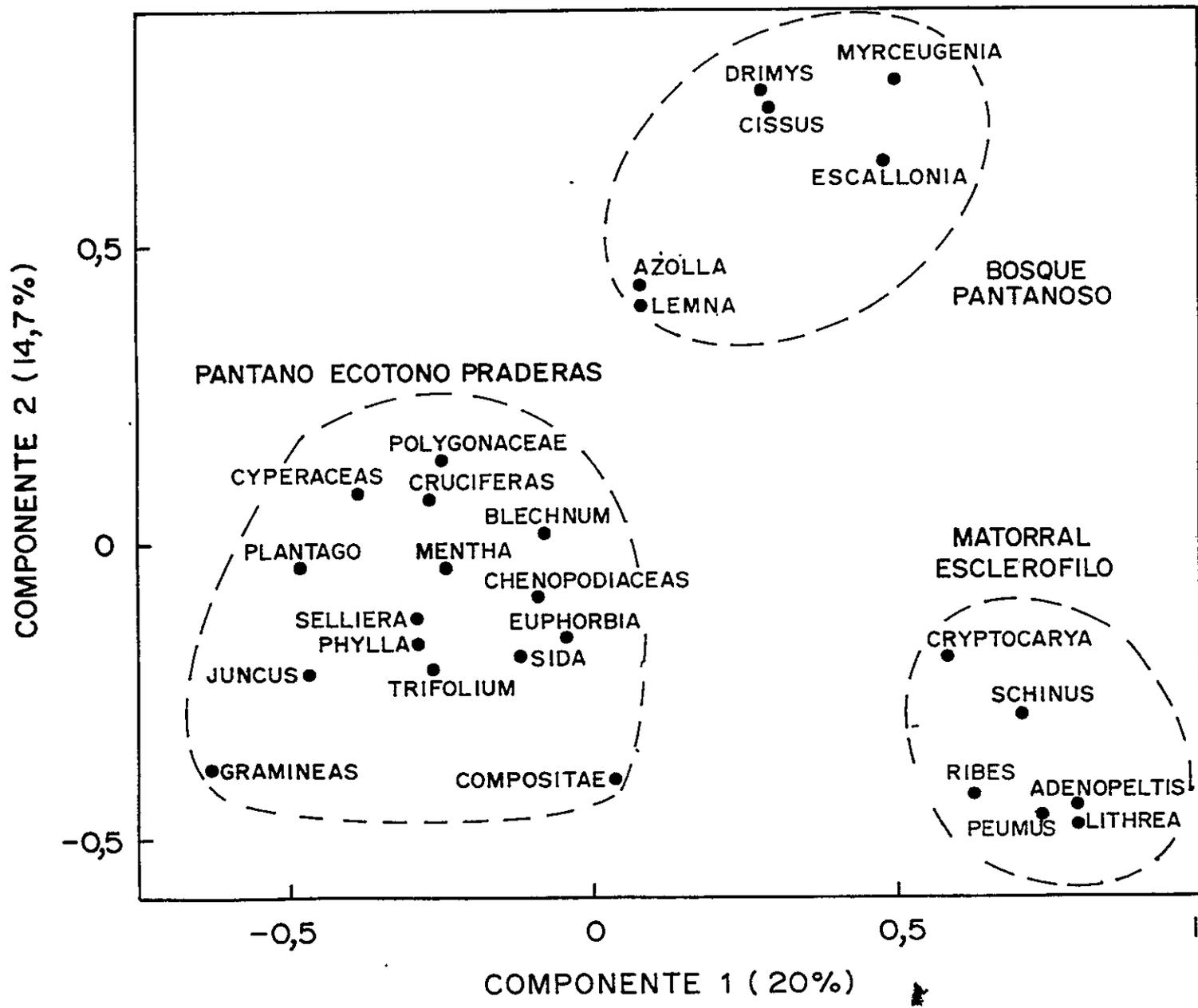


FIGURA 7: Análisis de componentes principales de las variables en la vegetación.

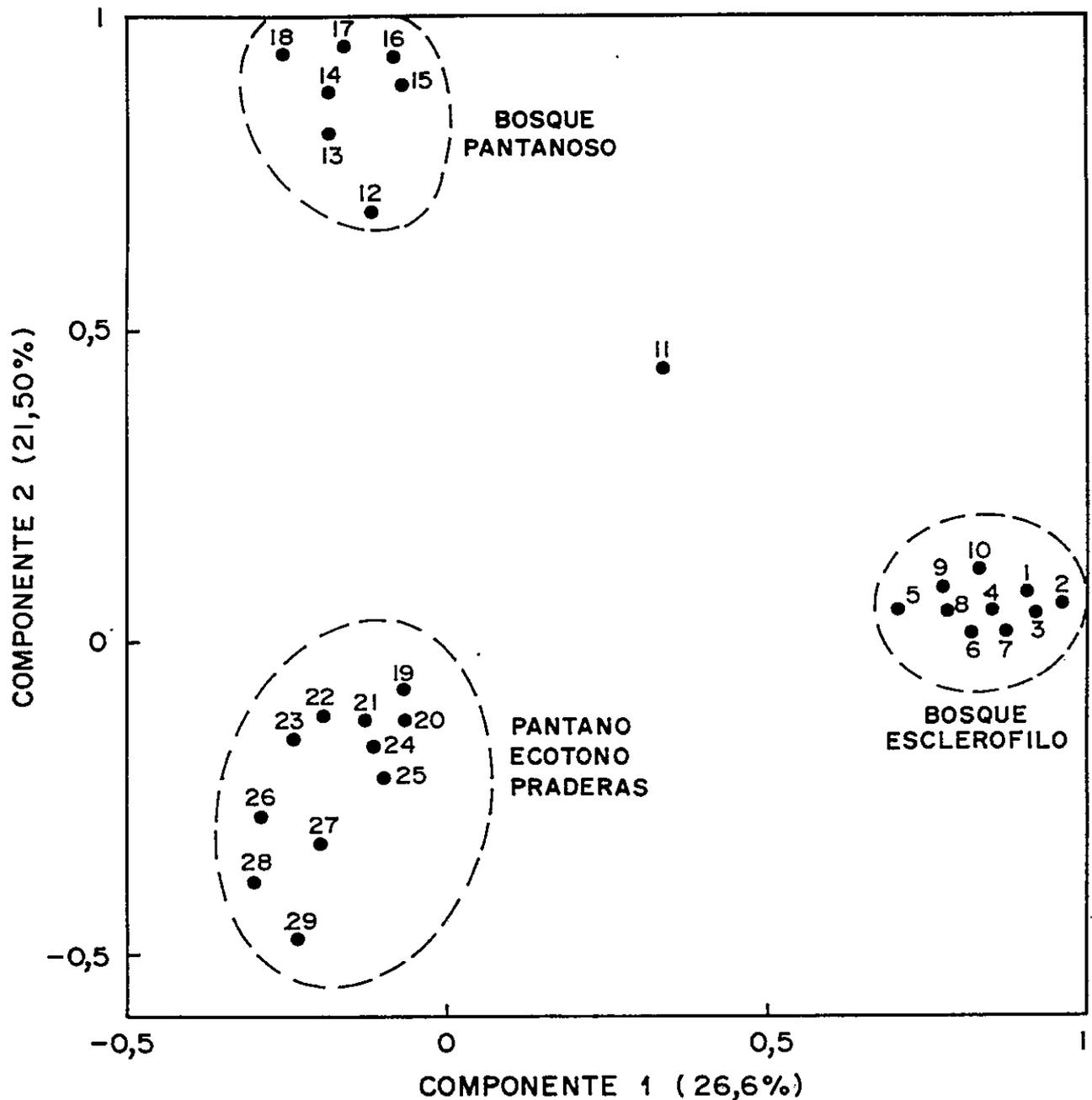


FIGURA 8: Análisis de componentes principales de las variables en la lluvia de polen actual. 1: Lithrea; 2: Schinus; 3: Adenopeltis; 4: Cryptocarya; 5: Maytenus; 6: Azara; 7: Adiantum; 8: Cruciferae; 9: Ephedra; 10: Compositae-Tubuliflorae; 11: Umbellíferas; 12: Myrceugenia; 13: Rubiáceas; 14: Rubus; 15: Escallonia; 16: Equisetum; 17: Drimys; 18: Cissus; 19: Trifolium; 20: Gunnera; 21: Azolla; 22: Selliera; 23: Chenopodiáceas; 24: Compositae-Liguliflorae; 25: Blechnum; 26: Triglochin; 27: Phylla; 28: Cyperáceas; 29: Gramíneas.

conforman las praderas, ecotono y pantano. El componente 2 separa los taxa del bosque pantanoso, en el extremo positivo, los de los grupos de pantano, ecotono y praderas en el negativo. El primer componente estaría reflejando, probablemente, la dependencia de la humedad edáfica (formaciones pantanosas) de las dependientes de la precipitación (matorral esclerófilo). El segundo componente estaría separando las formaciones pantanosas inundadas gran parte del año de las formaciones de bosques emergidos o inundables temporalmente.

#### **Análisis de relación vegetación-polen atmosférico:**

El grado de similitud florística de las muestras de polen y vegetación, obtenidas con el análisis de conglomerados (Figura 9) muestra la formación de 5 grupos. Los primeros dos grupos están integrados por los muestreos de vegetación y polen de las unidades de matorral esclerófilo y de bosques pantanosos, respectivamente. El tercer grupo lo forman las muestras de vegetación y polen provenientes de las praderas de Chenopodiáceas, incluyendo la muestra 13 correspondiente a praderas perturbadas. El cuarto grupo lo conforma las muestras de vegetación y polen correspondiente a la estación 14, aislada, situada en la pradera intervenida más alejada del pantano (Figura 4). El quinto grupo lo componen las muestras de vegetación y polen provenientes de

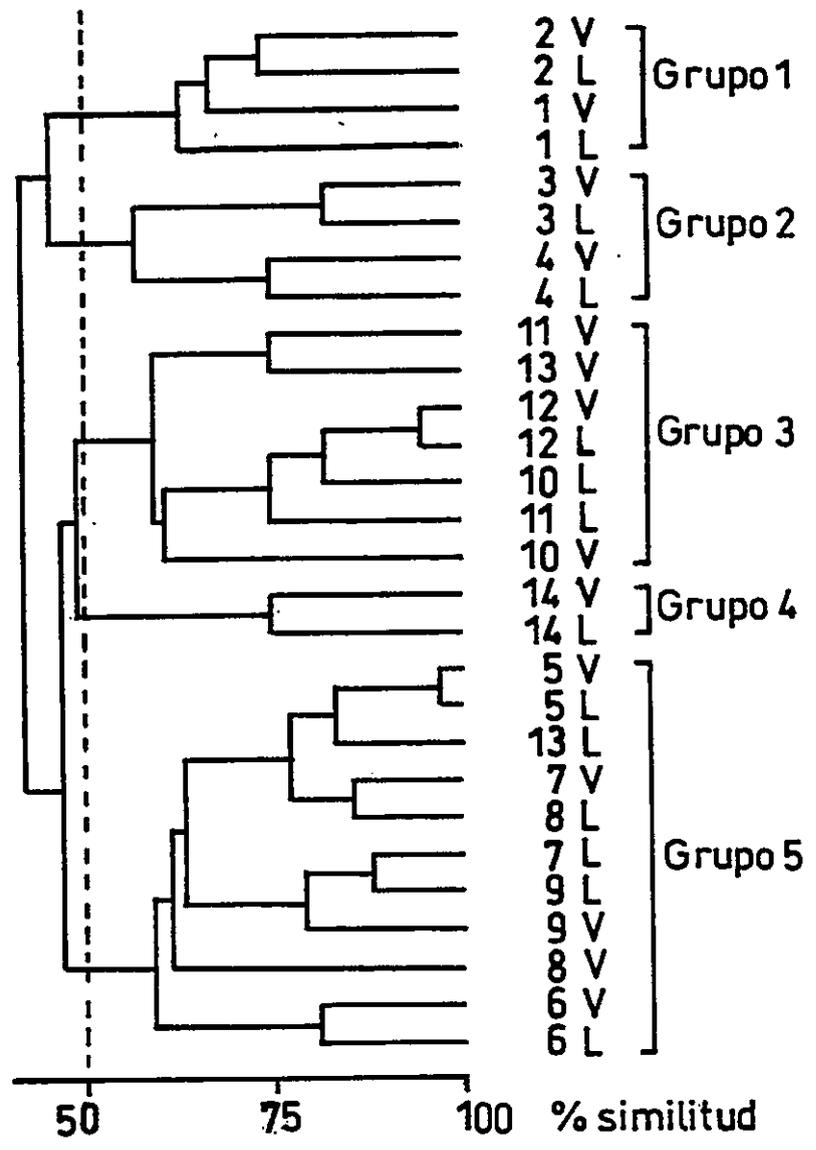


FIGURA 9: Análisis de Conglomerados para las muestras de vegetación (V) y polen atmosférico (L).

las unidades de pantano y ecotono, incluyendo la muestra 13 de la lluvia de polen, que se encuentra cercana al pantano y tiene altos valores de Cyperáceas.

Los resultados de este análisis muestran que la lluvia de polen refleja muy fielmente la vegetación del área, tanto en composición como en abundancia de los taxa dominantes.

### **Estratigrafía y análisis de polen de los registros**

La Figura 10 muestra la composición de sedimentos de los registros estudiados.

#### **Perfil Quintero:**

Desde el fondo del perfil hacia la superficie, los sedimentos están constituidos por arenas gruesas, entre 680-590 cm., con restos de moluscos del género *Littoridina* Souleyet y restos de carbonato de calcio. Se dispone de una datación radiocarbónica de  $5050 \pm 90$  (580-600 cm, Beta 52910) para el termino de esta fase. A partir de los 580 cm se observa un cambio gradual hacia un material fino y poco consolidado de limo (5YR 3/2-3/4), algo arcilloso, con presencia de arena fina; el carácter arcilloso del limo desaparece hacia los 560 cm. Este sedimento se mantiene hasta los 280 cm, el cual ha sido fechado en  $4060 \pm 260$  años A.P. (296-300 cm, Beta 65971). Entre los 470-390 cm,

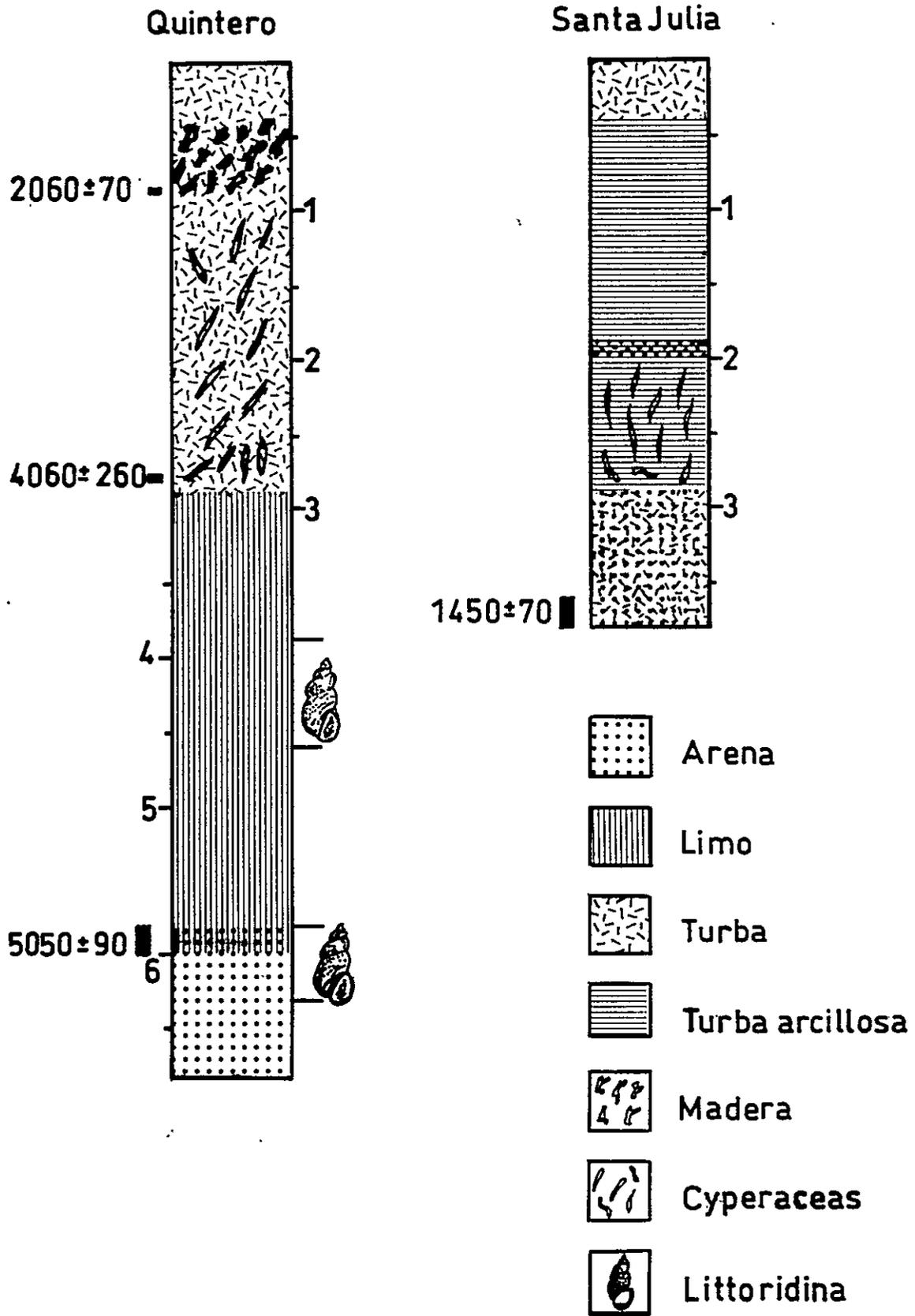


FIGURA 10: Estratigrafía de los perfiles Quintero y Puento Santa Julia.

aparecen nuevamente restos de *Littoridina*. Desde los 280 cm hasta el tope del perfil hay turba oscura (5YR 2/1-2/2). Entre 280-97,5 cm, la turba contiene restos de raicillas y hojas degradadas de Cyperáceas; entre 97-40 cm aparecen restos de madera y raicillas; entre 40-0 cm, la turba sólo contiene raicillas. Esta última turba ha sido fechada en  $2060 \pm 70$  (85-89 cm, Beta 65970).

