

Tesis de Posgrado

El polen atmosférico como indicador de la vegetación y de su fenología floral

Latorre, Fabiana

1999

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias
Biológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Latorre, Fabiana. (1999). El polen atmosférico como indicador de la vegetación y de su fenología floral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3212_Latorre.pdf

Cita tipo Chicago:

Latorre, Fabiana. "El polen atmosférico como indicador de la vegetación y de su fenología floral". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1999.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3212_Latorre.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO DE PALEOBOTÁNICA Y PALINOLOGÍA

Tesis presentada para optar al título de
Doctora en Ciencias Biológicas

**EL POLEN ATMOSFÉRICO COMO INDICADOR
DE LA VEGETACIÓN Y DE SU FENOLOGÍA FLORAL**

Autora:

Fabiana Latorre

Director:

Dr. Edgardo J. Romero

Co-Directora:

Dra. M. Virginia Mancini

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

1999

43212

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO DE PALEOBOTÁNICA Y PALINOLOGÍA

Thesis presented to obtain the
PhD degree in Biological Sciences

**THE AIRBORNE POLLEN AS AN INDICATOR OF THE
VEGETATION AND ITS FLOWERING PHENOLOGY**

Author:

Fabiana Latorre

Director:

Dr. Edgardo J. Romero

Co-Director:

Dra. M. Virginia Mancini

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

1999

RESUMEN

En esta Tesis Doctoral se aborda a la Aerobiología de una manera integral, evaluando todos los aspectos involucrados en el proceso aerobiológico. Este incluye el estudio de los granos de polen desde su producción en la vegetación hasta su registro en la atmósfera, además de todos los factores que intervienen tanto biológicos como físicos. Para ello, se analizaron los datos cuantitativos de la vegetación, de su floración, de los tipos polínicos emitidos y presentes en la atmósfera y de las condiciones de ésta antes, durante y después de la floración.

En principio, se estudió la composición de la flora urbana de Mar del Plata, caracterizando el tipo de estrategia reproductiva de sus componentes, y la diversidad, abundancia y distribución. Se determinó el período de floración de las especies y se estudió cuantitativamente la floración de las mismas. Especial atención y detalle tuvo la vegetación arbórea implantada. Se analizaron las diferencias interanuales en las fenofases florales principales y se determinaron las condiciones climáticas estacionales previas al inicio de la floración responsables de esa variabilidad interanual. Fue posible describir el comportamiento reproductivo general del conjunto de especies emisoras y su relación con el clima.

Se estudió el contenido de polen de la atmósfera de Mar del Plata. Se confeccionó el calendario polínico de la zona que permite una caracterización precisa de la aeroflora y de su dinámica y la identificación de las tendencias generales. Se compararon las productividades polínicas relativas de cada taxón y los períodos de polinización entre especies y entre años. La estacionalidad del espectro polínico a lo largo del año responde a la fenología floral de las distintas formas de vida de las especies vegetales.

Se analizó la relación polen-meteorología ya que la dispersión de partículas biológicas como la de los granos de polen, puede considerarse gobernada por los parámetros físicos atmosféricos de las masas de aire. En particular, se estudiaron los rasgos estacionales y diarios de la nube polínica para establecer el efecto de las variables meteorológicas instantáneas sobre los granos en suspensión. Se estableció que para elucidar de qué manera operan los factores responsables de la variación interanual del polen atmosférico, se requiere un estudio detallado separando el efecto de las condiciones climáticas estacionales previas o ritmos

endógenos cíclicos sobre la productividad polínica, de los efectos instantáneos de las condiciones meteorológicas durante la emisión y dispersión.

La vegetación local y extralocal resulta ser la fuente principal del polen que se registra en la atmósfera y sus atributos determinan la composición y abundancia de los tipos polínicos. Se determinó que para las especies anemófilas la concentración de polen depende de la abundancia de la vegetación. En la representatividad de la vegetación en el espectro de polen atmosférico, deben considerarse efectos particulares como cercanía y ubicación relativa de las principales fuentes potencialmente emisoras y la estrategia reproductiva de las especies.

Se analizó la expresión de la variabilidad fenológica en el registro polínico, observándose que los porcentajes de floración se corresponden con los porcentajes de granos de polen emitidos. Se evaluó la efectividad del registro polínico como indicador de las tendencias fenológicas florales de la vegetación. Se verificó que los factores que determinan la no correspondencia entre el polen y la floración, en algún momento dentro de los períodos correspondientes, son principalmente, las precipitaciones y los vientos, además de la influencia de las características y tipo de fuentes emisoras del polen.

La visión integradora de la problemática aerobiológica que se propuso, la rigurosidad y detalle que se planteó aquí para una aproximación de la relación polen-vegetación-floración-clima-meteorología no había sido abordado hasta ahora. En definitiva, se interpretó a la concentración de polen en la atmósfera como un complejo multidimensional de interacciones entre variables ecológicas y climático-meteorológicas.

En resumen, los patrones de polen en la atmósfera reflejan los patrones fenológicos florales de la vegetación emisora por lo cual la dinámica de la vegetación puede ser investigada a partir del análisis aerobiológico. Las condiciones climáticas determinan el momento e intensidad de la floración, y por lo tanto, la concentración de polen en el aire; las condiciones meteorológicas pueden modificar momentáneamente la cantidad de polen emitido, aunque no alteran el patrón general.

PALABRAS CLAVES: polen atmosférico - fenología floral - vegetación urbana meteorología - producción y dispersión polínica - Aerobiología.

ABSTRACT

In this Doctoral Thesis, Aerobiology is considered in an integral way, evaluating all the aspects involved. The aerobiological pathway includes the study of pollen grains since they are produced by the vegetation until they are registered in the atmosphere, as well as all the biological and physical factors involved in the process. To achieve this purpose, quantitative data of plant source, floral phenology, pollen types emitted and present in the air, and weather conditions before, during and after the flowering period, were analysed.