#### **Perfil Puente Santa Julia**

Este perfil presenta una edad radiocarbónica basal de  $1450 \pm 70$  años AP (360-380 cm). Los sedimentos de la base están constituidos por una arena turbosa, entre 290-380 cm, de color café oscuro. Desde los 290 hasta los 200 cm, los sedimentos corresponden a turba arcillosa y arena fina. Entre los 250 y 220 cm la turba arcillosa contiene restos de Cyperáceas. Entre 200 cm y 180 cm hay arena, indicando una corta fase de sequía. Desde 180 cm, hacia arriba, gradualmente, la arena pasa a turba arcillosa, manteniéndose estos sedimentos hasta los 42 cm de profundidad. Desde los 42 cm hasta el tope del perfil hay turba oscura.

#### **Registro Polínico de Quintero:**

La Figura 11 muestra el diagrama de porcentajes de polen del perfil Quintero. Las Figuras 12 y 13 muestran los resultados

del análisis de concentración e influjo de polen en este perfil. Se han definido las siguientes zonas:

**Quintero 1 (Q-1):**

En esta zona es posible distinguir 2 subzonas:

**Q1-A:**

Corresponde a la base del perfil, antes de 5000 años A.P., y se caracteriza por la dominancia de las Chenopodiáceas (40-60%); *Ephedra* (5-35%), indicador de transporte a larga distancia; Compositae (10%), Gramíneas (15%), Umbelíferas (7%) y trazas de Liliáceas, Malváceas, Amarylidáceas y *Frankenia*. Las plantas palustres (Cyperáceas, *Typha*) se encuentran con bajas proporciones (menos del 10%).

Los diagramas de influjo y concentración polínica destacan la importancia de las Malváceas, Amarylidáceas y *Frankenia*. El espectro polínico sugiere que, antes de los 5000 años A.P. existió en el área una vegetación rala, con condiciones climáticas probablemente más cálidos y secas que las actuales. La presencia de *Frankenia* indicaría que esta vegetación de Chenopodiáceas era halófito.

**Q1-B:**

Las Chenopodiáceas siguen dominando en esta sub-zona (60%). Las Gramíneas experimentan un leve aumento, llegando a sus máximos valores hacia el final de la zona (30%). Las Compuestas, Umbelíferas y Euforbiáceas mantienen los valores de la fase anterior. Se mantienen trazas de Malváceas y

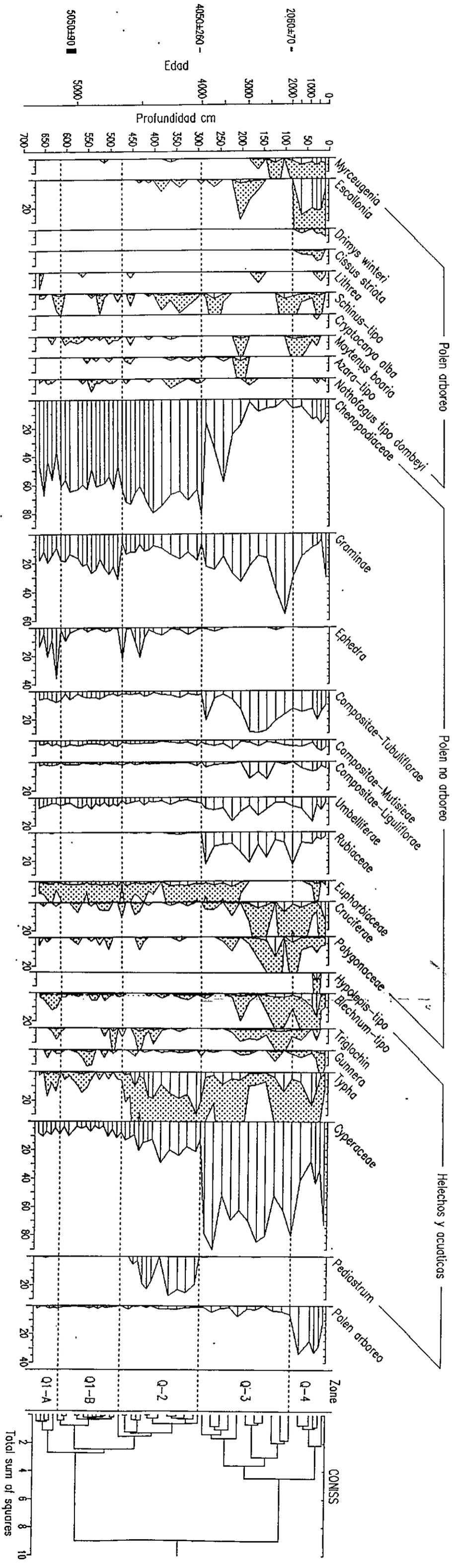


FIGURA 11: Diagrama de porcentajes (%) de polen del registro Quintero.

*Frankenia*, y *Ephedra* baja su importancia. Aparecen trazas de elementos esclerófilos (*Lithrea*, *Schinus*, *Maytenus* y *Azara*). Este espectro sugiere que las condiciones siguen siendo cálidos y secas. La disminución de *Ephedra*, después de los 5000 años A.P., indicaría probablemente una vegetación más densa, con menor expresión del polen foráneo.

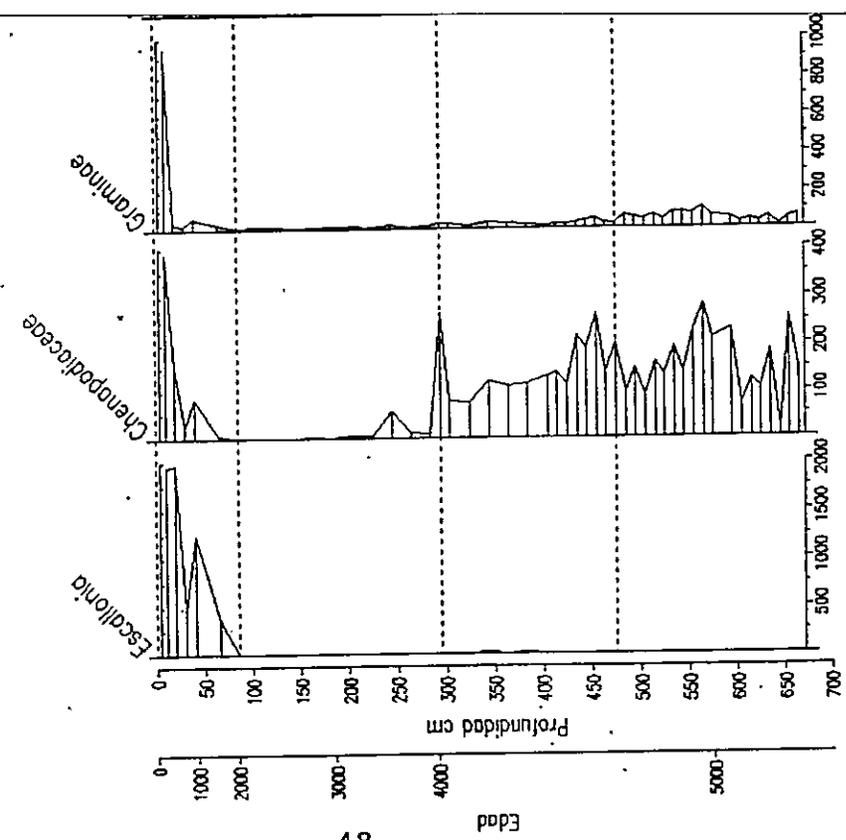
#### **Quintero 2 ( Q 2 ):**

Esta zona se caracteriza por la mantención de los altos porcentajes de Chenopodiáceas (60-80%), y un notable aumento en importancia de las acuáticas, representadas por *Typha* (5-25%), *Myriophyllum* (?%), *Triglochin* (2%) y el alga *Pediastrum* (20%). Los diagramas de influjo y concentración muestran las mismas tendencias y, además, muestran que las Chenopodiáceas tienden a disminuir en importancia, al igual que las Gramíneas, Compositae y Umbelíferas. Las Rubiáceas tienden a aumentar sus valores.

El espectro polínico de esta zona sugiere el establecimiento de una laguna que comienza a ser colonizada por vegetación acuática, pero que aún esta rodeada por vegetación de playa (Chenopodiáceas).

#### **Quintero 3 ( Q 3 ):**

El comienzo de esta zona ha sido fechada en 4050 + 260 años AP. Se caracteriza por una abrupta disminución de las Chenopodiáceas (20%) y de las acuáticas (*Typha*, *Triglochin*, *Myriophyllum*, *Pediastrum*). Hay un incremento importante de



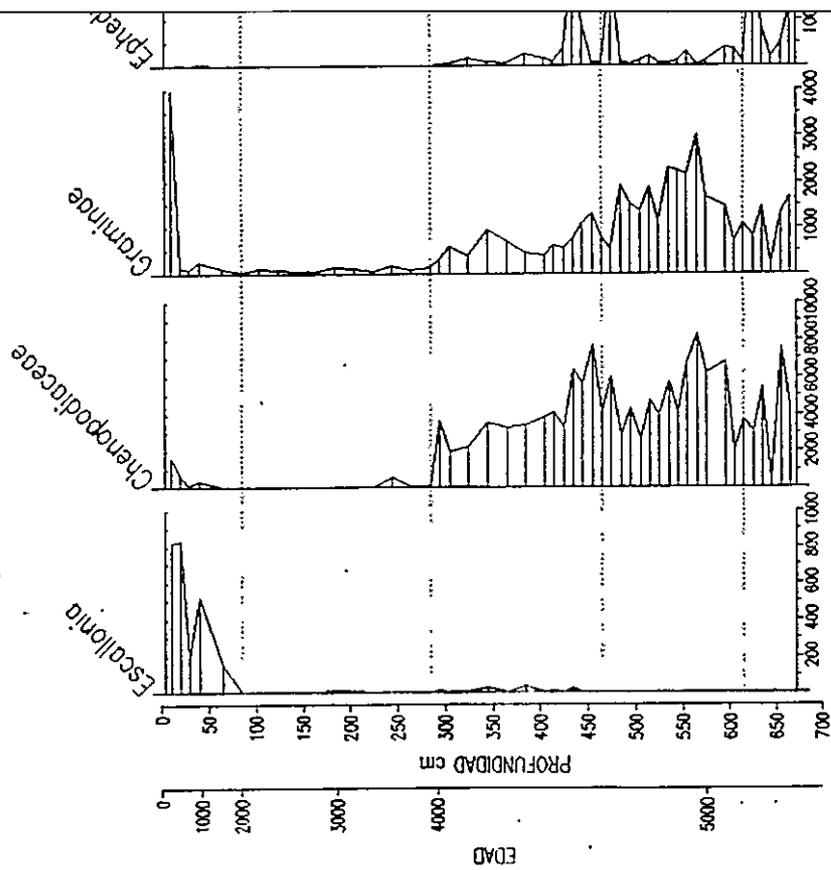


FIGURA 13: Diagrama de se...

las Cyperáceas, Compositae, Umbelíferas y Rubiáceas. Aparecen Poligonáceas y Crucíferas. Hacia el final de la zona aparecen trazas de *Myrceugenia* y *Escallonia*. Los espectros de los diagramas de influjo y concentración muestran tendencias similares para las Chenopodiáceas y Gramíneas, además de la disminución de las Umbelíferas y Compositae. Las concentraciones de las Ciperáceas son bajas. Sólo las rubiáceas experimentan una tendencia hacia el aumento en importancia. En esta zona el cambio de vegetación de halófitas de playa por vegetación de pantano, indicaría condiciones más húmedas que durante el período anterior.

#### Quintero 4 (Q 4):

La base de esta zona ha sido fechada en 2060 años AP. Se caracteriza por la aparición y dominancia de los actuales componentes leñosos del bosque: *Myrceugenia*, *Escallonia*, *Drimys* y *Cissus*. Los taxa de Compositae, Umbelíferas y Rubiáceas mantienen la importancia que tenían de la zona anterior. Disminuyen las Cyperáceas y las Gramíneas. Aparece el helecho de sotobosque *Hypolepis rugosula*, sugiriendo la existencia de un bosque cerrado. Este taxa actualmente se encuentra casi extinguido en el actual bosque de Quintero. El nivel superior del perfil registra la aparición de polen de taxa exóticos (*Pinus* y *Eucalyptus*). Los diagramas de influjo y concentración muestran un aumento de taxa herbáceos (Compuestas, Umbelíferas, *Typha*, Rubiáceas y Cyperáceas). Las

condiciones debieron ser más frías y lluviosas.

#### Registro Polínico Puente Santa Julia:

Desde la base hasta los 295 cm, los sedimentos no contenían polen suficiente para recuento y sólo se encontraron trazas del elemento esclerófilo (Lithrea, Schinus) y Myrceugenia. La Figura 14 muestra el diagrama de porcentajes y las Figuras 15 y 16 muestran los resultados del análisis de influjo y concentración de polen. Este perfil ha sido dividido en tres zonas polínicas:

##### Santa Julia 1 (SJ 1):

Los taxa dominantes en esta zona son Myrceugenia (40%), Chenopodiáceas (20%), Compositae-Tubuliflorae (10%), Cyperáceas (40-60%), Blechnum (30-85%), y trazas del elemento esclerófilo (Maytenus, Azara, Lithrea y Schinus). El espectro polínico de esta zona sugiere vegetación de bosque relativamente abierto y desarrollo de áreas pantanosas, asociado con altos valores del helecho Blechnum y Cyperáceas, y bajos valores de los indicadores de bosque.

##### Santa Julia 2 (SJ 2):

En esta zona se observa una abrupta disminución de Myrceugenia (5%) y aumento de las Cyperáceas (90%), Blechnum, Rubiáceas, Crucíferas y Gramíneas. Entre los árboles aumentan

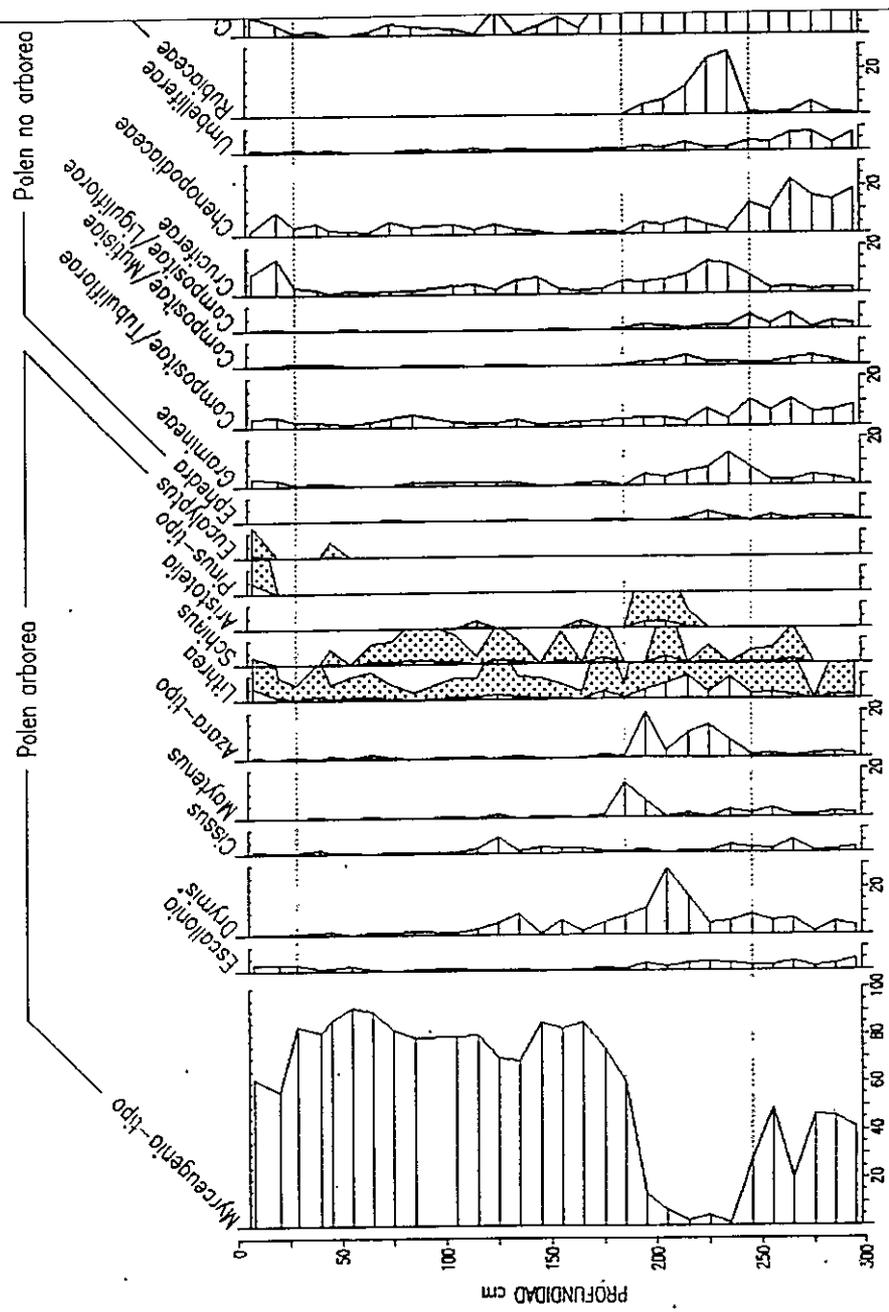


FIGURA 14: Diagrama de porcentajes (%) po  
 Puente Santa Julia.

*Drimys*, *Maytenus*, *Azara* y *Lithrea*. El influjo y concentración de polen de esta zona indican que *Myrceugenia* desaparece del registro, *Drimys* se mantiene estable y *Blechnum* disminuye. Los taxa que experimentan un aumento son las Ciperáceas, Rubiáceas y *Azara*. Este espectro sugiere una expansión de las áreas inundadas de pantano, posiblemente en relación con un aumento en la humedad.

**Santa Julia 3 (SJ 3):**

**SJ3-A**

Esta fase está caracterizada por un notable aumento de *Myrceugenia* (80%), abrupta dominancia del helecho de sotobosque *Hypolepis*, desaparición de la Ciperáceas y Rubiáceas, y disminución de *Blechnum*. El influjo y la concentración de polen muestran un aumento abrupto de *Myrceugenia*, *Drimys* y Compositae. Este espectro sugiere el desarrollo de un bosque denso y cerrado.

**SJ3-B:**

Esta fase indica perturbación reciente en el área, marcada por la aparición de taxa introducidos (*Pinus* y *Eucalyptus*), leve disminución de *Myrceugenia* y aumento de taxa herbáceos. El aumento de las Gramíneas, en los diagramas de influjo y concentración, sugieren una apertura del bosque, probablemente por acción antrópica.

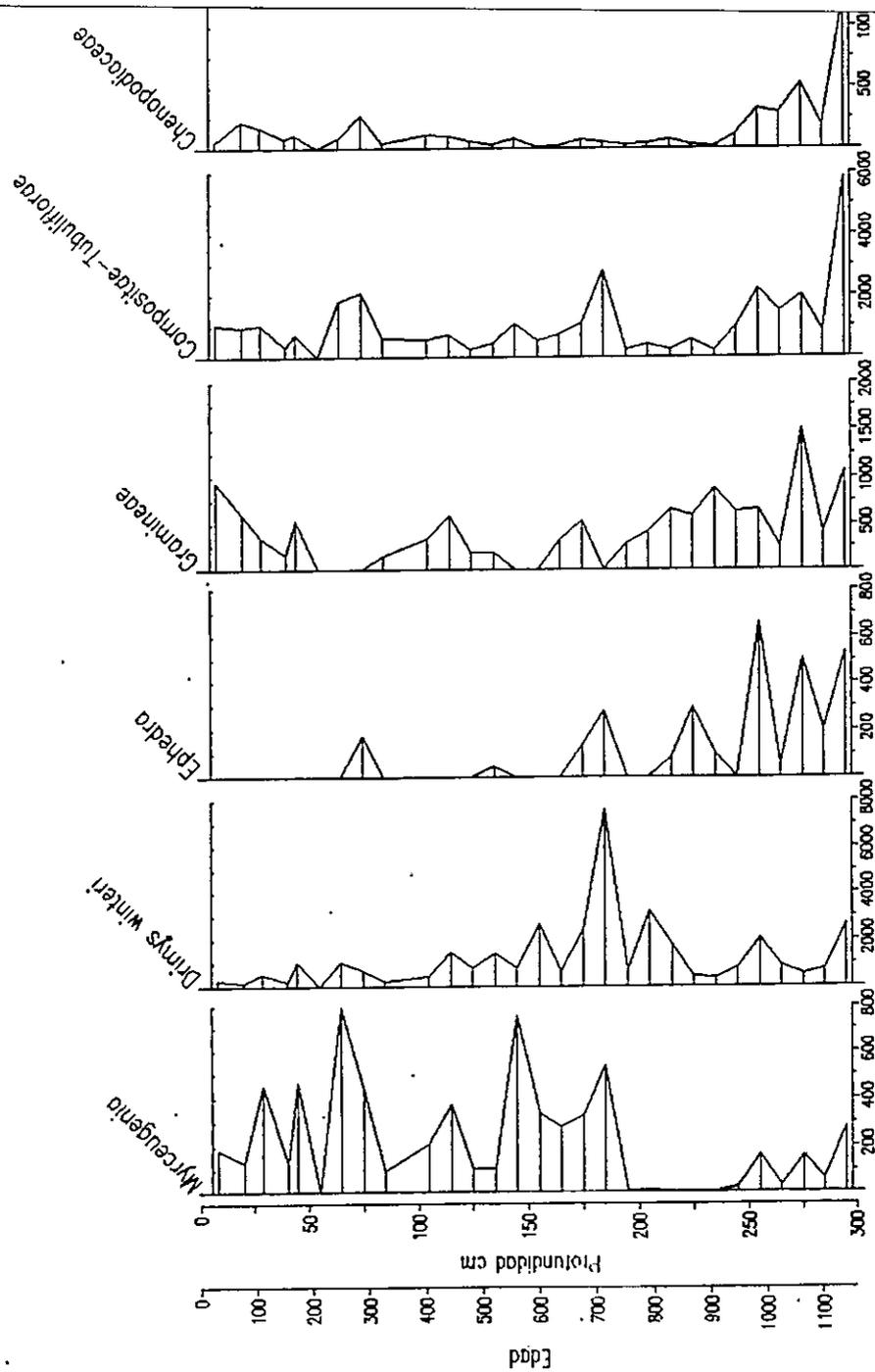


FIGURA 15: Diagrama de concentración (granos sedimento) de polen del registro

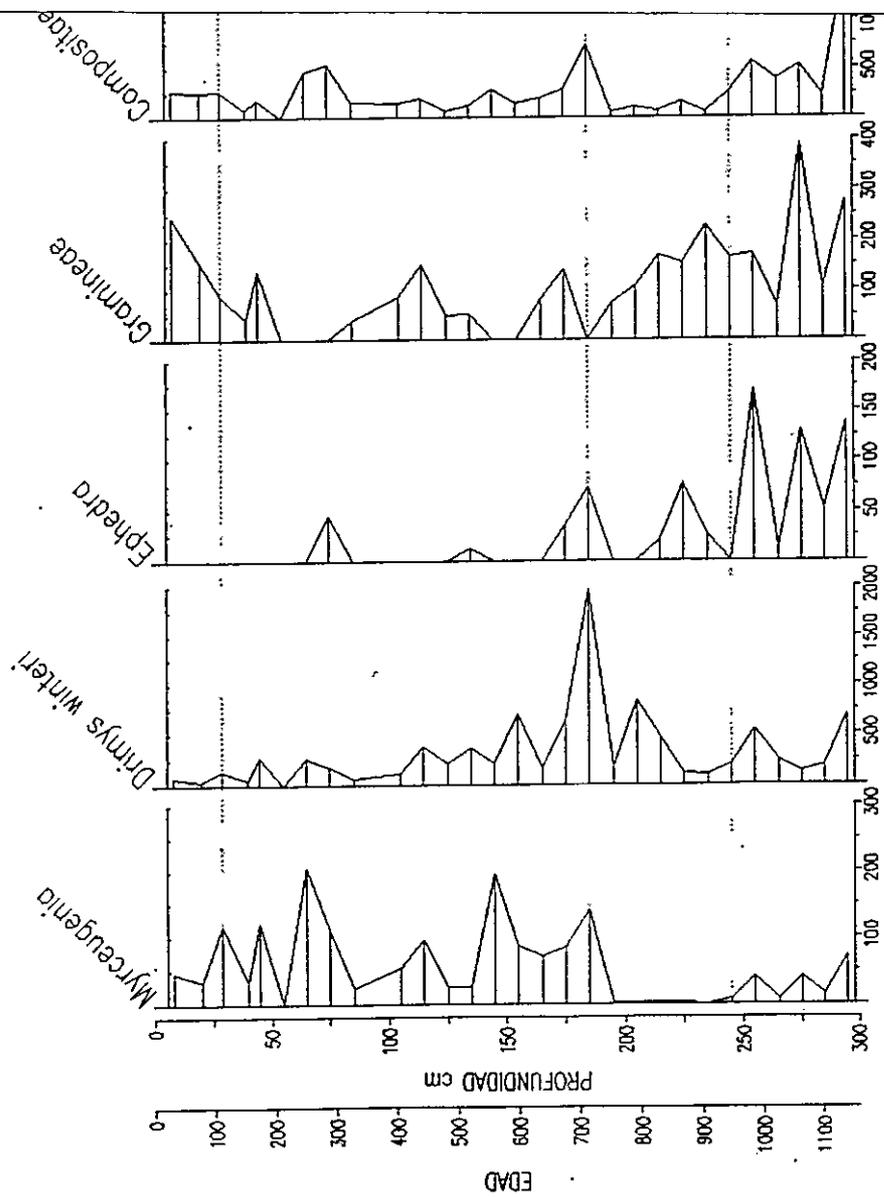


FIGURA 16: Diagrama de influjo polínico de sedimento) del registro

**Análisis de la relación lluvia de polen actual y fósil:  
Búsqueda de análogos modernos.**

En la Figura 17 se muestra los resultados del análisis de componentes principales para las muestras de la lluvia de polen actual y los espectros de polen fósiles del registro de Quintero.

La matriz utilizada integra 48 niveles estratigráficos del registro Quintero, 14 muestras de lluvia de polen actual y 16 taxa polínicas. Los primeros cuatro componentes principales explican el 57.7% de la varianza. La Figura 16 muestra los dos primeros componentes, que explican el 40.6% de la varianza. Se observan 3 agrupaciones: el primer grupo reúne los niveles estratigráficos correspondientes a la Zona polínica Q-4 dominada por el bosque (20-65 cm), y la muestra 3 de la lluvia de polen proveniente del sector emergido del bosque actual. El segundo grupo lo integran los niveles estratigráficos correspondientes a las zonas polínicas de pantano (Q-3: 85-285 cm) y fase lacustre dominada por las acuáticas *Typha*, *Myriophyllum*, *Triglochin* y el alga *Pediastrum* (Q-2: 295-415) y las muestras de la lluvia de polen correspondientes a la vegetación actual de pantano, ecotono y praderas de Chenopodiáceas e intervenidas cercanas al pantano. El tercer grupo lo integran las muestras estratigráficas de la base del registro polínico (Q-1 A y B: 425-665 cm), que corresponden a la zona de vegetación rala de Chenopodiáceas y halófitas

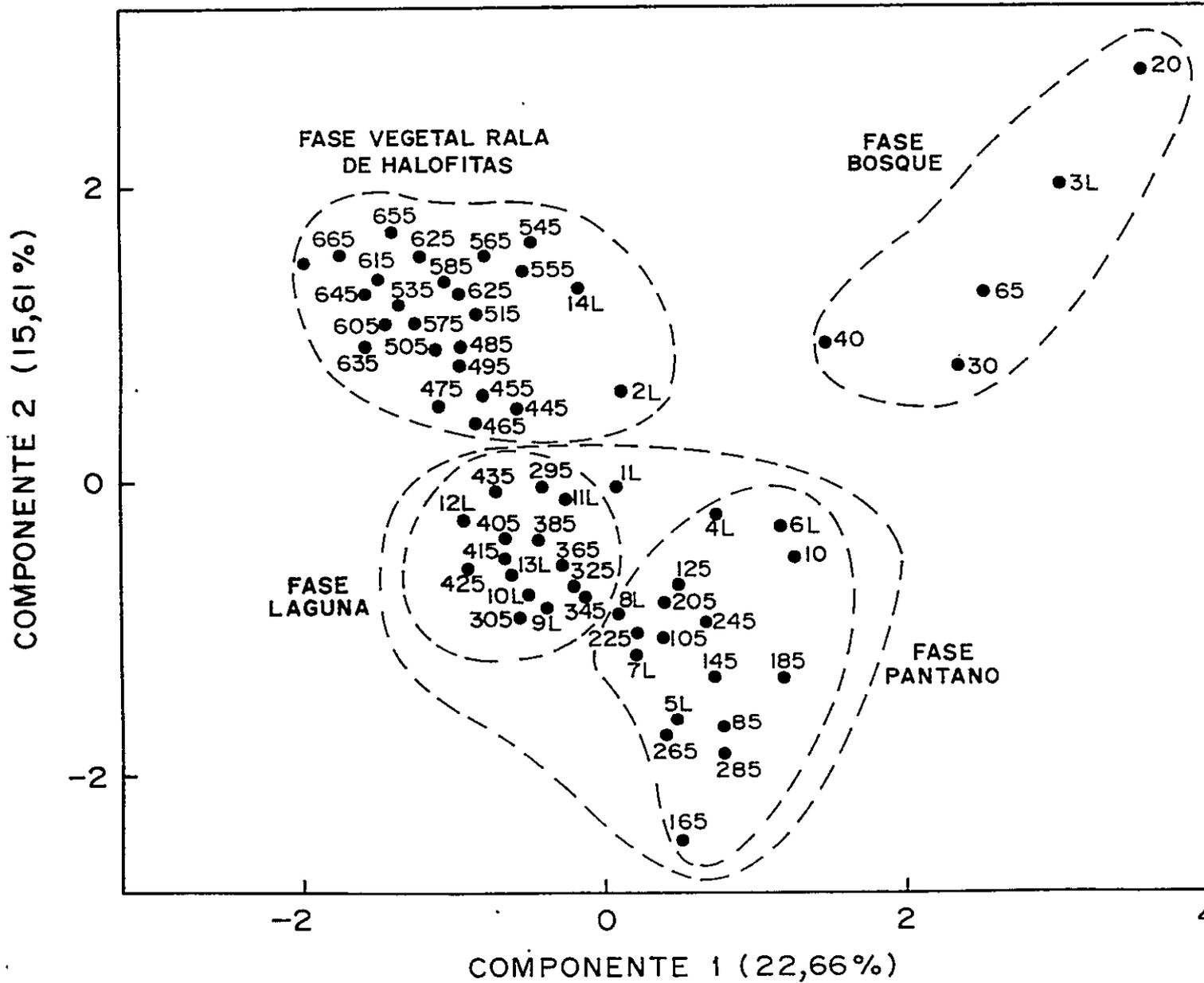


FIGURA 17: Análisis de componentes principales de los muestreos de la lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm de las muestras) del registro Quintero.

predominantes antes de los 4500 años AP. Este grupo incluye la muestra 14 de la lluvia de polen, que corresponde a pradera más alejada del pantano, y la más seca en la actualidad. La posición de esta muestra era también aislada en el análisis de conglomerado (Figura 9) y su inclusión en este grupo confirmaría el carácter más seco de la vegetación de Chenopodiáceas de la base del registro. La inclusión en este grupo de la muestra 2 de la lluvia de polen, correspondiente al matorral esclerófilo actual corrobora esta apreciación.

Los resultados de este análisis ponen en evidencia la existencia de análogos actuales para gran parte de los espectros fósiles del perfil Quintero. Es interesante que los espectros correspondientes a las actuales praderas de Chenopodiáceas muestren mayor analogía con las fases lacustres y de pantano del perfil (Q-2 y Q-3) y no con la vegetación de halófitas (Q-1) dominadas también por Chenopodiáceas, existentes antes de los 4500 años AP. También las muestras de polen provenientes del actual sector inundado del bosque pantanoso se incluyen en estas fases húmedas (Q-2 y Q-3) y no con la fase de bosque del perfil (Q-4). Este último hecho sugiere que el aspecto actual del bosque es muy reciente. En el anexo 6 se muestra el análisis de conglomerados y la clasificación de los espectros de polen actual y fósil del registro Quintero.