At the beginning, the urban vegetation composition of Mar del Plata city was studied. The reproductive strategies, the abundance and distribution of its components were also characterised. The flowering periods of species present in the urban flora were determined and their flowering developments were quantitatively studied. The principal floral phenophases of arboreal vegetation were analysed and interannual differences established. Seasonal weather conditions before the flowering start were responsible of such variabilities. It was possible to describe the general reproductive behaviour of the emitting species considered as an assemblage and its relation with the climate.

The airborne pollen content of Mar del Plata atmosphere was studied. The pollen calendar of this area was constructed; it makes possible to characterise the aeroflora, its dynamics and the identification of the general trends. The relative pollen productivities and the pollination periods between species and between years were compared. The pollen seasonal trend along the year respond to the seasonal flowering phenology of the different plant species: arboreal and herbaceous types.

Since the airborne pollen grains are influenced by the physical parameters of the atmosphere, pollen-meteorology relationship was analysed. To establish the effects of the instantaneous meteorological variables on airborne pollen, the seasonal and diurnal features of the pollen cloud were studied. A detailed analysis studying separately the seasonal climatic effects before the flowering or the endogenous rhythms effects on the pollen productivity, and the instantaneous effects of the meteorological conditions during the emission and dispersion phases, was required.

Local and extralocal vegetation are the principal pollen sources and its attributes determine the composition and abundance of pollen types. In anemophyllous species, the pollen concentration depends directly on the vegetation abundance. When the vegetation representativity in the airborne pollen spectrum is evaluated, particular effects like proximity and location of the potential emitting sources and their reproductive strategies, should be considered.

The expression of phenological variability in the pollen record was analysed. The flowering percentages are in accordance with the emitted pollen grains percentages. The pollen record effectivity as indicator of floral phenological tendencies of vegetation was evaluated. It was verified that factors determining the lack of correspondence between pollen and flowering are mainly, precipitation and winds. Particular characteristics of emitting pollen sources also affect this relationship.

In conclusion, airborne pollen patterns reflect floral phenological patterns of the emitting flora, so the vegetation dynamics could be investigated with the aid of aerobiological analysis. Climatic conditions determine the timing and intensity of flowering periods and then the airborne pollen concentration. Meteorological conditions could modify instantaneously the amount of emitted pollen but they do not alter the general pattern.

KEYWORDS: airborne pollen - flowering phenology - urban vegetation - meteorology - pollen production - pollen dispersion - Aerobiology.

A Pedro

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Edgardo J. Romero por su guía y consejos permanentes en todos los aspectos de la Tesis, los cuales han permitido mi formación científica. Su confianza depositada en mi trabajo me permitieron superar las dificultades y alcanzar los objetivos propuestos.

A la Dra. M. Virginia Mancini por su guía durante todas las etapas de la Tesis y por transmitirme su amplia experiencia en el área de la Palinología.

A la Dra. María Marta Bianchi por haberme introducido en la temática Aerobiológica y por los consejos brindados al comienzo de mi formación científica.

Al Lic. Claudio F. Pérez por haber contado siempre con su apoyo y colaboración, y por compartir la misma inquietud palinológica. Además de estos aspectos laborales, mi agradecimiento también al Lic. Claudio F. Pérez, a la Lic. Silvina M. Stutz y a la Lic. Susana Pastorino, por tantos momentos compartidos.

A los investigadores del Laboratorio de Paleobotánica y Palinología del Dpto de Ciencias Biológicas de la UBA y a los investigadores del Laboratorio de Palinología del Dpto. de Biología de la UNMDP por haberme permitido realizar mi trabajo de investigación con total libertad.

Al Dr. Pedro J. Fernández Iriarte, quien estuvo desde un principio y me ayudó en cada etapa de la Tesis, por colaborar en la lectura crítica del manuscrito, por su comprensión y por su amor, lo más importante.

A mis padres Dora y Rubén y a mi hermana Valentina por su constante apoyo afectivo y anímico. Esta Tesis es por y para ellos. A Valentín, mi querido sobrino. A Pedro y Mary y a la tía Hebe.

Este trabajo fue posible gracias al apoyo económico de la CIC y de UNMDP a través becas de investigación otorgadas y al financiamiento de los proyectos: EXA 11/93 y E039/97 de la UNMDP otorgado a la Dra. M.V. Mancini.

El Polen Atmosférico como indicador de la Vegetación y de su Fenología Floral

Fabiana Latorre

Lab. Paleobotánica y Palinología - Dpto. Ciencias Biológicas
FCEyN - UBA - Cuarto Piso - Pab II - Ciudad Universitaria
1428 Buenos Aires

Lab. Palinología - Dpto. Biología - FCEyN - UNMDP
Funes 3250 - 7600 Mar del Plata - E-mail: latorre@mdp.edu.ar

INDICE RESUMIDO

PARTE I	PRESENTACION	1
----------------	---------------------	----------

PARTE II	DESCRIPCION DE LA VEGETACION PRODUCCION - EMISION DISPERSION REPRESENTATIVIDAD	7
	1. ANALISIS DE LA VEGETACION	7
	2. ANALISIS DE LA FENOLOGIA FLORAL	49
	3. ANALISIS DE LA CONCENTRACION DE POLEN EN LA ATMOSFERA. RELACION CON VARIABLES METEOROLOGICAS	98
	4. ANALISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA VEGETACION EN EL ESPECTRO DE POLEN ATMOSFERICO	158