Para el sitio Puente de Santa Julia se

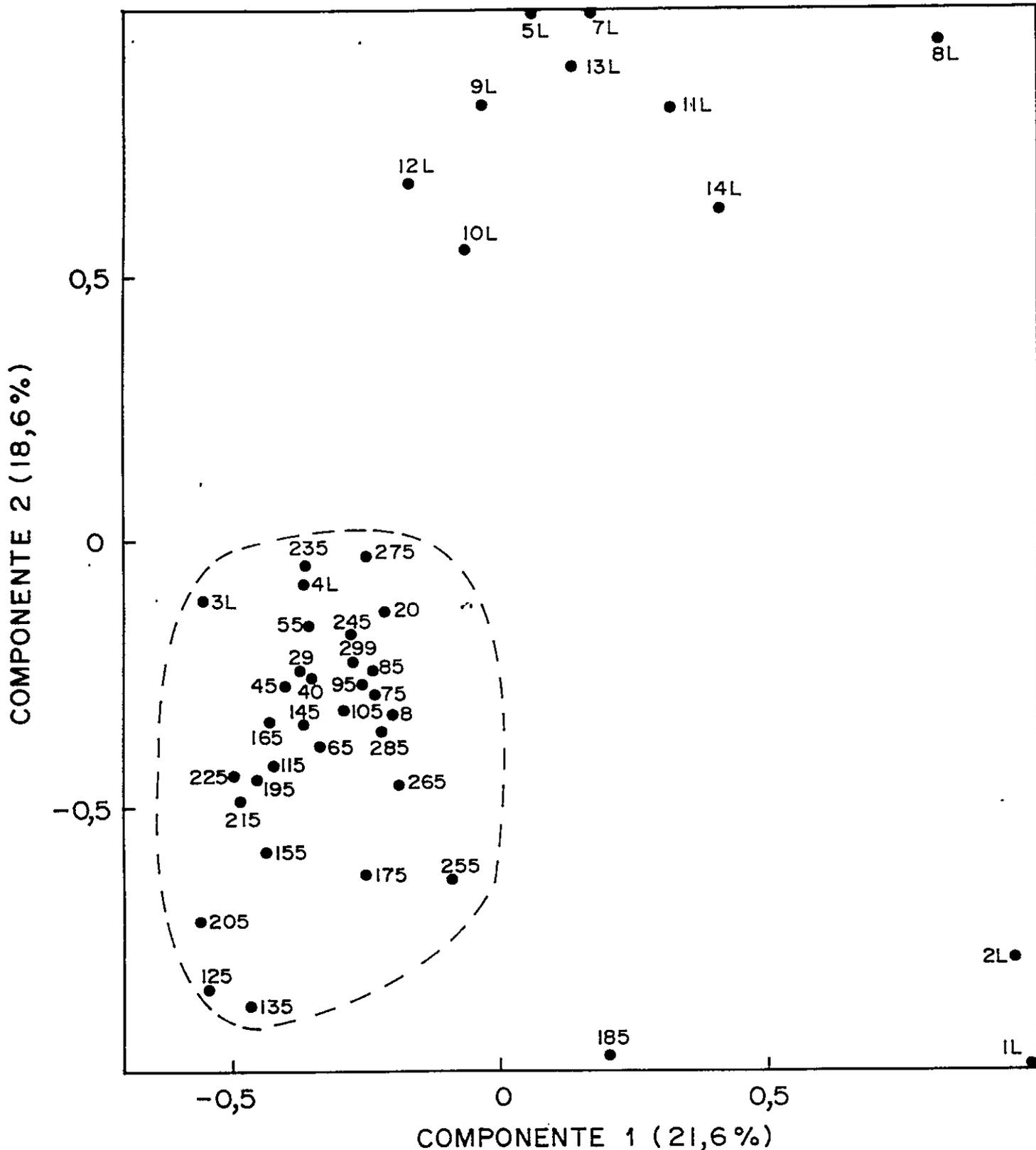


FIGURA 18: Análisis de componentes principales de los muestreos de lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm de las muestras) del registro Puente Santa Julia.

utilizó una matriz formada por 29 niveles estratigráficos y 14 muestras de lluvia de polen actual versus 18 taxa polínicas compartidas. Los 3 primeros componentes explican el 53.3% de la varianza total. La Figura 18 muestra los dos primeros componentes, que acumulan el 40.2 % de la varianza. Se observa la integración de todos los niveles estratigráficos del registro con las muestras 3 y 4 de polen actual, que corresponden a las obtenidas al interior del bosque pantanoso de Quintero. Este resultado sugiere que el bosque de Santa Julia se ha mantenido relativamente estable desde los inicio de la secuencia. En el Anexo 7 se muestra el análisis de conglomerado con la clasificación del polen fósil y actual del registro de Santa Julia.

## DISCUSIÓN

### Relación vegetación y polen atmosférico

Los resultados de los análisis de la lluvia de polen actual y vegetación del área de estudio muestran que la distribución del polen de los distintos taxa en la atmósfera guarda una relativamente estrecha relación con la composición y estructura de la vegetación del área. Esto es evidente en el análisis de conglomerados (Figura 9) que muestra que los censos de vegetación se agrupan con los respectivos de la lluvia de polen.

Sin embargo, algunos taxa abundantes en la vegetación actual están ausentes, o subrepresentados, en la lluvia de polen. Por ejemplo, en ninguna de las muestras se registran las especies de Juncáceas, a pesar de su abundancia en la vegetación cercana al pantano. Los granos de polen de esta familia tienen la exina muy delgada y frágil, lo que hace que el grano se rompa con facilidad con el tratamiento químico (Faegri & Iversen 1989). Algo semejante ocurriría con el polen de las especies acuáticas, como la lenteja de agua (*Lemna*), que no se registraron en las muestras de polen actual del sector inundado del bosque de petras, a pesar de su dominancia en este sector. Algunos taxa

de bosque (e.g. *Drimys*) registran bajos valores ( $\leq 1\%$ ), a pesar de su importancia en la vegetación local. Es también notoria la baja representatividad de los taxa leñosos dominantes del matorral esclerófilo (*Lithrea*, *Cryptocarya*, *Adenopeltis*) en la lluvia de polen. Muchos de estos taxa tienen polinización entomófila (Uslar 1982), asociada a una baja producción de polen. Además algunas especies tienen exina poco desarrollada y frágil (*Cryptocarya*).

Los análisis de componentes principales de la vegetación y de la lluvia de polen sugieren que la distribución de las formaciones vegetales en el área de estudio es función de dos factores principales. Por un lado, la constante humedad edáfica jugaría un papel importante en la mantención de las formaciones pantanosas, cuyo carácter azonal en todo el rango de su distribución ha sido comentado por distintos autores (San Martín et al 1988, Ramírez et al 1983). Ello explica la segregación en el análisis de componentes principales de las formaciones pantanosas y esclerófilas, estas últimas limitadas por sequía de verano. El grado de inundación, por otro lado, parece ser también un factor determinante en la segregación de las formaciones de bosque, inundadas estacionalmente, de las formaciones de pantano, ecotono y praderas Cyperáceas, con agua durante gran parte del año.

## Historia de la vegetación y del clima basada en análisis de polen fósil

Los resultados de los análisis de polen fósil y sedimentos permiten inferir una muy completa historia climático-vegetacional del área.

Desde antes de 5050 hasta 4050 años A.P., el clima de la zona fue probablemente más cálido y seco que el presente, hecho que se desprende del registro de una vegetación predominantemente herbácea de Compuestas, Umbelíferas, Malváceas y taxa halófitos, como *Frankenia* y *Chenopodiáceas*. De acuerdo con Heusser (1983) y Whalen (1987), estos dos últimos taxa son indicadores de condiciones salinas, pudiendo habitar en condiciones de desecamiento estacional de lagunas o en marismas costeras. Los altos valores de *Ephedra*, taxon alóctono, sugiere mayor influjo de polen transportado desde largas distancias, asociado con una vegetación probablemente rala. La aparición de moluscos fósiles del género *Littoridina* y la depositación de limo inmediatamente después de los 5000 años, sugieren que a partir de esta fecha, se formaron cuerpos de agua, posiblemente salobres y aún no circundadas por vegetación pantanosa.

*Littoridina* es un molusco continental, que habita aguas limpias, transparentes y bien oxigenadas (Gaillard & Castellanos 1976), en esteros o pozas de vertientes de caudal reducido y en pozas con alta salinidad

en el Norte de Chile (Biese 1944, 1947). Según el color de las conchas, en Chile habría dos grupos: del norte, con conchas de color blanco-verdoso, y del sur, con conchas de color castaño claro a oscuro. Las formas que aparecen en el perfil Quintero pertenecen a las del primer grupo. La aparición de este molusco indicaría la formación temporal de cuerpos de agua, ya sea por desviación del estero Quintero, como propone Levi (1956), o por el apozamiento del agua debido al aumento de las precipitaciones, y/o descenso del nivel del mar.

A los 4500 años AP, la aparición de taxa acuáticos y palustres como *Typha*, *Myriophyllum*, *Triglochin* y la microalga *Pediastrum*, sugieren ya muy claramente el establecimiento de una laguna de aguas someras colonizada por vegetación acuática, aún rodeada de vegetación de halófitas.

Alrededor de los 4060 años A.P. se registra uno de los mayores cambios en el perfil Quintero. La vegetación de halófitas, dominada por Chenopodiáceas y asociadas, desaparecen del registro y aumentan las Cyperáceas y Rubiáceas. Probablemente el pantano y sus formaciones ecotonales se establecieron en esta fecha, como lo muestra la integración de las muestras fósiles de esta zona polínica con las de polen actual provenientes de estas formaciones vegetales, en el análisis de componentes principales. Posiblemente un aumento de la nubosidad y/o precipitación favorecieron el desarrollo de formaciones de pantano y la

acumulación de turba.

A los 2000 años AP, se produce el segundo gran cambio en el perfil, la aparición de los taxa arbóreos del actual bosque; esta vegetación sugiere condiciones climáticas parecidas a las actuales y relativamente más frías y húmedas, en comparación con los períodos anteriores. En concordancia con la colonización del bosque, los sedimentos de turbas registran abundante restos de madera. Un leve aumento de los elementos esclerófilos sugiere que este matorral se encontraba en los márgenes del bosque, con condiciones más cálidos y secas que al interior del bosque. La existencia de trazas de *Escallonia* y *Myrceugenia* antes de los 2000 años A.P. sugiere que el establecimiento del bosque en el área fue lento antes de que las condiciones de temperatura y humedad fuesen adecuadas. Una vez que estas condiciones fueron alcanzadas, el establecimiento del bosque fue rápido.

El análisis del registro de Santa Julia sugiere que las muestras estratigráficas de todo el perfil son análogas a las muestras de polen del actual bosque pantanoso, indicando que en el lapso de alrededor de 1500 años que abarca el registro no han habido grandes transformaciones de la vegetación en el área.

## Reconstrucción paleoambiental: Modelo de la evolución del litoral de Chile central y sucesión vegetacional

La historia de la vegetación, establecida en base al análisis de polen del registro Quintero, muestra que entre 5000 y 4500 años A.P. se produjeron cambios importantes en las condiciones hídricas del área de estudio, a saber: a alrededor de 5000 se observa un cambio de los sedimentos, desde arenas a limo, y comienza el registro de *Littoridina*, eventos que sugieren la formación de cuerpos de agua en el sector. A los 4500 años A.P. la importante y abrupta aparición de una serie de taxa acuáticos muestran ya muy claramente el establecimiento de una laguna de aguas someras en el área, aún rodeada por vegetación seca. La formación de laguna litorales en el área de estudio, y la sucesión vegetal asociada a su relleno, probablemente guarde una estrecha vinculación con la génesis de los actuales sistemas de dunas activas detrás de los cuales se sitúan los bosques pantanosos modernos. De acuerdo a Fuenzalida (1956), la formación de dunas en el litoral de Chile central sería una consecuencia de las variaciones climáticas y del nivel del mar ocurridas durante el Cuaternario. En la Figura 19 se propone un modelo reestructivo de la evolución del litoral y de la vegetación en el área de estudio, durante el Holoceno medio y superior, considerando la interacción de los probables factores involucrados.

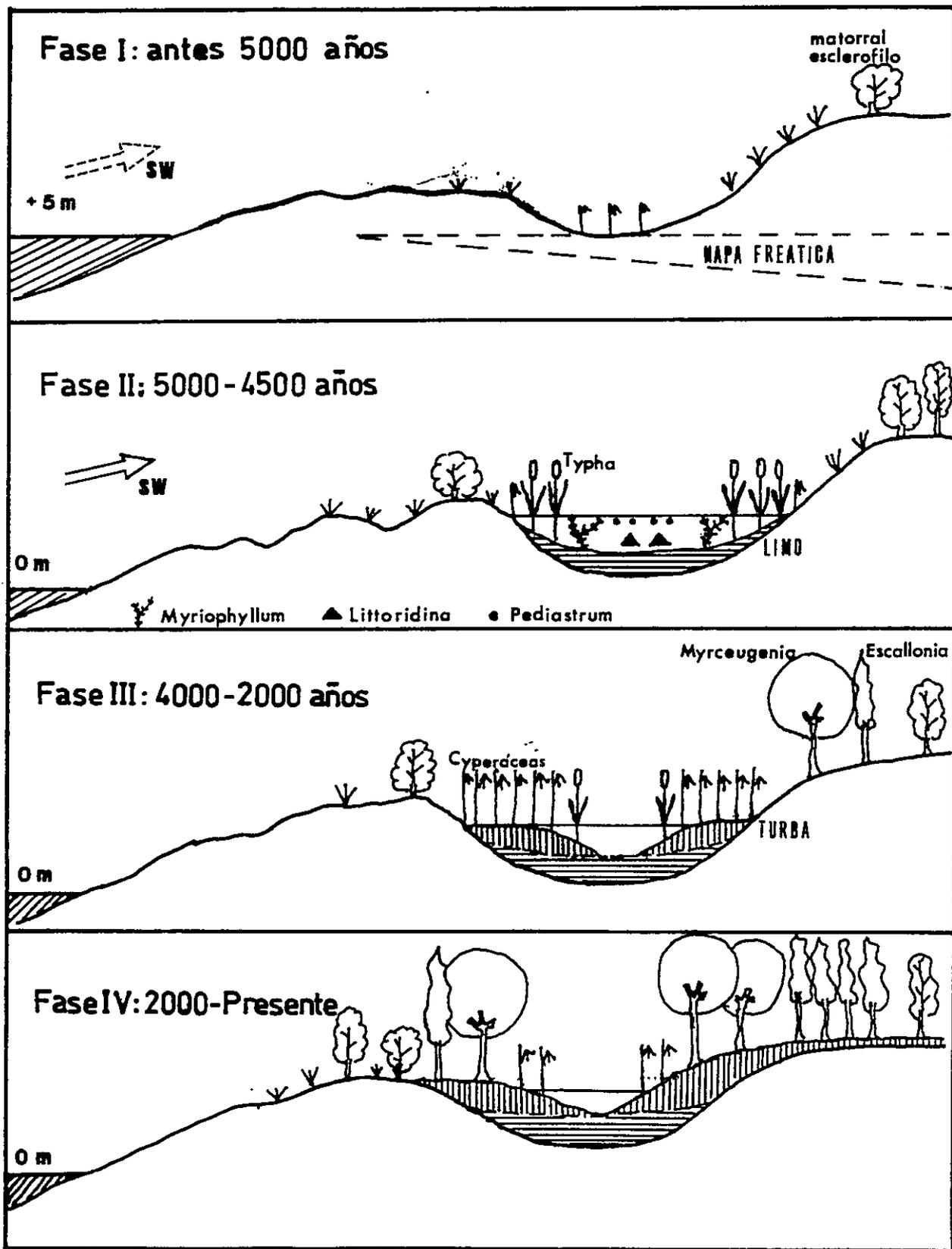


Figura 19: Modelo de la evolución del litoral y de la vegetación del área de estudio

De acuerdo a los antecedentes para la costa pacífica de Sudamérica (Clark *et al.* 1978, Clark & Bloom 1979, Porter *et al.* 1984, Otta & Paskoff 1993, Jerardino *et al.* 1992) durante el Tardiglacial y Holoceno se produjo un sostenido ascenso del nivel del mar, producto del derretimiento de los glaciares, tendencia que culminó entre 6000 y 5000 años A.P. cuando el nivel del mar alcanzó los máximos registrados para el Holoceno. A los 6000 años se habrían alcanzado niveles como los actuales, y a partir de esta fecha, se produjo un rápido ascenso de 2 a 5 metros por sobre el nivel actual que habría culminado a los 5000 años, descendiendo gradualmente desde entonces (Fig. 19, Fase I). Para la Costa de Sudamérica se han documentado ascensos de hasta 9-10 metros entre estas mismas fechas (Richards 1971).

Si se considera la situación atmósfera-oceano durante las fases de niveles altos del mar del Holoceno, asociados a ascensos de las temperaturas, podrían haberse generado un debilitamiento de la surgencia de aguas frías en la costa, con el consecuente ascenso de la capa de inversión térmica y disminución de la nubosidad. La existencia de una fase seca y cálida sugerida por el análisis de polen antes de 5000 años, también es sugerida por los análisis de analogía de las secuencias fósiles con los espectros polínicos actuales: Las muestras provenientes de las actuales praderas de Chenopodiáceas, muestran clara afinidad con las muestras estratigráficas correspondientes a

las fases lacustre y de pantano del registro Quintero (Q-2 y Q-3), que existieron después de 4500 años AP. En contraste, la vegetación de halófitas, dominada por Chenopodiáceas, existente antes de los 4500 años A.P., no tiene análogos actuales, a excepción de la muestra 14 de lluvia de polen actual proveniente de una pradera seca alejada del pantano.

El influjo de polen del perfil Quintero (Figura 13) muestra altos valores de Chenopodiáceas antes de los 4500 años; luego de esta fecha éstas comienzan a disminuir. Esta tendencia de disminución de las Chenopodiáceas, podría indicar un aumento de la nubosidad, después de esta fecha.

De acuerdo a Caviedes (1972) las actuales dunas depositadas sobre las planicies costeras más bajas y próximas al litoral de Chile central debieron acumularse cuando el mar se retiró desde su posición máxima, a los 5000 años, y el clima se tornaba gradualmente seco y fresco por la acción de los vientos del W intensificados. Este autor propone que, después de la transgresión oceánica, se reestableció la circulación con mayor influencia de los oeste provenientes del Anticiclón del Pacífico. Para el área de estudio, Caviedes postula que los vientos desecantes del W barrieron hacia el interior los sedimentos litorales y fluviales depositados en la boca del Río Aconcagua hasta formar las acumulaciones de la actual duna de Ritoque. La hipótesis de Caviedes es concordante con las proposiciones

de Rollins *et al.* (1986), quienes sugieren una reactivación de la surgencia de aguas frías en la costa peruana entre 5100 y 4260 años A.P.. Durante este lapso ocurre un cambio de fauna de moluscos, desde una asociada a la provincia cálida panameña a una peruana fría. La reactivación de la corriente fría de Humboldt podría haber causado una disminución de las temperaturas en los sectores cercanos a la costa, y posiblemente un aumento de la nubosidad costera.

La depositación de una nueva generación de dunas por acción de los vientos W, paralelas a las dunas más antiguas preexistentes a la transgresión, habría probablemente facilitado la formación de depresiones interdunarias más húmedas entre ambos sistemas, generándose así condiciones favorables para el desarrollo de vegas salinas y marismas, cuando la napa freática se acercaba o afloraba a la superficie (Castro 1987). Por otro lado, el frente transgresivo de las dunas en formación se habría visto restringido en su avance por la presencia de esteros, facilitándose así el represamiento de cauces de agua y la formación de lagunas temporales, como sería probablemente el caso de las actuales lagunas de Mantagua, Ritoque, Quintero y Ventana (Castro 1984-85). La acumulación de limo lacustre, a su vez, habría sellado el drenaje basal de las lagunas, provocando la mantención del agua todo el año y la colonización por especies acuáticas y palustres del sector, como se observa en el registro Quintero a partir de 4500 años

A.P. (Fig. 19, fase II).

A partir de 4000 años A.P., en concordancia con la acumulación de turbas, comienza el relleno de la laguna con vegetación palustre, tendencia que culmina con la instalación del actual bosque pantanoso alrededor de los 2000 años A.P.. Esta sucesión sugiere ya la instauración de un clima probablemente más frío y húmedo en el área de estudio, parecido al actual (Fig. 19, fases III y IV).

#### Comparación de los resultados con los registros paleoambientales de Chile central

Los resultados de esta tesis concuerdan con las escasas reconstrucciones paleoclimáticas documentadas para Chile central. En la costa del Norte chico ( $30^{\circ}\text{S}$ ), los estudios pedológicos y geomorfológicos de Veit (1991, 1993) indican un período de erosión de suelos en el Holoceno temprano, bajo condiciones cálidas y áridas; para los últimos 5000 años, este autor documenta tres etapas húmedas y dos secas. Las fases húmedas ocurrieron entre 5100-4500, entre 3700-2500 y durante los últimos 1800 años. Las fases secas ocurrieron entre 4500-3700 y 2500-1800 años AP (Veit, com. pers.).

El registro palinológico de Quereo ( $32^{\circ}\text{S}$ ) del litoral del Norte Chico (Villagrán & Varela 1990) no permite situar con precisión los cambios climático-

vegetacionales del Holoceno, debido a su gruesa resolución temporal. La litología del perfil Quereo (Figura 20) muestra que, después de los 9300 años A.P., dominaron sedimentos lacustres asociados a pequeños eventos de formación de turbas. Estos sedimentos se mantienen hasta antes de los 2500 años AP. Los estratos presentan dos fases de erosión, indicados como disconformidades. Poco antes de 2420 años A.P. aparecen estratos más potentes de turbas hasta cerca de 1280 años A.P., fecha de inicio de la formación del suelo actual. Los sedimentos lacustres no contienen polen suficiente para recuentos. Una muestra de turba cercana al fechado de 2420 años AP y otra proveniente de la capa de turba inmediatamente inferior, registran la aparición de taxa palustres (*Cyperáceas* y *Typha*) y trazas arbóreas, hechos que sugieren condiciones más húmedas en el Holoceno superior, en comparación con la dominancia de Compuestas y Umbelíferas en dos muestras de turba del Holoceno temprano, cercanas a un fechado de 9370 A.P.

Para el área de estudio, una muestra fechada en 3800 años A.P., extraída al interior del bosque pantanoso de Quintero (Villagrán & Varela 1990), documenta la existencia de una vegetación de matorral abierto (Compuestas, *Ephedra*, *Chenopodiáceas* y *Typha*), con lagos secos estacionalmente bajo un clima semiárido. Este espectro polínico es coincidente con el documentado en esta tesis para el mismo tiempo. Este registro muestra la expansión de las

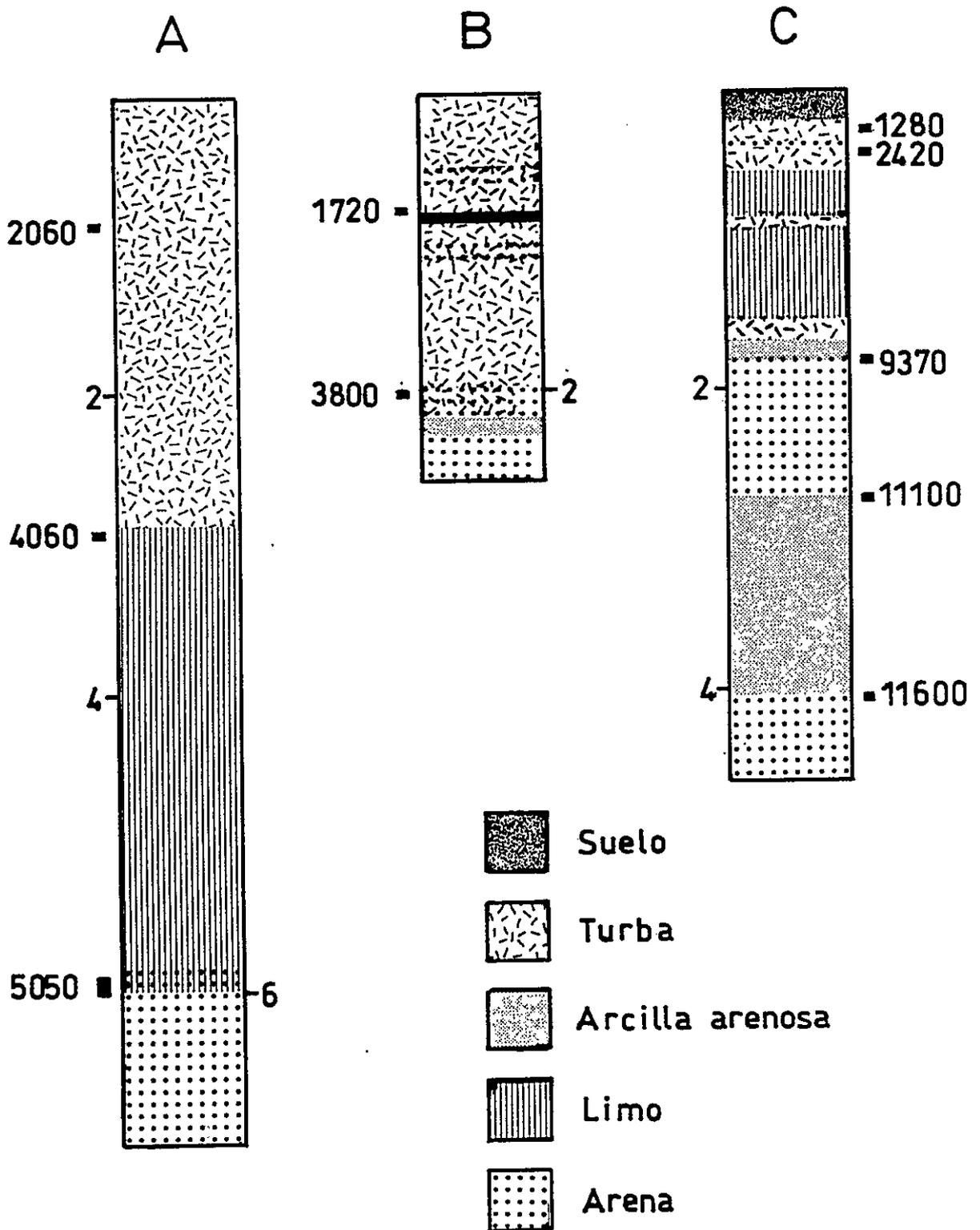


FIGURA 20: Estratigrafía de los perfiles Quintero (A, esta tesis); Quintero (B) y Quereo (C) de Villagrán & Varela (1990).

formaciones pantanosas actuales a alrededor de 1720 años A.P.

Una comparación de los sedimentos de los perfiles de esta tesis con los registros comentados (Fié. 20) muestra que en todos ellos hubo, antes de los 3800 años A.P., una sucesión de cambios litológicos desde arenas limpias hacia arcillas arenosas; después de esta fecha sigue una transición de arenas turbosas hasta turbas. La dominancia de arcillas en los sectores medios de todos los registros sugieren un aumento de los niveles lacustres antes o en el Holoceno medio. La vegetación circundante durante estas fases lacustres, tenía un carácter seco y ralo, a juzgar por la dominancia de halófitas y Chenopodiáceas, ausencia de especies palustres y arbóreas, y altos valores de polen alóctono de *Ephedra*. Es probable que estas lagunas hayan sido semi-salobres, y se hayan formado durante el descenso de los niveles del mar, después de alcanzado su máximo nivel a los 5000 años A.P. Concuerta con esta hipótesis el registro en la base del perfil Quintero de las formas de *Littoridina* del norte, adaptados a condiciones de alta salinidad, y los registros palinológicos de *Frankenia*, taxon que habita generalmente marismas salinas costeras (Whalen 1987) y de *Typha*, especie que habita marismas y lagunas de aguas poco profundas (Tutin et al. 1980). La dominancia de Chenopodiáceas, también sugiere condiciones salinas y desecamiento estacional de lagunas, de acuerdo a Heusser (1993).

### CONCLUSIONES

1) La lluvia de polen actual en el área de estudio, refleja estrechamente las abundancias y la composición florística de las formaciones pantanosas de las distintas unidades muestreadas.

2) Los análisis multivariados realizados en el sistema lluvia de polen/vegetación, muestra que la distribución de la vegetación responde básicamente al factor humedad edáfica, y que el grado de anegamiento determina la zonación de las asociaciones.

3) Los análisis de analogía entre el polen atmosférico y fósil de los perfiles Quintero y Santa Julia, muestran que los espectros fósiles tienen análogos en la vegetación actual, excepto los espectros basales del perfil Quintero, dominado por Chenopodiáceas, que sólo es análogo a una muestra proveniente de la pradera más alejada del pantano.

4) El análisis de polen y sedimentos de los registros estudiados permite establecer la siguiente sucesión en el área de estudio: Una fase arenosa comienza a ser colonizada por Chenopodiáceas halófitas, antes de 5000 años A.P. A 4500 años A.P. en concordancia con el paso de arenas a limo, se establece una laguna con vegetación acuática, aún rodeada por

vegetación de playa. A los 4000 años A.P. las Chenopodiáceas y reemplazadas por los taxa del actual pantano , con dominancia de Cyperáceas y Rubiáceas, y comienza a acumularse turba en los sedimentos. A los 2000 años A.P. aparecen las especies del bosque actual en Quintero; 1000 años más tarde aparecen los taxa arbóreos en Santa Julia.

5) La historia de la vegetación sugiere un clima más seco y cálido en el Holoceno medio, antes de 4000 años A.P. Después de esta fecha el clima se torna más húmedo, con temperaturas probablemente más frescas. La última fase corresponde al clima más húmedo y frío imperante durante los últimos 2000 años. Esta sucesión es concordante con los registros paleoambientales documentados para el litoral de Chile central.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, P.; Fuenzalida, H. & Rosenblüth, B. 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, 1990, 14 pp.
- Andrade, B. & Castro, C. 1987: Antecedentes sobre la valorización y manejo de costas arenosas en Chile. Rev. Geog. de Chile Terra Australis 30: 23-37.
- Biese, W 1944: Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistos de concha de Chile. I parte. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile 22: 169-190.
- Biese, W 1947: Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistas de conchas de Chile. II parte. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile 23: 63-77.
- Cabrera, A. & Willink, A. 1980: Biogeografía de America Latina. Monografía N°13, O.E.A., serie Biología, segunda edición. 122 pp.
- Castro, C. 1984-85: Reseña del estado actual de conocimiento de las dunas litorales en Chile. Rev. Geog. de Chile Terra Australis 28: 13-32.
- Castro, C 1987: Transformaciones geomorfológicas recientes y

- degradación de las dunas de Ritoque. Rev. Geog. Norte Grande, 14: 3-13.
- Caviedes, C 1972: Geomorfología del Cuaternario del Valle del Aconcagua, Chile central. Cuad. Geogr. Frifurg. Nº11. 153 pp.
- Clark, J & Bloom, A 1979a: The effect of the patagonian ice sheet on relative sea levels along the atlantic coast of South america: a numerical calculation. Proceedings of the "1978 international symposium on coastal evolution in the Quaternary" Sao Paulo, Brasil (1979): 61-76.
- Clark, J; W. Farrell & Peltier, W. 1978: Global changes in postglacial sea level: a numerical calculation. Quaternary Research 9: 265-287.
- Davis, M. B. 1969: Climatic change in southern Connecticut recorded by pollen deposition at Rogers Lake. Ecology 50(3): 409-422.
- Erdtman, G 1969: Handbook of Palynology. Munksgaard (Kobenhavn). 486 pp.
- Faegri, K & J. Iversen 1989: Textbook of Pollen Analysis. 4ª edition. Blackwell Scientific Publication.
- Frane, J; Jennrich, R & Sampson, P 1985: BMDP statistical software. P4M factor analysis. University of California press.
- Fuenzalida, H 1956: Campos de dunas en la costa de Chile central. XVIII congrés Intern. Géol. Rio de Janeiro. pp

234-240.

Fuenzalida, H 1970: Biogeografía, en Geografía económica de Chile. Editorial Corfo, texto refundido.

Gaillard, C & Castellanos, Z 1976: Molusca, Gasteropoda, Hydrobiidae. En Ringuelet, R.A.: Fauna de Agua dulce de la República Argentina, B. Aires. Fecic 15(2): 40 páginas.

Grimm, E 1987: Coniss: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. Computers & Geosciences 13(1): 13-35.

Grimm, E 1992: Software Tilia program. Illinois State Museum. Research & Collection Center. Springfield, U.S.A.

Gunckel, H 1954: Las ciperáceas de los alrededores de Quintero. Rev. Chilena de Historia Natural 14 (11): 129-151.

Heusser, C. J. 1971: Pollen and Spores of Chile. The Arizona University Press. 167 pp.

Heusser, C 1983: Quaternary pollen record from Laguna Tagua Tagua, Chile. Science 219: 1419-1422.

Heusser, C.J. 1990: Ice age vegetation and climate of Subtropical Chile. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 80, 107-127.

Hoffmann, A. 1982: Flora silvestre de Chile. Zona Central. Ediciones Fundación Claudio Gay. 257 pp.

Jerardino, A; J. Castilla; J. Ramírez & N. Hermosilla 1992:

- Early coastal subsistence patterns in central Chile: A systematic study of the marine-invertebrate fauna from the site Curaumilla-1. *Latin America Antiquity* 3(1): 4-62.
- Kohler, A 1967: Die entwicklung der vegetation auf küstendünen mitelchiles. *Umschau in Wissenschaft und technik*, N° 20/67, s.666-667.
- Levi, U 1951: Esquema ecológico del bosque de Quintero. *Investigaciones Zoológicas Chilenas* 1 (5): 4-18.
- Looser, G 1944: Anotaciones fitosociológicas sobre la región de Quintero. *Rev. Universitaria (U. Católica de Chile)* 29(1): 27- 33.
- Miller, A 1976: The climate of Chile. En *Climates of Central and South America*. W. Schwerdtfeger (Eds). *World Survey of Climatology*. Vol 12. Elsevier Scientific Publishing Co. 1976.
- Mueller-Dombois, D & Ellenberg, H 1974: *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley International, NY.
- Nourisis, M.J. 1986: *SPSS+ advanced statistic*. Chicago.
- Ota, Y & Paskoff 1993: Holocene deposits on the coast of the north-central Chile: radiocarbon ages and implications for coastal changes. *Revista Geológica de Chile* 20: 25-32.
- Paskoff, R 1970: *Recherches géomorphologiques dans le Chili semiaride*. Biscaye, Bordeaux.
- Porter, S; Stuiver, M & Heusser, C 1984: Holocene sea-level

along the strait of Magellan and Beagle channel, Southernmost South America. *Quaternary Research* 22: 59-67.

Ramírez, C; Ferreire, F & Figueroa, H 1983: Estudio fitosociológico de los bosques pantanosos templados del Sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 56: 11-26.

Richards, H. 1971: Sea level during the post 11000 years as indicated by data from North and South America. *Quaternaria* 14: 7-15

Rollins, H; Richardson, J & Sandweiss, D 1986: The birth of El Niño: Geoarchaeological evidence and implications. *Geoarchaeology* 1 (1). 3-15.