PARTE III	INTEGRACION	177
	5. ANALISIS DE LA RELACION ENTRE LOS PATRONES AEROBIOLOGICOS Y LOS PATRONES FENOLOGICOS	177

PARTE IV	CONSIDERACIONES FINALES	226
-----------------	--------------------------------	------------

	Bibliografía	231
--	--------------	-----

INDICE

PRESENTACION		1
	Hipótesis general	5
	Hipótesis particulares	
	Objetivos	6
<hr/>		
CAPITULO 1	ANALISIS DE LA VEGETACION	7
	Introducción	7
	Caracterización general de la vegetación autóctona de la región	
	I. VEGETACION ARBOREA	12
	Materiales y métodos	12
	Recolección de datos	
	Análisis de los datos	
	Area central	
	Area periférica	
	Resultados	15
	Area central	
	Area periférica	
	Discusión	19
	II. VEGETACION HERBACEA	22
	Materiales y métodos	22
	Recolección de datos	
	Análisis de los datos	
	Resultados	24
	Otoño - invierno	
	Invierno - primavera	
	Primavera - verano	
	Discusión	27
	Conclusiones	30
	Vegetación arbórea de Mar del Plata	
	Vegetación herbácea	
	Tablas, Figuras y Censos	32
<hr/>		
CAPITULO 2	ANALISIS DE LA FENOLOGIA FLORAL	49
	Introducción	49
	Materiales y métodos	52
	a) Elección de especies	
	b) Elección de árboles	
	c) Técnica de muestreo	
	d) Periodicidad del muestreo	
	Análisis de los datos	
	1) Análisis de la floración de la comunidad arbórea	
	2) Análisis de la floración de las especies arbóreas	
	Variables atmosféricas	
	Resultados	55
	1. Análisis de la floración de la comunidad arbórea	55
	2. Análisis de la floración de las especies arbóreas	60
	Inicio de la floración	
	Máximo de la floración	

Final de la floración	
Duración de la floración	
Producción de flores/inflorescencias	
3. Análisis de los parámetros climáticos estacionales en relación a la fenología floral	66
Discusión	68
1. Análisis de la floración de la comunidad arbórea	68
2. Análisis de la floración de las especies arbóreas	70
3. Análisis de los parámetros climáticos estacionales en relación a la fenología floral	74
Conclusiones	77
Tablas, Figuras y Calendario	79

CAPITULO 3

ANALISIS DE LA CONCENTRACION DE POLEN EN LA ATMOSFERA.

RELACION CON VARIABLES METEOROLOGICAS.

98

Introducción	98
Materiales y métodos	102
Sitio de muestreo polínico	
Características del muestreador	
Obtención de las muestras	
Palinoteca de referencia	
Recuento microscópico	
Tratamiento numérico de los recuentos	
Período de muestreo	
Análisis de los datos de polen	106
Variables meteorológicas	107
Análisis de los datos polínicos y meteorológicos conjuntamente	108
Resultados	108
Características generales del polen atmosférico	108
Patrón anual del polen atmosférico	109
Patrón diario del polen atmosférico	110
Composición de la nube de polen	111
Calendario polínico	113
Análisis de los períodos de polinización de lo principales taxones arbóreos	116
Relación entre la concentración polínica y las variables meteorológicas	118
Discusión	122
Características generales del polen atmosférico	122
Patrón anual del polen atmosférico	122
Composición de la nube de polen	125
Calendario polínico	128
Análisis de los períodos de polinización de lo principales taxones arbóreos	129
Patrón diario del polen atmosférico	131
Relación entre la concentración polínica y las variables meteorológicas	132
Conclusiones	135
Tablas, Figuras y Calendario	137

CAPITULO 4	ANALISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA VEGETACION EN EL ESPECTRO DE POLEN ATMOSFERICO	158
	Introducción	158
	Materiales y métodos	161
	Resultados	162
	Discusión	166
	Conclusiones	172
	Tabla y Figuras	173

CAPITULO 5	ANALISIS DE LA RELACION ENTRE LOS PATRONES AEROBIOLOGICOS Y LOS PATRONES FENOLOGICOS	177
	Introducción	177
	Materiales y métodos	179
	1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila	
	2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos	
	3. Análisis integral de los taxones más importantes	
	Resultados	180
	1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila	180
	2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos	181
	3. Análisis integral de los taxones más importantes	183
	Fraxinus	183
	Ulmus	185
	Acer	188
	Salix	190
	Populus	191
	Betula	192
	Quercus	194
	Q. robur	
	Q. ilex	
	Platanus	196
	Juglans	197
	Liquidambar	198
	Discusión	199
	1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila	199
	2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos	200
	3. Análisis integral de los taxones más importantes	202
	Conclusiones	208
	Tabla y Figuras	210

CONSIDERACIONES FINALES		226
	Conclusiones finales	230

Bibliografía		231
---------------------	--	------------

PARTE I

PRESENTACION

PRESENTACION

La atmósfera contiene un complejo grupo de partículas en suspensión, cuya variedad y diversidad es objeto de numerosos estudios. En particular, la Aerobiología es la rama de la ciencia que estudia el origen, emisión y dispersión, así como el impacto sobre distintas superficies, de las partículas biológicas transportadas por el aire. Se denomina Aeropalinología al estudio específico de los granos de polen presentes en la atmósfera.

El espectro polínico puede ser visto como un conjunto donde interactúan distintos factores de naturaleza tanto biológica como física. Algunos de ellos son: la vegetación emisora (composición, distribución, abundancia), los factores climáticos estacionales que determinan la intensidad y duración de la floración, los factores meteorológicos que influyen en la dispersión modificando la representatividad polínica, así como características propias del taxón (constitución genética, estructura de la planta, estrategia reproductiva o tipo de polinización), entre otros.