San Martín, J; Troncoso, A & Ramírez, C 1988: Estudio fitosociológico de los bosques pantanosos de la Cordillera de la Costa de Chile Central. *Bosque* 9(1): 17-33.

San Martín, J; Troncoso, A; Ramírez, C; San Martín, C & Duarte, A 1990: Estudio florístico y vegetacional de los bosques pantanosos nativos de la cordillera costera entre los ríos Rapel y Mataquito, Chile Central. *Rev. Geográfica de Chile Terra Australis* 33: 103-128.

Schmithusen, J 1956: Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. *Geog. Abh.* 17: 1-86.

Stockmarr, J. 1971: Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13 (4):615-621.

- Tutin, G; V. Heywood; N. Burges; D. Moore; D. Valentine; S. Walter & D. Webb 1980: Flora Europaea. Volumen 5. Cambridge University Press 1980.
- Uslar M, P. 1982: Sistemas de reproducción en Plantas: Zona ecotonal entre la zona Andina y el Matorral Esclerófilo de Chile Central. Tesis Licenciatura en Biología, Fac. de Ciencias, Universidad de Chile. 197 pp.
- Varela, J 1981: Geología del Cuaternario del área de los Vilos- Ensenada el Negro (IV región) y su relación con la existencia del bosque "relictos" de Quebrada Quereo. Comunicaciones 33: 17-30.
- Veit, H. 1991: Jungquartäre relief- und bodenentwicklung in der Hochkordillere im Einzugsgebiet des Rio Elqui (Nordchile, 30°S) en Südamerika: Geomorphologie und Paläoökologie im jüngeren Quartär, Garleff und Stingl (Hg.). Bamberger Geographische Schriften. Heft 11, 1991.
- Veit, H 1993: Upper quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico: An overview. Mountain research and development 13(2): 138-144.
- Villagrán, C 1969: Notas palinológicas de los bosques relictuales de la Zona Central de Chile. Noticiario Mensual Museo Nacional de Historia Natural 13 (153):3-12.
- 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. III Congreso Geológico Chileno.  
Concepción, Noviembre 1982.

Villagrán, C 1985: Análisis palinológico de los cambios vegetacionales durante el Tardiglacial y Postglacial en Chiloé, Chile. Rev. Chilena de Historia Natural 58, 57-69.

Villagrán, C & Varela, J 1990: Palynological evidence for increased aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. Quaternary Research 34, 198-207.

Whalen, M.A. 1987: Systematics of *Frankenia* (Frankeniaceae) in North and South America. Systematic Botany Monographs vol 17.

ANEXO 1: Lista florística del sector del bosque pantanoso de Quintero y Santa Julia, y de la vegetación de matorral esclerófilo. El asterisco indica especie introducida. Los números indican la unidad de vegetación en que se encuentra la especie. 1: matorral esclerófilo; 2: bosque pantanoso; 3: pantano y ecotono; 4: praderas.

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	AUTOR
Anacardiaceae	1 <i>Lithrea</i>	<i>caustica</i>	(Mol.) H. et A.
Anacardiaceae	1 <i>Schinus</i>	<i>latifolius</i>	(Gill ex Lindl.) Engler
Anacardiaceae	1 <i>Schinus</i>	<i>poligamus</i>	(Cav.) Cabrera
Apiaceae	3 <i>Apium</i>	<i>angustilobum</i>	(Phil.) Reiche
Apiaceae	3 <i>Daucus</i>	sp *	
Apiaceae	3.4 <i>Hydrocotyle</i>	<i>ranunculoides</i>	L.F.
Apiaceae	3.4 <i>Hydrocotyle</i>	<i>verticillata</i>	Thumb.
Apiaceae	3 <i>Lilaeopsis</i>	<i>macloviana</i>	(Grandover) A.W.Hill
Asteraceae	3.4 <i>Aster</i>	<i>squamatum</i>	(Spreng.) Hieron
Asteraceae	1 <i>Baccharis</i>	<i>concava</i>	(R. et P.) Pers
Asteraceae	4 <i>Baccharis</i>	<i>linearis</i>	(R. et P.) Pers.
Asteraceae	3 <i>Cichorium</i>	<i>intybus</i> *	L.
Asteraceae	4 <i>Cotula</i>	<i>coronopifolia</i> *	L.
Asteraceae	1 <i>Eupatorium</i>	<i>glechnophyllum</i>	Less
Asteraceae	1 <i>Eupatorium</i>	<i>salvia</i>	Colla
Asteraceae	3.4 <i>Hypochaeris</i>	sp	
Asteraceae	1 <i>Proustia</i>	<i>pirifolia</i>	DC
Asteraceae	3 <i>Senecio</i>	<i>fistulosus</i>	Poepp. ex Less.
Asteraceae	1 <i>Senecio</i>	<i>sinuatrilobus</i>	DC
Asteraceae	3 <i>Sonchus</i>	sp	
Azollaceae	2.3 <i>Azolla</i>	<i>filiculoides</i>	Lamarck
Blechnaceae	2.3 <i>Blechnum</i>	<i>chilense</i>	(Kaulf.) Melt.
Boraginaceae	4 <i>Heliotropium</i>	<i>curassavicum</i>	L.
Brassicaceae	1 <i>Cardamine</i>	sp	
Bromeliaceae	1 <i>Puya</i>	<i>chilensis</i>	Mol.
Callitrichaceae	3 <i>Callitriche</i>	<i>lechleri</i>	(Hegelm) Fassett
Campanulaceae	1 <i>Lobelia</i>	<i>polyphylla</i>	H. et A.
Caryophyllaceae	4 <i>Spergularia</i>	<i>villosa</i>	(Pers.) Cambers
Caryophyllaceae	4 <i>Stellaria</i>	<i>arvalis</i>	Phill.
Celastraceae	1 <i>Maytenus</i>	<i>boaria</i>	Mol.
Chenopodiaceae	4 <i>Atriplex</i>	<i>prostrata</i> *	Boucher ex DC.
Chenopodiaceae	4 <i>Chenopodium</i>	<i>frigidum</i>	Phill
Chenopodiaceae	4 <i>Sarcocornia</i>	<i>fruticulosa</i>	(L.) Scott
Cupressaceae	<i>Cupressus</i>	<i>macrocarpa</i> *	Hartweg ex Gordon
Cyperaceae	2 <i>Carex</i>	<i>pseudocyperus</i>	L.
Cyperaceae	3 <i>Cyperus</i>	<i>eragrostis</i>	Lam.
Cyperaceae	3 <i>Eleocharis</i>	<i>pachycarpa</i>	Desv.
Cyperaceae	3 <i>Scirpus</i>	<i>californicus</i>	(C.A. Mey.) Steud.
Cyperaceae	3 <i>Scirpus</i>	<i>cernuus</i>	Vahl
Cyperaceae	3 <i>Scirpus</i>	<i>inundatus</i>	(R.Br.) Poir

Dennstaetiaceae	2	<i>Hypolepis</i>	<i>poepigii</i>	(Kunze) Rodriguez
Dioscoreaceae	1	<i>Dioscorea</i>	sp.	
Elaeocarpaceae	1.2	<i>Aristolelia</i>	<i>chilensis</i>	(Mol.) Stuntz.
Equisetaceae	2	<i>Equisetum</i>	<i>bogotense</i>	H.B.K.
Euphorbiaceae	4	<i>Euphorbia</i>	<i>ovalifolia</i>	(Klotzsch et Garcke) Boiss
Euphorbiaceae	1	<i>Adenopeltis</i>	<i>serrata</i>	(W. Aiton )Johnston
Flacourtiaceae	1	<i>Azara</i>	<i>celastrina</i>	D. Don
Frankeniaceae	4	<i>Frankenia</i>	<i>salina</i>	(Mol.) Johnst.
Fumariaceae	4	<i>Fumaria</i>	<i>media*</i>	Loisl.
Goodeniaceae	4	<i>Selliera</i>	<i>radicans</i>	Cav.
Gunneraceae	3	<i>Gunnera</i>	<i>tinctoria</i>	(Mol.) Mirb.
Halagraceae	3	<i>Myriophyllum</i>	<i>aquaticum</i>	(Vell.) Verdc.
Juncaceae	3.4	<i>Juncus</i>	<i>balticus</i>	Willd.
Juncaceae	3.4	<i>Juncus</i>	<i>involucratus</i>	Steud. ex Buch.
Juncaceae	3.4	<i>Juncus</i>	<i>cyperoides</i>	Lah.
Juncaginaceae	3	<i>Triglochin</i>	<i>striata</i>	R. et P.
Labiatae	3.4	<i>Mentha</i>	<i>pulegium *</i>	L.
Labiatae	1	<i>Stachys</i>	<i>macraei</i>	Benth.
Lauraceae	1	<i>Cryptocarya</i>	<i>alba</i>	(Mol.) Looser
Liliaceae	4	<i>Trichopetalum</i>	<i>plumosum</i>	R. et P. Macbr.
Loasaceae	1	<i>Loasa</i>	<i>tricolor</i>	Ker-Gawl.
Malvaceae	4	<i>Sida</i>	<i>hederacea *</i>	(Dougl.) Torr.
Mimosaceae		<i>Acacia</i>	<i>melanoxyton *</i>	R. Br.
Monimiaceae	1	<i>Peumus</i>	<i>boldus</i>	Mol.
Myrtaceae	2	<i>Myrceugenia</i>	<i>exssuca</i>	(DC.) Berg
Myrtaceae	1	<i>Myrceugenia</i>	<i>obtusa</i>	(DC.) Berg.
Myrtaceae		<i>Eucalyptus</i>	<i>globulus*</i>	Labill.
Onagraceae	3	<i>Ludwigia</i>	<i>peploides</i>	(H.B.K.) Raven
Oxalidaceae	4	<i>Oxalis</i>	<i>perdicaria</i>	Jacq.
Oxalidaceae	4	<i>Oxalis</i>	<i>rosea*</i>	Jacq.
Papilionaceae	4	<i>Medicago</i>	<i>sativa *</i>	L.
Papilionaceae	4	<i>Trifolium</i>	<i>repens *</i>	L.
Phytolaccaceae	1	<i>Anisomeris</i>	<i>littoralis</i>	(P. et E.) Moq
Pinaceae		<i>Pinus</i>	<i>radiata *</i>	D. Don
Plantaginaceae	4	<i>Plantago</i>	<i>lanceolata *</i>	L.
Plantaginaceae	4	<i>Plantago</i>	<i>major *</i>	L.
Poaceae	4	<i>Agrostis</i>	<i>stolonifera *</i>	L.
Polygonaceae	1	<i>Muelenbeckia</i>	<i>hastulata</i>	(J.E.Sm.) Johnst.
Polygonaceae	3	<i>Polygonum</i>	<i>arenastrum *</i>	Boreau
Polygonaceae	4	<i>Rumex</i>	<i>acetosella*</i>	L.
Primulaceae	3	<i>Anagallis</i>	<i>alternifolia</i>	Cav.
Ranunculaceae	3	<i>Ranunculus</i>	<i>chilense</i>	DC
Rosaceae	4	<i>Potentilla</i>	<i>anserina *</i>	L.
Rosaceae	1.2	<i>Rubus</i>	<i>ulmifolius *</i>	Schott.

Rubiaceae	2	<i>Relbunium</i>	<i>hypocarpium</i>	(L.) Hemsl.
Salicaceae		<i>Salix</i>	<i>humboldtiana</i>	Willd.
Saxifragaceae	2	<i>Escallonia</i>	<i>revoluta</i>	(R. et P.) Pers.
Saxifragaceae	1	<i>Ribes</i>	<i>punctatum</i>	r. et p.
Scrophulariaceae	3	<i>Mimulus</i>	<i>glabratus</i>	H.B.K.
Scrophulariaceae	1	<i>Calceolaria</i>	<i>campanae</i>	Phil.
Solanaceae	1	<i>Cestrum</i>	<i>palqui</i>	L'Her
Solanaceae	1	<i>Solanum</i>	<i>nigrum*</i>	L.
Solanaceae	1	<i>Solanum</i>	<i>pinnatum</i>	Cav.
Valerianaceae	4	<i>Valeriana</i>	<i>bridgesii</i>	H. et P.
Verbenaceae	3	<i>Phylla</i>	<i>nodiflora *</i>	(L.) Greene
Vitaceae	2	<i>Cissus</i>	<i>striata</i>	R. et P.

## ANEXO 2

### Flora polínica actual

Descripciones de los granos de polen y esporas de los taxa actuales del bosque "Las petras" y matorral esclerófilo del área de Quintero. Con asterisco se indican descripciones tomadas de la literatura. EP: eje polar; EE: eje ecuatorial; EEC: eje ecuatorial corto y EEL: eje ecuatorial largo.

#### PTERIDOPHYTA

##### Azollaceae

*Azolla filiculoides*\* Lamarck: No se observaron ejemplares, se siguió la descripción de Heusser (1971) para *A. africana*: Trilete, laesuras cortas, ámbito subcircular, exina de  $1,5\mu$ , sin perina, psilado. EP  $14-17\mu$  y EE  $19-22\mu$ .

##### Blechnaceae

*Blechnum chilense* (Kaulf.) Melt.: Monolete, heteropolar, laesura larga. Perina escabrada y laxamente envolviendo al grano y formando pliegues. Exina gruesa de  $2\mu$ , EP  $60-70\mu$ , EEL  $80-100\mu$ , EEC  $60-70\mu$ .

##### Dennstaedtiaceae

*Hypolepis rugosula* (Kunze) Rodríguez: Monolete, heteropolar.

Lesura larga e irregular, con margo. Perina gruesa de 2-3  $\mu$ , que se pliega formando crestas gruesas, exina de 2 $\mu$ . EP 25-28 $\mu$ , EEL 42 $\mu$ , EEC 31-34 $\mu$ .

#### Equisetaceae

*Equisetum bogotense*\* H.B.K.: Alete, esferoidal, perina hialina formando pliegues, exina de 1 $\mu$ , escabrado, diámetro 30-38 $\mu$ .

#### GIMNOSPERMAS

#### Pinaceae

*Pinus radiata* D. Don: Bisacado, cuerpos con sacos laterales. Exina tectada, saco globoso reticulado. Longitud 94-118 $\mu$ , largo cuerpo 70-80 $\mu$ , ancho 62-77 $\mu$ , ancho saco 50-74 $\mu$ .

#### ANGIOSPERMAS

#### DICOTILEDONEAS

#### Anacardiaceae

*Lithrea caustica* (Mol.) H. et A.: Tricolporado, prolado. Semitectado. Estriado-reticulado, estrias pluribaculadas. Colpos largos, llegando hasta la proximidad del polo. Poros grandes, alargados transversalmente. Exina de 1 $\mu$ , EP 33 $\mu$ , EE 25 $\mu$ .

*Schinus latifolius* (Gill ex Lindl.) Engler: Como la especie anterior. Subprolado, la exina tiene un grosor de 1,5-2 $\mu$ , EP 25-26 $\mu$  y EE 22,5 $\mu$ .

*Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera: Como la especie anterior, pero la exina tiene  $1\mu$  en grosor, EP  $25\mu$  y EE  $22,5\mu$ .

#### Apiaceae

*Apium angustilobum* (Phil.) Reiche: Tricolporado, prolado a perprolado. Tectado, tectum foveolado, baculas gruesas y cortas. Colpos estrechos. Poros con engrosamiento de la endexina y con exoaperturas, elongados transversalmente. Exina gruesa de  $1-2\mu$ . EP  $18-23\mu$  y EE  $12-15\mu$ . frecuentemente se forma un estrechamiento ecuatorial.

*Daucus* sp: Tricolporado, prolado, poros grandes y algo circulares, colpos finos y largos, llegando hasta los polos. Exina de  $2\mu$ , las áreas polares son más gruesas. Tectado, tectum foveolado. EP  $29-33\mu$  y EE  $18-20\mu$ .

*Hydrocotyle ranunculoides* L.F.: Tricolporado, prolado elíptico, ámbito circular, colpos largos y delgados, poros más o menos rectangulares, grandes. Exina de  $2\mu$ , siendo las áreas polares más gruesas. Tectado, foveolado. Columelas grandes y notorias. EP  $23-28\mu$  y EE  $19-25\mu$ .

*Lilaeopsis macloviana* (Grandover) A.W.Hill: Como las especies anteriores. Subprolado elíptico. exina de  $2-2,5\mu$ , aunque no es tan notorio el engrosamiento en las áreas polares. EP  $25-40\mu$  y EE  $18-26\mu$ .

## Asteraceae

*Aster squamatus* (Spreng.) Hieron: Tricolporado, esferoidal, tectado, equinado. Espinas de  $3\mu$  de alto, exina de  $2\mu$ , EP 26-28 $\mu$ , EE27-29 $\mu$ , en visión polar se observan 5 a 6 espinas en los intercolpios.

*Baccharis linearis* (R. et P.) Pers.: Tricolporado, esferoidal, tectado, equinado. Espinas de 2,5-3 $\mu$  de alto, cónicas y de ápice doblado, en visión polar se observan 6 espinas en los intercolpios. EP 27-30 $\mu$  y EE 26-30 $\mu$ .

*Cotula coronopifolia* L.: Tricolporado, esferoidal. Tectado, baculas muy gruesas y esparcidas. Equinado, espinas agudas y esparcidas. Exina más gruesa en el ecuador, en visión polar se observan 4 espinas en cada intercolpio. EP 25 $\mu$  y EE 25 $\mu$ .

*Eupatorium glechonophyllum* Less.: Tricolporado, esferoidal colpos cortos y anchos. Poro transversal y poco notorio. Tectado, equinado, tectum finamente escabrado. Exina de  $3\mu$ , espinas de  $2\mu$  de alto. En visión polar se observan 5 espinas en cada intercolpio. EP 34-38 $\mu$  y EE34-38 $\mu$ .

*Eupatorium salvia* Colla: Tricolporado, esferoidal a oblado. Tectado, tectum escabrado. Equinado, colpos largos y angostos, poros alargados, espinas más pequeñas que en *E. glechonophyllum* de 1,5 $\mu$ . Exina de  $3\mu$ , EP 22,5 $\mu$  y EE 22,5 $\mu$ .

*Senecio fistulosus* Poepp ex Less.: Tricolporado, esferoidal, tectado, tectum escabrado. Equinado, espinas cortas y agudas. Colpos suaves y poco notorios, poros grandes y notorios, alargados transversalmente. En visión polar se observan 5 espinas en cada intercolpio. EP 32-34 $\mu$  y EE 32-35 $\mu$ .

*Senecio sinuatrilobus* DC.: Tricolporado, prolado, tectado, equinado. Espinas de 6 $\mu$  de altura, exina de 3 $\mu$ . EP 28-35 $\mu$  y EE 25-27 $\mu$ .

*Proustia piryfolia*\* DC: Tricolporado, subprolado, comprimidos en el medio, ámbito circular. Colpos largos. Poros alargados y atenuados ecuatorialmente. Exina de 3 $\mu$  en los polos y de 1,5 $\mu$  en el ecuador. Tectado, equinado, espinas muy cortas (0,5 $\mu$  de alto) y de base ancha. EP 41-48 $\mu$  y EE 31-36 $\mu$ .

*Cichorium intybus* L.: Fenestrado, lofado, tricolporado, ámbito hexagonal. Poros grandes y situados en los colpos, estos pequeños. Tectado, equinado, espinas grandes y agudas.

#### Boraginaceae

*Heliotropium curassavicum* L.: Heterocolpado, prolado. 3 colpos largos y los 3 con margo y otros 3 colpos con poros circulares muy notorios. Tectado, psilado. Exina de 1 $\mu$ . EP 22-26 $\mu$  y EE 17-21 $\mu$ .

### Campanulaceae

*Lobelia polyphylla* H. et A.: Tricolporado, prolado. Colpos largos con margo, poros circulares, irregularmente granulares. Tectado, endexina muy gruesa, el doble de la ectexina. Tectum perforatum. Exina de  $1\mu$ . EP 27-36 $\mu$  y EE 23-26 $\mu$ .

### Caryophyllaceae

*Spergularia villosa* (Pers.) Cambers.: Estefanocolpado, 3-5 colpos, más frecuentemente 4. Colpos cortos ( $17\mu$ ), que a veces se unen (sincolpado). Subprolado, ámbito circular tetragonal. Tectado, tectum fosulado-foveolado. EP 25-32 $\mu$  y EE 23-28 $\mu$ .

*Stellaria arvalis* Phill.: Periporado, 13-15 poros, de  $6\mu$  de diámetro con anulus, membrana del poro con baculas libres muy gruesas formando verrugas. Esferoidal a polihédrico (hexagonal). Tectado, microfoveolado, baculas grandes y notoriamente gruesas y muy dispersas. Exina muy gruesa,  $3,5\mu$ , en las partes más gruesas puede alcanzar hasta  $5\mu$  (cantos del hexágono).

### Celastraceae

*Maytenus boaria* Mol.: Tricolporado, prolado. Semitectado, reticulado, simplibaculado, levemente heterobrocado. Brochi disminuye de tamaño hacia el colpo. Exina de  $2,5-3\mu$ . EP 23-35 $\mu$  y EE 20-26 $\mu$ .

### Chenopodiaceae

*Chenopodium halophyllum* : Periporado, esférico, poros

pequeños más de 40 en número. Exina de  $2\mu$  en grosor, diámetro 22-26 $\mu$ .

#### Cruciferae

*Cardamine* sp : Tricolpado, esferoidal. Colpos largos, llegando casi hasta el polo. Semitectado, Reticulado, heterobrocado. Exina de  $3\mu$ , interrumpida en el colpo. EP 19-25 $\mu$  y EE 16-26 $\mu$ .

*Raphanus sativus* L.: Tricolpado, esferoidal, colpos anchos y muy largos, casi sin dejar apocolpia. Semitectado, reticulado, heterobrocado. Exina de  $3\mu$ , que disminuye su grosor al llegar al colpo. EP 20-26 $\mu$  y EE 20-25 $\mu$ .

#### Elaeocarpaceae

*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz.: Tricolporado a tricolporoidal, subprolado a esferoidal, colpos estrechos con margo, poro circular poco evidente. Microreticulado. Columelas visibles y separadas. Exina delgada  $0,5\mu$ , más gruesa en los colpos, EP 15-18 $\mu$  y EE 13-15 $\mu$ .

#### Euphorbiaceae

*Euphorbia ovatifolia* (Klotzsch et Garke) Boiss.: Material de esta especie no fue observado y se uso a *E. portulacoides* L, para la descripción. Tricolporado, prolado, colpos largos con margo grueso, poros circulares. Tectado, foveolado. Exina de  $2,5\mu$ . EP 33-35 $\mu$  y EE 25 $\mu$ .

*Adenopeltis serrata*\* (W.Aiton) Johnston: Tricolporados,

subprolado esferoidal. Colpos largos llegando hasta el polo. Poros elongados e inconspicuos. Exina de  $2,5\mu$ , tectado, suprareticulado, homobrocado. Columelas largas y espaciadas. EP  $29-40\mu$  y EE  $28-34\mu$ .

#### Flacourtiaceae

*Azara celastrina* D. Don: Tricolpado o tricolporado, pero dominando el tipo tricolporado. Prolado. Colpos largos y delgados. Poros son más o menos circulares y poco notorios. Semitectado, reticulado, retículos pequeños. Columelas cortas y separadas, bastante notorias. Exina de  $1\mu$ . EP  $21-26\mu$  y EE  $14-18\mu$ .

#### Frankeniaceae

*Frankenia salina*\* (Mol.) Johnston: Tricolpado, prolado, colpos largos, con margo, más o menos delgados. Tectado, foveolado. Exina de  $2,5\mu$ . EP  $26-48\mu$  y EE  $19-32\mu$ .

#### Fumariaceae

*Fumaria media*\* Lois.: Periporado, 6 poros circulares y dispuestos en las esquinas de un octaedro, cada poro con anulus fuerte. Exina de  $2\mu$ . Intectado, verrucado, verrugas de  $2\mu$ . Diámetro  $38-50\mu$ .

#### Goodeniaceae

*Selliera radicans* Cav.: Tricolporado, prolado a subprolado, ámbito circular, colpos largos provistos de margo, poros circulares y grandes. Semitectado, rugulado. Exina gruesa de  $2\mu$ . EP  $32-39\mu$  y EE  $23-30\mu$ .

#### Gunneraceae

*Gunnera tinctoria* (Mol.) Mirb.: Tricolpado, esferoidal-oblado, ámbito circular trilobado. Reticulado, heterobrocado. Exina de  $1\mu$ , EP 31-35 $\mu$  y EE 34-36 $\mu$ .

#### Halograceae

*Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verd.: Estefanoporado, 3-5 poros, poros grandes con anulus, elípticos y elongados meridionalmente, 2.5 $\mu$  de alto y 3.5 $\mu$  de ancho. Suboblado-esférico. Tectado, exina de 1.5 $\mu$ , psilado. EP 29-38 $\mu$  y EE 34-41 $\mu$ .

#### Lamiaceae

*Stachys macraei* Benth.: Tricolpado, esferoidal. Colpos muy largos casi sin dejar apocolpia. Los colpos no tienen margo y el contorno es irregular y algo granular. Exina de 1-1.5 $\mu$ , la que disminuye su grosor al llegar al colpo. Tectado, tectum grueso, posiblemente microperforado. EP 26-28 $\mu$  y EE 20-26 $\mu$ .

#### Lauraceae

*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser: Inaperturado, esferoidal, exina delgada de 0.5 $\mu$ . Foveolado. Diámetro de 41-60 $\mu$ .

#### Loasaceae

*Loasa tricolor* Ker-Gaw : Tricolporado, prolado. Colpos anchos, poros grandes, 5 $\mu$  de diámetro, circulares. Tectado, suprareticulado. Exina de 1-1.5 $\mu$ , más gruesa en las áreas polares. EP 33-41 $\mu$  y EE 16-27 $\mu$ .

### Malvaceae

*Sida hederacea* (Dougl.) Torr.: Tricolporado, colpos muy cortos. Equinado, circular. Exina de  $2\mu$ , espinas espaciadas de  $5-7\mu$  de alto. Diámetro de  $60-80\mu$ .

### Monimiaceae

*Peumus boldus* Mol.: Inaperturado, tectado, equinado, esferoidal. Exina de  $1-1,5\mu$ . Diámetro  $48-55\mu$ .

### Myrtaceae

*Myrceugenia exsucca* (De Candolle) Berg.: Heteropolar, sincolporado, oblado, ámbito triangular en visión polar. Colpos estrechos que se conectan en una de las caras polares y dejando una pequeña apocolpia en el otro, poros transversos. Exina tectada de  $1\mu$ , escabrado llegando a ser verrucado en los polos. EP  $10-13\mu$  y EE  $20-26\mu$ .

*Myrceugenia obtusa* (De Candolle) Berg.: Como la especie anterior, EP  $12-16\mu$  y EE  $22-27\mu$ .

*Eucalyptus globulus* Labill.: Sincolporado, oblado, ámbito semilobado en visión polar. Colpos estrechos y largos que se conectan en el polo en una cara y cerca del polo en la otra dejando una amplia apocolpia triangular ( $7\mu$ ), poros transversos con fuerte engrosamiento de la ectexina ( $1,5-2\mu$ ). Tectado, psilado. Exina delgada de  $1\mu$ . EP  $13\mu$  y EE  $26\mu$ .

### Onagraceae

*Ludwigia peploides*\* (H.B.K.) Raven: Tricolporado, poros

grandes, protruidos de 17 X 13 $\mu$ , colpos muy estrechos, cortos de 29 $\mu$ . Oblado esferoidal, ámbito subtriangular. Exina de 2-7 $\mu$ . Tectado, tectum de 3-6 $\mu$ . Psilado. EP 96-113 $\mu$  y EE 108-120 $\mu$ .

#### Oxalidaceae

*Oxalis rosea* Jacq.: Tricolpado, prolado a subprolado. Colpos anchos y sin margo, de contorno algo irregular. Semitectado, reticulado. Exina de 2 $\mu$ . EP 30-50 $\mu$  y EE 28-42,5 $\mu$ .

*Oxalis perdicaria*: Tricolpado, prolado-subprolado, ámbito circular. Colpos anchos y sin margo. Semitectado, reticulado. Exina de 2 $\mu$ . EP 29-35 $\mu$  y EE 25-30 $\mu$ .

#### Papilionaceae

*Medicago sativa* L.: Tricolporado, prolado, ámbito circular. Colpos largos y con margo fino, poros poco notorios. Exina de 1,0-2,0 $\mu$  de grosor constante. espacio intercolpial reducido. Tectado, foveolado. EP 35-42 $\mu$  y EE 25-30 $\mu$ .

*Trifolium repens* L.: Tricolporado, subprolado. Colpos largos provistos de margo, poros grandes y circulares. Semitectado, reticulado, muri muy grueso pluribaculado. Baculas muy cortas y delgadas. Exina de 1-1.5 $\mu$ . EP 24-30 $\mu$  y EE 20-25 $\mu$ .

#### Phytolaccaceae

*Anisomeria littoralis*\* (Poepp. & Endl.) Moq.: Tricolpado, prolado, ámbito circular. Colpos delgados, moderadamente largos. Exina de 1-2 $\mu$ , más engrosada en los polos. Tectado,

foveolado. EP 32-38 $\mu$  y EE 22-29 $\mu$ .

#### Plantaginaceae

*Plantago major* L.: Periporado, ámbito circular esférico, tectado, tectum microfoveolado, con verrugas dispersas. 9-13 poros con anulus. Diámetro 23-27 $\mu$ .

#### Polygonaceae

*Muelenbeckia hastulata* (J.E. Sm.) Johnst.: Tricolporado, prolado- subprolado. Colpos largos, poros transversos y aguzados hacia los extremos. Tectado, foveolado. Exina de 1.5 $\mu$ , EP 42-46 $\mu$  y EE 38-40 $\mu$ .

#### Primulaceae

*Anagallis alternifolia* Cav.: Tricolporado, prolado. Colpos delgados y largos, poros elípticos. Reticulado, heterobrocado. Reticulos más fuertes en la zona ecuatorial y disminuyendo hacia los polos. Semitectado. Exina de 1.5 $\mu$ . EP 22-29 $\mu$  y EE 17-19 $\mu$ .

#### Ranunculaceae

*Ranunculus chilensis* DC.: Pericolpado, colpos de márgenes poco notorios. Esferoidal, microespinuloso. EP 32.5-36 $\mu$  y EE 32-35 $\mu$ .

#### Rosaceae

*Potentilla anserina* L.: Tricolporado, prolado. Colpos estrechos, poros circulares y algo alargados transversalmente, protrudentes. Exina tectada, tectum microfoveolado supraestriado. EP 25-28 $\mu$  y EE 23-28 $\mu$ .

*Rubus ulmifolius* Schott.: Tricolporado, subprolado. Colpos con margo, poros protrudentes, área del poro algo granular. Exina tectada de  $1,5-2\mu$ , tectum supraestriado, más suave que el anterior. EP  $23-28\mu$  y EE  $18-22\mu$ .

#### Rubiaceae

*Relbunium hypocarpium* (L.) Hemsl.: Estefanocolpado, subprolado esferoidal, 6 colpos largos. Exina de  $2\mu$ , tectado. Escabrado. EP  $22,6\mu$  y EE  $22\mu$ .

#### Saxifragaceae

*Escallonia revoluta* (R. et P.) Pers. Tricolporado, oblado esferoidal. Colpos largos. Exina tectada de  $1,8\mu$  de grosor, endexina gruesa, tectum escabrado. EP  $19\mu$  y EE  $19,7\mu$ .

*Ribes punctatum* R. et P.: Periporado, de 6 poros, con anulus. Circular-cúbico, en cada lado del cubo un poro. Tectado, psilado. Exina de  $1,5\mu$ , diámetro  $36-40\mu$ .

#### Scrophulariaceae

*Calceolaria campanae* Phil.: Tricolporado, subprolado a esferoidal. Poros circulares y algo protrudentes, área del poro granular. Exina delgada  $0.5-0.7\mu$ , se adelgaza hacia los colpos. Microreticulado suave. EP  $11-13\mu$  y EE  $10-13\mu$ .

*Mimulus glabratus* H.B.K.: Sincolpado, esferoidal. Las aperturas son colpos estrechos y largos, formando una espiral en torno al grano. Exina de  $1,5-2\mu$ . Tectado, tectum muy finamente perforado. Diámetro  $41-58\mu$ .

### Solanaceae

*Cestrum palqui* L'Her: Tricolporado, prolado a subprolado. Colpos largos y anchos provistos de margo y con poros alargados transversalmente. Area del poro protruida. Tectado, tectum fosulado-estriado. Exina de  $1,5-2\mu$ , EP  $29-39\mu$  y EE  $22-33\mu$ .

*Solanum nigrum* L.: Tricolporado, subprolado a esferoidal, ámbito romboidal en visión ecuatorial. Colpos largos con margo y membrana colpial irregularmente granular. Poros protrudentes y provistos de una exoapertura a manera de colpo con margo, de  $11\mu$  de largo, y dispuesto transversalmente, con operculum. Reticulado fino. Exina de  $1\mu$ , EP  $26-29\mu$  y EE  $27-30\mu$ .

*Solanum pinnatum* Cav.: Tricolporado, esferoidal. Colpos estrechos y largos provistos de margo, poros protruidos y colpos transversales en forma de ocho. Exina de  $1\mu$ . Tectado, tectum microperforado. EP  $24-26\mu$  y EE  $25-26\mu$ .

### Verbenaceae

*Phylla nodiflora* (L.) Greene: Tricolporado, esferoidal. Colpos muy cortos provistos de poros con fuerte engrosamiento de la endexina y de un colpus transversalis que circunda todo el ecuador. Tectado, microfoveolado. Exina de  $1,5-2\mu$ , EP  $30-34\mu$  y EE  $26-30\mu$ .

### Vitaceae

*Cissus striata* R. et P.: Tricolporado, prolado-subprolado,

ámbito circular. Colpos largos y engrosados, áreas polares reducidas. Reticulado, muri duplibaculado, heterobrocado. Exina de  $2-3\mu$ , siendo más delgada en los polos. Semitectado. EP  $55-70\mu$  y EE  $38-55\mu$ .

#### Winteraceae

*Drimys winteri* Forst.: Tetrada, componentes de la tetrada monoapertuados. Exina de grosor variable de  $1-4\mu$ , siendo más gruesa en el polo distal, donde presenta un retículo grueso. Diámetro de  $58-72\mu$ .