En este contexto, el estudio de la nube de polen como expresión de las comunidades vegetales implica considerar múltiples factores interactuantes, cuyo análisis requiere marcos referenciales multidisciplinarios. Por ello, la Aerobiología está estrechamente ligada a la ecología de la polinización, genética de poblaciones, fenología, física y meteorología en sus aspectos básicos (Mandrioli *et al.*, 1977).

Existen dos importantes áreas de aplicación de la Aeropalinología. Por un lado, el monitoreo de polen atmosférico constituye una herramienta de extrema precisión en el calibrado de los modelos de polen-vegetación-clima regional, utilizados como análogos modernos en la reconstrucción de los patrones de la vegetación del Cuaternario y aún asociaciones más antiguas. El análisis aeropalinológico posibilita obtener una serie temporal de datos actuales a microescala que permiten la contrastación directa con la vegetación emisora y su estado fenológico. Es de fundamental importancia ya que contribuye a la interpretación de espectros polínicos de suelo superficial y de secuencias estratigráficas, aumentando la resolución de las estimaciones paleoecológicas (Birks & Gordon, 1985).

Por otro lado, el registro aerobiológico adquiere singular importancia en el estudio retrospectivo y prospectivo de la dispersión de los agentes etiológicos de las enfermedades alérgicas respiratorias. La importancia para el estudio de estas enfermedades se debe a que proveen los únicos indicadores útiles sobre el riesgo de exposición de los potenciales alérgenos (granos de polen) para los pacientes afectados por polinosis (asma o rinitis alérgica) (Spieksma, 1990, Comtois *et al.*, 1989). Su prevención tiene mayor eficacia si se comparan los datos clínicos con los aerobiológicos y fenológicos conjuntamente. La confección de calendarios polínicos con la información retrospectiva y el pronóstico de la aparición en la atmósfera de los distintos tipos polínicos son indispensables para el estudio y tratamiento terapéutico y preventivo de los pacientes. Este tipo de estudios representan un importante aporte a la sociedad y una contribución para mejorar su calidad de vida.

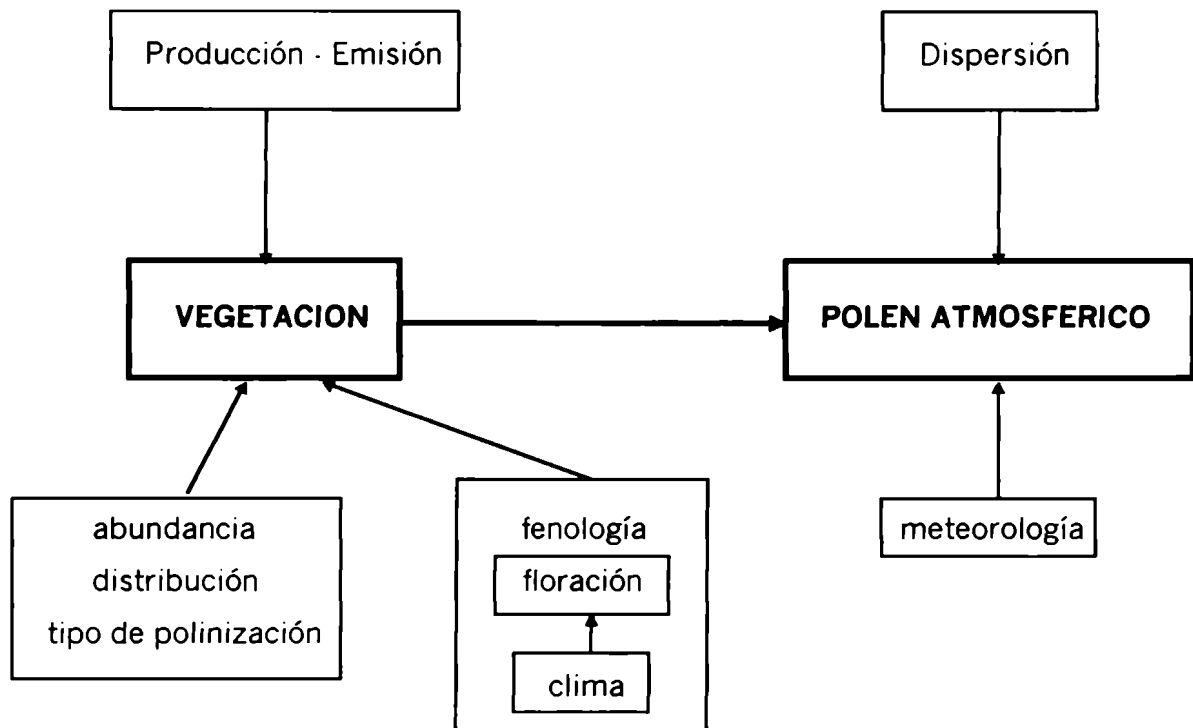
El estudio de los granos de polen no sólo es de interés botánico y médico, ya que sus características pueden extenderse a un amplio rango de partículas transportadas por el viento con características físicas similares. En particular, es útil en problemas de polución y en fitopatología (Tampieri *et al.*, 1977). Es posible especificar en principio, la dinámica de las nubes de esporas fúngicas patógenas, los límites de dispersión y las condiciones que propician su transporte, para así lograr un manejo adecuado de las plagas que afectan a los cultivos (Hirst, 1991). La información aerobiológica puede ser decodificada y transmitida a la comunidad para su aplicación tanto en tratamientos médicos de polinosis como en el manejo de plagas agrícolas.

En nuestro país existen muy pocos estudios de polen atmosférico (Cuadrado, 1978; Borromei y Quattrocchio, 1990; García de Albano, 1991; Majas *et al.*, 1992) pero todos ellos, utilizan una metodología gravimétrica (Tauber, 1967). Sin embargo, la mayoría de los aerobiólogos coinciden en que el muestreador que posibilita obtener datos en forma continua, volumétrica e isocinética, es el instrumento adecuado para obtener información real y confiable sobre la aerobiota, y por lo tanto es el utilizado habitualmente en todos los países del mundo (Spieksma, 1986). El análisis aerobiológico con esta metodología volumétrica (Hirst, 1952) es un enfoque palinológico original, tratado incipientemente en Argentina (Bianchi, 1994; Noetinger, M. &

Romero, E.J. 1997). La importancia del estudio en la ciudad de Mar del Plata reside en que es el único lugar que cuenta con una trayectoria ininterrumpida de más de 10 años de monitoreo atmosférico. Ello posibilita la disponibilidad de una enorme cantidad de información sobre la dinámica aerobiológica para comparar entre distintas regiones del mundo.

El proceso aerobiológico conforma un sistema complejo en el que las comunidades vegetales emisoras locales y extralocales, variables climáticas de la región y meteorológicas de la localidad, son las fuentes de variación más significativas. Los patrones aerobiológicos que determinan este proceso, y por lo tanto las variables involucradas en su ocurrencia, deben ser estudiados en forma conjunta. Esto se debe a que el propósito general tendiente a incrementar el conocimiento de la Aerobiología sólo puede ser alcanzado al integrar todos estos pasos, aunque cada uno puede ser visto en sí mismo como un núcleo problemático particular. Consecuentemente, la investigación llevada a cabo y presentada aquí, estuvo orientada hacia la comprensión de una Aerobiología integral, donde se han tenido en cuenta todos sus componentes desde las fuentes emisoras de polen a través del análisis de los procesos de producción y emisión, hasta la dispersión por las masas de aire e impacto en las superficies captadoras. Por ello, el objetivo general planteado en esta investigación fue determinar el modo en que la vegetación y su dinámica fenológica se expresa en el registro polínico atmosférico de dos años, evaluando la influencia de los factores atmosféricos sobre dicha relación. De esta manera, se generará la información necesaria que constituirá la base empírica para la formulación de hipótesis y el desarrollo de un modelo explicativo a microescala de la dinámica de la vegetación.

Para lograr este propósito, se planteó un modelo aeropalínológico como guía de la investigación, el cual permitió poner a prueba los supuestos teóricos subyacentes:



La cantidad y tipos de granos de polen que están presentes en la atmósfera en un momento dado, provienen de la vegetación que lo produce y emite y depende de la composición de especies, su abundancia y ubicación respecto de la fuente colectora de polen. Las plantas producen granos de polen como parte de su ciclo reproductivo que depende de las condiciones climáticas que influyen sobre la floración de distinta manera según los requerimientos fisiológicos de cada especie (fenología floral). Una vez que han madurado en la antera, los granos de polen son emitidos a la atmósfera. Estos granos en la atmósfera son transportados pasivamente y su dispersión depende de las condiciones meteorológicas que prevalecen en ese momento. Por lo tanto, el polen atmosférico estaría reflejando el tipo y dinámica fenológica de la vegetación. La variación que puede observarse en el espectro polínico atmosférico a lo largo del tiempo se relaciona con factores propios del taxón, de su período e intensidad de floración y de las condiciones de la atmósfera una vez que se ha liberado y se incorpora a la atmósfera.

En base a este modelo, en este trabajo de investigación se tratará de dar respuesta entonces, a las siguientes cuestiones: ¿El registro polínico es representativo de la vegetación y de su fenología floral? ¿De qué manera influyen las condiciones de la atmósfera sobre la floración (condiciones climáticas estacionales previas) y luego en la dispersión de polen (condiciones meteorológicas instantáneas)? ¿Es posible detectar y caracterizar la diversidad y dinámica de las plantas a partir del análisis aerobiológico?

Las respuestas pueden expresarse de la siguiente manera:

HIPOTESIS GENERAL

- La producción-emisión de polen depende del progreso de la floración en cada especie emisora y ésta se relaciona con los cambios climáticos estacionales. En cambio, la dispersión polínica está afectada por factores atmosféricos que modifican la representatividad de la abundancia de la vegetación y de su ritmo fenológico floral en el espectro de polen atmosférico. (CAPITULO 5)

HIPOTESIS PARTICULARES

- I. La variación en el desarrollo fenológico de la floración depende de la especie y de las condiciones climáticas previas. (CAPITULO 2)
- II. Las variaciones en la concentración de polen atmosférico reflejan la variabilidad fenológica floral de la vegetación emisora y la falta de coincidencia entre la floración y la concentración de polen se debe a factores meteorológicos durante la dispersión. (CAPITULO 3)
- III. La concentración de polen en la atmósfera es representativa de la vegetación, observándose una relación directa entre ambas variables. (CAPITULO 4)

Para contrastar empíricamente las hipótesis anteriores se propusieron los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

- * Estudiar la vegetación arbórea y herbácea de la ciudad de Mar del Plata. (CAPITULO 1)
- * Analizar cuantitativamente el ritmo fenológico floral de las especies arbóreas y los factores que lo determinan. (CAPITULO 2)
- * Conocer los cambios estacionales e interanuales en la concentración de polen en la atmósfera y su relación con las variables meteorológicas. (CAPITULO 3)
- * Estimar la representatividad de la vegetación arbórea en el registro polínico atmosférico de la ciudad de Mar del Plata. (CAPITULO 4)
- * Evaluar la relación entre los patrones aerobiológicos y fenológicos, determinando los factores que modifican la relación polen-floración, para interpretar los cambios fenológicos florales a partir del registro polínico atmosférico. (CAPITULO 5)

A continuación se presenta un esquema resumido del desarrollo de esta investigación:

Partes	Temas	n° Cap.	Variables
Parte I	Presentación		
Parte II	Descripción de la Vegetación	1	Vegetación (V)
	Producción - Emisión	2	Floración-Clima (F-C)
	Dispersión	3	Polen-Meteorología (P-M)
	Representatividad	4	Polen-Vegetación (P-V)
Parte III	Integración	5	V / F-C / P-M
Parte IV	Consideraciones finales		

PARTE II

DESCRIPCION DE LA VEGETACION

PRODUCCION - EMISION

DISPERSIÓN

REPRESENTATIVIDAD

CAPITULO 1

ANALISIS DE LA VEGETACION

INTRODUCCION

Uno de los principios básicos en Palinología es que la composición de la lluvia polínica depende de la vegetación que la produce y es el reflejo tanto de la vegetación local como de la regional (Birks y Gordon, 1985). Sin embargo, como la relación que existe entre el número de granos de polen de un taxón y el número de individuos de ese taxón en la vegetación es sumamente compleja, es importante cuantificar el área de aporte y la representatividad del taxón en los registros polínicos (Prentice, 1985). Por ello, la dimensión espacial de los fenómenos aerobiológicos deben correlacionarse necesariamente con la dimensión espacial representada por la distribución de plantas en el territorio (Zerboni *et al.*, 1991).

En términos generales, un muestreador atmosférico permite reproducir la situación aerobiológica de un área de 250 km² (Gagnon y Comtois, 1989). Pero de acuerdo con los modelos vigentes de dispersión polínica (Tauber, 1965; Prentice, 1985; Moseholm *et al.*, 1987), el polen capturado por un muestreador proviene principalmente de fuentes locales (hasta 200 m *sensu* Prentice, 1985) y en menor proporción de fuentes extralocales (de 20 m a 2 km), regionales (de 2 km a 200 km) y extraregionales (más de 200 km).

Estas diferencias en representatividad se deben a que la pendiente del gradiente de dispersión y depositación sigue un patrón leptocúrtico, o sea que la cantidad de polen disminuye logarítmicamente a medida que se incrementa la distancia desde la fuente (Jenssen, 1966; Kápylä, 1984). Tauber (1977) estimó que el 50% de los granos de polen presentes por encima de las copas de los árboles, que serían los registrados por un muestreador a 15m de altura, proviene de distancias de 250 m o menores, el 75% proviene de distancias hasta 5 km, y sólo el 5% proviene de distancias mayores a 5 km. En los análisis

aerobiológicos es importante entonces, cuantificar la proporción con que cada tipo de fuente emisora contribuye al espectro polínico.

Por lo tanto, como la fuente principal de polen es la flora local y extralocal (Halwagy, 1988) y la concentración de polen de un taxón depende principalmente de la cantidad de individuos de ese taxón en la vegetación (Solomon y Mathews, 1978; O'Rourke, 1986), es necesario determinar la composición florística de los alrededores del sitio de muestreo polínico, la abundancia de las potenciales fuentes emisoras y la distribución espacial de las mismas (Zerboni *et al.*, 1991). La ubicación de la vegetación respecto del muestreador de polen tienen además, una marcada influencia en la cantidad y diversidad de tipos polínicos que se registran (Zerboni *et al.*, 1992).

Sin embargo, los valores absolutos de concentración polínica no son comparables directamente con el entorno vegetacional (Zerboni y Manfredi, 1988) ya que existen otras variables que influyen sobre dicha relación. La dispersión o transporte de polen se ve afectado no sólo por fenómenos meteorológicos (Pessi & Pulkkinen, 1994), sino también por las características aerodinámicas de los granos (Li & Kendrick, 1995), por condiciones particulares del lugar como presencia de filtros (Tauber, 1967; Moseholm *et al.*, 1987), y por características propias de la vegetación emisora especialmente su estrategia reproductiva o tipo de polinización (Di-Giovani *et al.*, 1989).

Principalmente en especies anemófilas, existe una relación cuantitativa entre el número de granos de polen y el número de plantas emisoras presentándose generalmente, una buena correlación entre los datos aerobiológicos y los fitogeográficos (Driessen y Derksen, 1989; Zerboni *et al.*, 1991; Latorre & Bianchi, 1997). Estas plantas presentan "síndrome de anemofilia": flores unisexuales (diclino-monoicas), expuestas antes de que salgan las hojas o fuera de la masa de hojas, perianto pequeño o ausente, anteras y estigmas expuestos, granos de polen pequeños (entre 20 y 30 micrones) y producidos en grandes cantidades (Fægri y van der Pijl, 1979).

A menudo se observan casos de discordancia, como presencia de plantas en los alrededores y ausencia de polen en el espectro atmosférico (Zerboni *et al.*, 1986; Latorre & Bianchi, 1997). En general, estas plantas presentan polinización biótica (zoofilia, generalmente entomofilia). Sus flores tienen atractantes y un perianto conspicuo; la mayoría de sus granos de polen son grandes y pesados,

sus superficies presentan esculturas toscas: escabrosas, reticuladas o equinadas, son pegajosos, húmedos y en ocasiones son descargados en forma agregada (Pla Dalmau, 1961; Fægri y van der Pijl, 1979). Todos estos rasgos dificultan su difusión y transporte en las masas de aire. Además de estas características morfológicas, el hecho de que produzcan menos polen comparadas con las plantas de polinización anemófila (Pla Dalmau, 1961; Fægri e Iversen, 1964), hace que sólo eventualmente se registren sus granos de polen en la atmósfera.

El conocimiento de las fuentes de polen ayuda además, a la determinación taxonómica de los tipos polínicos presentes en la atmósfera (Zerboni *et al.*, 1986). En general, el análisis aerobiológico y principalmente el fenológico se realiza en base a aquellas especies que presentan una mayor frecuencia y/o son anemófilas; es necesario contar con información detallada y confiable sobre la distribución y frecuencia en el espacio de estas fuentes de polen (Puppi Branzi y Zanotti, 1989; Arrigoni *et al.*, 1977).