#### MONOCOTILEDONEAS

#### Callitrichaceae

*Callitriche lechleri* (Hegelm.) Fassett.: Inaperturado, esferoidal, Exina intectada, verrugada. Exina de  $1,5\mu$ , diámetro  $18-20\mu$ .

#### Cyperaceae

*Carex pseudocyperus* L.: Tetrada aberrante, pseudo monado, periporado, siendo más visible el poro basal. Forma circular alargada, no piriforme. Exina de  $1\mu$ . Tectada, escabrada. EP  $50\mu$  y EE de  $45\mu$ .

*Cyperus eragrostis* Lam.: Como el anterior. Piriforme, con el ápice aguzado y la base ampliamente concava. Exina de  $0,5-1,0\mu$ . Tectado, escabrada. EP  $35-40\mu$  y EE  $25-35\mu$ .

*Eleocharis pachycarpa* Desv.: Como los anteriores. De forma

algo más circular que el anterior. Columelas notorias. Tectado, escabrado. Exina de 0,5-1,0 $\mu$ . EP 50-53 $\mu$  y EE 45-50 $\mu$ .

*Scirpus californicus* (C.A.Mey.) Steudel: Como los anteriores. Notoriamente piriforme, escabrado. Exina de 0,5-1 $\mu$ . EP 43-51 $\mu$  y EE 30-40 $\mu$ .

*Scirpus inundatus* (R.Br.) Poir.: Como la especie precedente. Exina de 0,5-1 $\mu$ . EP 40-50 $\mu$  y EE 38-45 $\mu$ .

#### Dioscoreaceae

*Dioscorea* sp. : Dicolpado, prolado, colpos largos. Tectado, supraestriado. Exina de 1 $\mu$ , EP 23-26 $\mu$  y EE 15-17 $\mu$ .

#### Juncaceae

*Juncus balticus* Willd.: Tetrada, componentes no siempre visibles. Monoporados, exina delgada de menos de 1 $\mu$ . Foveolados. Diámetro de 40-48 $\mu$ . Se destruyen fácilmente con la acetólisis.

#### Juncaginaceae

*Triglochin striata* R. et P.: Inaperturados, esferoidal. Semi tectado, reticulado, heterobrocado. Exina de 1 $\mu$ . Columelas separadas. Diámetro 16-20 $\mu$ .

#### Lemnaceae

*Lemna valdiviana* Phill.: No fue posible obtener material para observar, sino que se da una descripción parcial de Lemna según Heusser (1971): Monoporado, esferoidal, equinado, poro obscurecido, diámetro de 22-24 $\mu$ .

CLAVE DE IDENTIFICACION DE POLEN

Clave de identificación de los taxa polínicos actuales del área del bosque Las Petras y matorral esclerófilo, Quintero. Los grandes grupos de taxa, con números árabes, se distinguieron en base a los tipos polínicos (Faegri & Iversen 1989)

1.- Esporas

A. sin aperturas, aletas .....*E. bogotense*

AA. con aperturas

B. Triletes..... *Azolla*

*filiculoides*

BB. Monoletes

C. Eje polar de 60 $\mu$  o más.....*B. chilense*

CC. Eje polar de 30 $\mu$  o menos.....*H. rugusula*

2.- Tetradas:

A. Psilada o foveolada..... *Juncaceae*

AA. Reticulado..... *Drimys*

*winteri*

3.- Inaperturados

A. Intectado..... *Callitriche*

*lechleri*

AA.- Tectados o semitectados

B. Semitectados, reticulados ..... *Triglochin striata*

BB. Tectados

C. Granos esferoidales

D. Equinados ..... *Peumus boldus*

DD. Foveolado ..... *Cryptocarya alba*

CC. Granos piriformes, escabrados ..... *Cyperaceae*

4.- Monoporados

A. Psilado o escabrado..... *Poaceae*

AA. Equinado..... *Lemna valdiviana*

5.- Estefanoporados ..... *Myriophyllum acuaticum*

6.- Periporados

A. 6 poros

B. Psilado ..... *Ribes punctatum*

BB. Verrucado ..... *Fumaria media*

AA. Más de seis poros

B. 9-15 poros

C. Báculos muy gruesas y dispersas,



- A. Foveolado, 3-5 colpos..... *Spergularia villosa*
- AA. Escabrado, 6 colpos..... *Relbunium hypocarpium*
- 10.- Pericolpados ..... *Ranunculus chilensis*
- 11.- Sincolpado ..... *Mimulus glabratus*
- 12.- Sincolporado
- A. Ambito semilobado, apocolpia psilada, poros con fuerte engrosamiento de la ectexina, psilado ..... *Eucalyptus globulus*
- AA. Ambito triangular, apocolpia verrucada, escabrado ..... *Myrceugenia*
- 13.- Tricolporados
- A. Exina tectada
- B. Tectum psilado ..... *Ludwigia peploides*
- BB. Tectum equinado, escabrado o perforado
- C. Equinado
- D. Espinas de  $5\mu$  o más ..... *Sida hederacea*
- DD. Espinas de menos de  $5\mu$
- E. Espinas de hasta  $1,5\mu$
- F. Eje polar de  $40\mu$ ,



- hastulata*
- FF. Eje polar de menos de  $40\mu$
- G. Exina más gruesa en los polos
- H. Exina de  $2,5\mu$  ..... *Lilaeopsis*  
*macloviana*
- HH. Exina de  $2\mu$  o menos
- I. Eje polar  $29\mu$  o más ..... tipo *Daucus*
- II. Eje polar de  $28\mu$  ó menos
- J. Poro con fuerte engrosamiento  
de la endexina, con  
exoapertura ..... *Apium*  
*angustilobum*
- JJ. Poro sin engrosamiento de  
la endexina,  
sin exoapertura ..... *Hydrocotyle*  
*ranunculoides*
- GG. Exina de grosor constante
- H. Poros no protruidos
- I. Con colpus transversalis que  
circunda todo el  
ecuador ..... *Phylla*  
*nodiflora*
- II. Sin colpus  
transversalis ..... *Euphorbia*
- HH. Poros protruidos
- I. Con exoapertura a manera de

colpo con margo .....	<i>Solanum</i>
	<i>nigrum</i>
II. Con colpus transversalis	
en forma de ocho .....	<i>Solanum</i>
	<i>pinnatum</i>
DD. Supraestriados o Suprareticulados	
E. Suprareticulados .....	<i>Loasa</i>
	<i>tricolor</i>
EE. Supraestriados	
F. Con fosulas,	
poros protruídos .....	<i>Cestrum</i>
	<i>parqui</i>
FF. Sin fosulas	
E. Colpos sin margo,	
estrias fuertes .....	<i>Potentilla</i>
	<i>anserina</i>
EE. Colpos con margo,	
estrias suaves .....	<i>Rubus</i>
	<i>ulmifolius</i>
AA. Exina semitectada	
B. Rugulado o estriado-reticulados	
C. Rugulado .....	<i>Selliera</i>
	<i>radicans</i>
CC. Estriado-reticulado	
D. Eje polar de más de 30 $\mu$ .....	<i>Lithrea</i>
	<i>caustica</i>

- DD. Eje polar de menos de  $29\mu$
- E. Exina de  $1,5-2\mu$  ..... *Schinus*  
*latifolius*
- EE. Exina de  $1\mu$  ..... *Schinus*  
*polygamus*
- BB. Reticulado o microreticulado
- C. Microreticulado
- D. Poros protruídos ..... *Calceolaria*
- DD. Poros no protruídos
- E. Exina de  $0,5\mu$ , más gruesa  
en los polos ..... *Aristotelia*  
*chilensis*
- EE. Exina de  $1\mu$  ..... *Azara*  
*celastrina*
- CC. Reticulados
- D. Eje polar de  $45\mu$  o más ..... *Cissus*  
*striata*
- DD. Eje polar de 42 o menos
- E. Heterobrocados
- F. Brochi disminuyen hacia  
el colpo ..... *Maytenus*  
*boaria*
- FF. Brochi disminuyen hacia  
los polos ..... *Anagallis*  
*alternifolia*

EE. Homobrocados

F. Poros grandes, circulares ..... *Trifolium*  
*repens*

FF. Poros poco evidentes ..... *Medicago*  
*sativa*

14.- Fenestrado ..... tribu

*Cichorieae*

(*Asteraceae*)

15.- Heterocolpado ..... *Heliotropium*

*curassavicum*

### Niveles de distinción de taxa en la Lluvia de Polen

A pesar de que en la secciones anteriores se dan las descripciones y una clave para la identificación de los taxa polínicos del área de estudio, algunos taxa no pudieron ser distinguidos a nivel específico o genérico en la lluvia de polen. Merecen especial atención las siguientes familias:

Asteraceae (Compositae): Debido a la dificultad para separar géneros en esta familia, los taxa han sido agrupados según el tipo polínico dominante, en: 1) Tubuliflorae, incluyendo los taxa que presentan polen tricolporados y equinados. 2) Liguliflorae, incluyendo los granos fenestrados, característicos de la tribu Cichorieae. En este trabajo se considera este nivel de distinción. Dentro de las Tubulifloras, los taxa encontrados en el área de estudio pueden, eventualmente, ser diferenciados por el tamaño y por la densidad y tamaño de sus espinas. Algunos taxa son fácilmente distinguibles, como es el caso de *Proustia piryfolia* y *Eupatorium salvia*. *Proustia* pertenece a la tribu Mutisieae, que se caracteriza por presentar granos con microespinas y exina muy gruesa. En el caso de *Eupatorium* se puede distinguir del resto de los taxa por presentar espinas cortas, del orden de  $1,5\mu$ . Otro grano fácil de distinguir es

*Cotula*, con baja densidad de espinas (en visión polar se observan 4 espinas en los intercolpios) y por sus gruesas y esparcidas báculas. Para el resto de los taxa es más difícil su separación, ya que no siempre se pueden disponer de todas las medidas. De manera que los restantes taxa serán tratados en la categoría de tubulifloras.

Apiaceae (Umbellíferas): Los granos de polen de esta familia presentan tres caracteres distintivos: per-prolados o prolados, poros grandes y notorios y exina generalmente más gruesa en los polos. Entre los taxa presentes en el área de estudio (anexo 1), una clara distinción puede hacerse por el grosor de la exina, en *L. macloviana*, de ca  $2,5\mu$ , que lo separa del resto. Los demás pueden diferenciarse por sus medidas y otros rasgos particulares (ver secciones anteriores). Sin embargo en la unidad matorral esclerófilo aparecen granos de polen de esta familia y que no tienen relación con los descritos en las secciones anteriores, por lo que se le identifica sólo a nivel de familia.

Chenopodiáceae: En esta familia es difícil distinguir géneros y especies. Además las especies de esta familia se parecen al grano de polen del genero *Amaranthus* de la familia de las Amarantaceae. Sin embargo, en el sitio de estudio sólo existen taxa de las Chenopodiaceae. Por la dificultad de identificar de géneros sólo se las determina a nivel de

familia.

Cruciferae: Los taxa pertenecientes a esta familia en el sitio de estudio, presentan rasgos semejantes siendo difícil su identificación. Se opta así por la identificación a nivel de familia.

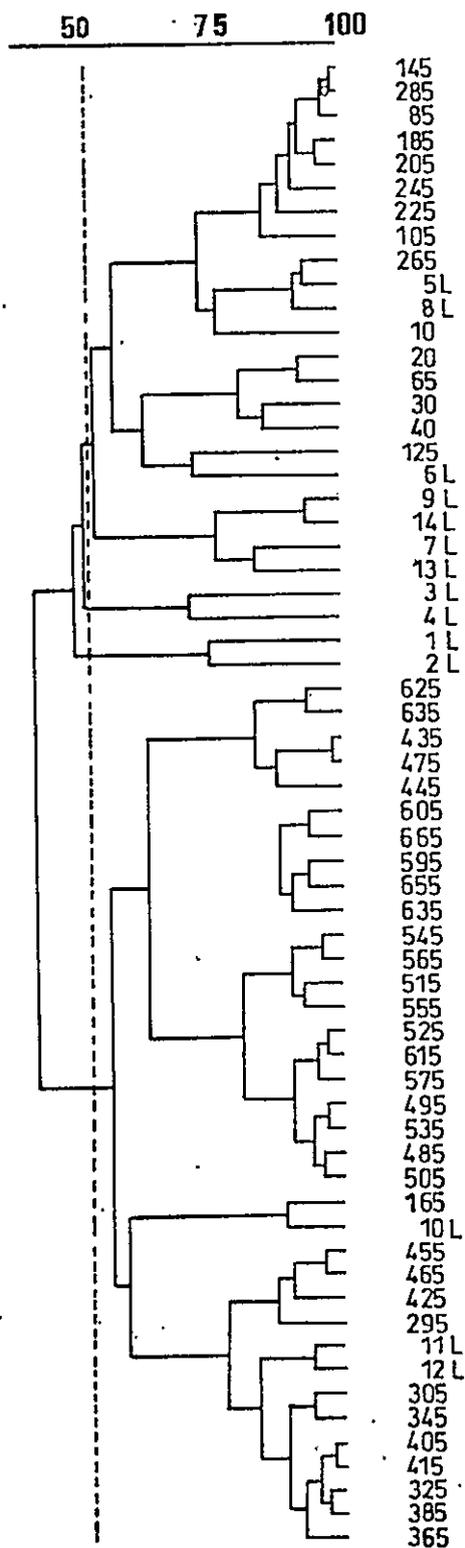
Cyperaceae: En esta familia los granos de polen son muy homogéneos en cuanto a sus características morfológicas, pudiéndose encontrar diferencias de tamaños entre algunos géneros. Los granos se presentan generalmente muy plegados y esto dificulta aún más la distinción entre géneros. En este trabajo se opta por la identificación de los taxa al nivel de familia.

Juncaceae: Los miembros de esta familia presentan una exina muy delgada, ca  $0,5\mu$ , la cual se destruye fácilmente con el tratamiento químico de las muestras. Aparentemente, también se destruyen durante el proceso de fosilización, ya que no aparecen en las muestras analizadas.

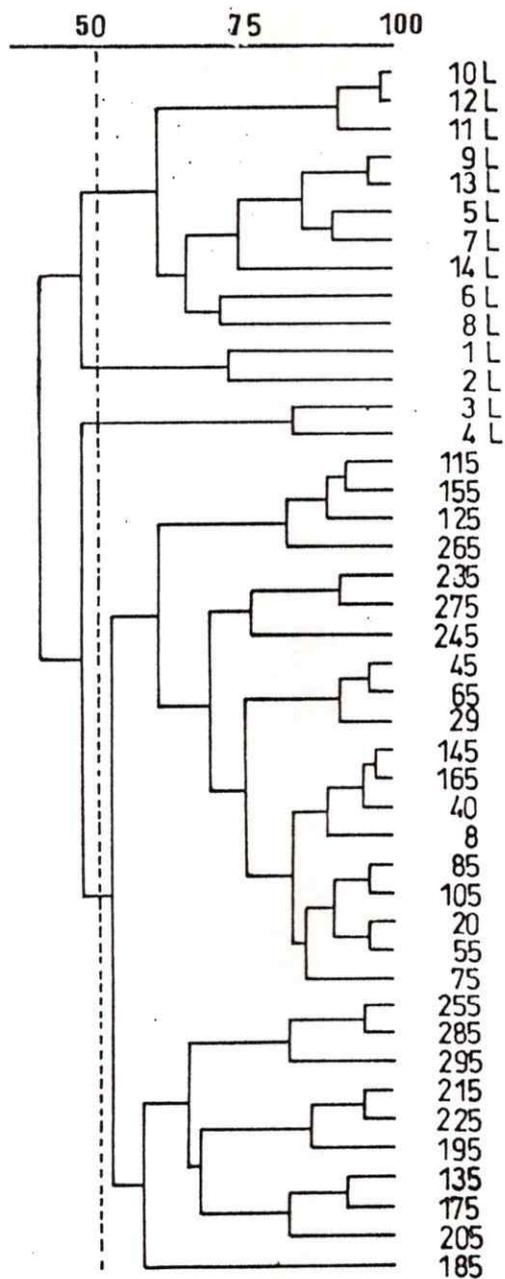
Papilionaceae: *Trifolium* y *Medicago* pueden diferenciarse entre sí por la forma del poro. En *Trifolium* los poros son grandes y circulares, mientras que en *Medicago* son muy poco evidentes; sus tamaños también son muy distintos (ver secciones anteriores).

Rosaceae: Sólo dos especies de esta familia existen en el sitio de estudio (anexo 1): *Rubus* y *Potentilla*. Pueden distinguirse porque los colpos en *Potentilla* no presentan margo y exina es supraestriada fuerte. En *Rubus* los colpos presentan margo y la exina es supraestriada pero suave.

Solanaceae: Tres especies se encuentran en el área de estudio (anexo 1 y 2). El género *Cestrum* puede distinguirse de *Solanum* , por el tamaño, los poros protruidos y la exina levemente estriada. Las dos especies de *Solanum* son muy semejantes entre sí, siendo difícil su separación, por lo que se opta sólo por la identificación al nivel de género.



ANEXO 5: Análisis de cluster de los muestreos de lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm) del registro Quintero.



ANEXO 6: Análisis de cluster de los muestreo de la lluvia de polen actual (L) y los niveles estratigráficos (indicados con la profundidad en cm) del registro Puente Santa Julia.