Para la prevención de la polinosis o rinitis alérgica se deben comparar los datos clínicos con los aeropolínicos y fenológicos (Solomon & Mathews, 1978; Spieksma, 1990). Por ello el estudio de las plantas desde el punto de vista alergológico debe concentrarse en la determinación de especies alergógenas, conociendo su abundancia y distribución, confección de calendarios de floración y de calendarios polínicos reuniendo la información retrospectiva de la aerobiota (Lorenzetti, 1972). Es importante en este punto no sólo conocer el tipo de vegetación presente sino también el estado fenológico floral de la misma.

En este capítulo se propuso: 1) conocer la composición de especies y caracterizar la flora urbana y de la zona, 2) analizar con especial detalle la vegetación presente en los alrededores del muestreador polínico mediante: a) el conocimiento del tipo de estrategia reproductiva de sus componentes, y b) la determinación de su diversidad, abundancia, frecuencia y distribución territorial.

Se consideraron especialmente los taxones arbóreos ya que, además de ser una fuente importante de polen alergénico, dominan el espectro polínico durante una gran parte del año (Latorre, 1997) y su presencia en vegetación es relativamente constante a lo largo de los años. Los árboles y su expresión en el espectro de polen atmosférico, son el objeto de estudio fundamental de esta Tesis.

En primer lugar, se realizó un censo de la vegetación arbórea y arbustiva en un área de 2.25 km² alrededor del muestreador polínico y un muestreo en el área de 18.25 km² circundante a la anterior. Además, se llevó a cabo un muestreo de la vegetación herbácea espontánea presente en los terrenos linderos a las vías del ferrocarril próximos a la UNMDP donde está ubicado el muestreador de polen. Conjuntamente con el relevamiento de la presencia de especies herbáceas, se analizó su estado fenológico. En el caso de los árboles, el muestreo y análisis de la floración se presenta en el capítulo siguiente.

El seguimiento fenológico que permitirá establecer el período de floración de cada una de las especies importantes, será la información fundamental para correlacionar con la concentración polínica de Mar del Plata y determinar luego, su representatividad. Por lo tanto, los datos obtenidos aquí, constituyen la base a partir de la cual, el modelo producción-emisión-dispersión polínica podrá ser abordado. El conocimiento del impacto antrópico en ambientes urbanos será una derivación del estudio general.

Caracterización general de la vegetación autóctona de la región

La ciudad de Mar del Plata se localiza dentro de la región del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Esta región es, en términos generales, una llanura poco elevada, formada por loess eólico. En la costa suelen presentarse elevadas cadenas de dunas que embalsan los arroyos que corren hacia el mar dando lugar a la formación de una larguísima laguna paralela a la costa (laguna de Mar Chiquita). Contrastando violentamente con el paisaje de llanura, se encuentra el sistema de sierras de Tandilia, que corren de NO a SE, incluyendo las serranías de Mar del Plata.

El clima de la región es templado-cálido húmedo con temperaturas medias anuales que oscilan entre 15 y 16.5°C, con temperaturas mínimas y máximas moderadas. Las precipitaciones están presentes todo el año, más intensas en primavera y otoño, escasas en invierno e insuficientes en verano; la precipitación media anual oscila entre 850 y 1000 mm.

La vegetación climax de esta región (Provincia Pampeana) es la estepa de gramíneas (Poaceae). Estas tienen cierto carácter xerófilo y pertenecen en gran proporción al género *Stipa*. Existen dos períodos de reposo: verano e invierno.

Las gramíneas cespitosas están acompañadas por terófitas y geófitas que florecen a comienzos de primavera, alcanzan su máximo desarrollo hacia fines de primavera simultáneamente con la floración de las gramíneas dominantes. A comienzos del verano las gramíneas comienzan a secarse. Con las lluvias otoñales florecen la mayor parte de arbustos y sufrútices (subarbustos). El invierno es un período de reposo.

Los suelos sueltos de los bancos conchilíferos y las dunas de limo, permiten el desarrollo de bosques xerófilos de *Celtis tala* (Provincia del Espinal, Distrito del Tala). Estos bosques se encuentran a más de 50 km al Este de la ciudad de Mar del Plata y se presentan en forma relictual. El estrato herbáceo es umbrófilo con predominio de *Bromus unioloides*.

Por otra parte, los arroyos, lagunas y bañados dan lugar a la presencia de numerosas comunidades edáficas. Todas estas comunidades han sido alteradas profundamente por el hombre, en forma directa o indirecta. Existen muchas malezas y especies adventicias. La alteración de la comunidad original es muy conspicua.

Algunas de las comunidades reconocidas en la región son: estepa graminosa y bosque xerófilo ya mencionados, juncales y totorales, pajonales de cortadera y de carda, duraznillares, vegas de ciperáceas, estepa halófila, espartillar, estepas de *Panicum*, matorrales de curro y chilca, matorrales de *Baccharis tandilensis*, entre otras (Cabrera, 1958; Cabrera & Zardini, 1978).

I. VEGETACION ARBOREA

Las especies arbóreas y arbustivas, se caracterizan por la presencia constante a lo largo del tiempo. Especialmente en áreas urbanas, su presencia está determinada por la acción antrópica. Sin embargo, su establecimiento y desarrollo es influenciado por el clima de la región y particularmente por el microclima de la ciudad.

En Mar del Plata, si bien la presencia de la mayoría de las especies se relaciona con las distintas etapas de parquización municipal, existe un recambio de especies en estos últimos años. No existen estudios florísticos donde se establezca en forma empírica y detallada, la diversidad y distribución de las especies.

Este trabajo, es una aproximación a la caracterización de la flora urbana marplatense, especialmente enfocada en la vegetación de los alrededores del muestreador de polen (centro geográfico de la ciudad) pero incluyendo una proyección de la vegetación de las áreas residenciales, del microcentro y de áreas suburbanas.

MATERIALES Y METODOS

Recolección de datos

Se realizó un censo de la vegetación arbórea en un área cuadrada de 2.25 km² (15 cuadras de lado) en cuyo centro se encuentra instalado el muestreador de polen (Fig. 1.1). Se relevaron todos los árboles plantados en las veredas, a ambos lados de la calle, y aquellos ubicados en los jardines privados externos. Este área incluye la vegetación local y parte de la extralocal. La determinación taxonómica se realizó en base a Dimitri (1980) y a Alonso *et al.* (1984).

Para tener un panorama general de la vegetación regional y establecer si el área central es representativa de la diversidad de la flora urbana, se muestreó una zona de 18 km² circundante al área central censada. Esta zona periférica fue dividida en ocho áreas (Fig. 1.1), siete de las cuales tienen el mismo tamaño que el área central (2.25 km²) y la restante un tamaño algo menor (área 3: 1.64 km²). En estas áreas se tomaron dos transectas (calles) al azar, perpendiculares

entre sí y de 15 cuadradas de largo cada una. Se relevaron todas las especies arbóreas indicando el número de ejemplares de cada una. El dato utilizado para cada especie en cada área fue el promedio del número de individuos en las dos transectas.

Para evaluar si el muestreo anterior era el adecuado, se realizó un análisis previo usando los datos del censo del área central. En promedio, dos transectas representaron a un 37% de los géneros totales que aparecen en el área (todos los géneros más abundantes fueron registrados) y un 69% de los taxones alergénicos. De esta manera y a los fines del trabajo, se consideró aceptable el tipo de muestreo propuesto.

Con estos datos se realizaron distintos análisis de la vegetación arbórea urbana.

Análisis de los datos

Se analizó la vegetación preferentemente en base a los géneros representativos ya que esta categoría taxonómica se corresponde con las determinaciones polínicas de material no acetolizado, especialmente en el caso de árboles.

Area central

Se analizó la abundancia de los géneros y especies, siguiendo la escala de Braun-Blanquet (1972):

1. muy raro (1-20%)
2. raro (20-40%)
3. no numeroso (40-60%)
4. abundante (60-80%)
5. muy abundante (80-100%)

y la abundancia relativa: $(n^{\circ} \text{ individuos de un taxón} / n^{\circ} \text{ individuos totales}) \times 100$.

La frecuencia de géneros se determinó en base al criterio de Driessen y Derksen (1989). Para ello, se dividió el área en 450 cuadradas. Se considera frecuencia del género al número de cuadradas en las cuales aparece. Es irrelevante si el género aparece una o varias veces en una misma cuadra. Se dividió la frecuencia en 9 clases, de la siguiente manera:

Clase	Frecuencia (N°cuadras)	Clasificación
1	1	excepcionalmente raro
2	2-3	extremadamente raro
3	4-8	muy raro o raro localmente
4	9-21	raro
5	22-51	bastante raro
6	52-110	bastante general localmente
7	111-190	bastante general
8	191-325	general
9	326-450	muy general

Se consideraron particularmente, los géneros con frecuencia mayor o igual a la clase 6. Géneros menos frecuentes serían irrelevantes como potenciales patógenos (Driessen y Derksen, 1989).

Area periférica

Cada una de las ocho áreas coincide con un punto cardinal. Se numeraron comenzando por el área al Norte (área 1) respecto del área central y siguiendo la numeración creciente en el sentido de las agujas del reloj.

Se determinó la constancia C de especies:

$C = (\text{número de áreas en la que se presenta una especie} / \text{número total de áreas}) \times 100$

Se calculó el índice de diversidad H, basado en Shannon y Weaver (1949) y corregido por Hutcheson (1970):

$$H = \left(\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \right) + (s-1)/2N$$

donde s = número de géneros, pi = frecuencia estimada del género i en la muestra, N = número de individuos en la muestra (tamaño de la muestra). La modificación se debe a que, para muestras chicas, el índice de Shannon y Weaver subestima la diversidad.

Este índice de diversidad es transformado según Peet (1974) y se interpreta como número efectivo de géneros H' , que es el número de géneros igualmente comunes que producirían la misma heterogeneidad como la observada en la muestra.

Como el índice H' no discrimina entre el “número de géneros” y la “uniformidad o igualdad”, se calculó el índice de uniformidad J (Pielou, 1974):

$$J = H'/\ln(s)$$

H' y J son dos índices que permiten un análisis más exhaustivo de la estructura de la comunidad. J está altamente correlacionada con H' de modo que, las muestras con valores de H' más diferentes son una consecuencia de sus valores de J diferentes.

Se analizó la abundancia de árboles de los géneros presentes en cada área, siguiendo la escala de Braun-Blanquet (1972). Se consideraron especialmente los géneros que eran muy abundantes y abundantes, al menos en una de las ocho áreas.

Se realizó además, un análisis de coordenadas principales entre todas las áreas (central y periféricas), usando el índice de asociación de Morisita, aplicado a datos de proporciones por fila (abundancia relativa de géneros en una muestra o área) (Matteucci y Colma, 1982). Este índice asocia áreas de acuerdo a la proporción de géneros en común. Tiene en cuenta la diversidad y la equitatividad de las áreas, o sea que le da mayor peso a los géneros dominantes. Sin embargo, en este análisis la matriz de datos originales fue reducida para evitar este efecto, utilizándose los datos de los géneros hallados anteriormente como más abundantes.

RESULTADOS

En el Censo 1.1 se detallan las especies arbóreas y arbustivas presentes en las calles de Mar del Plata. Se indica también la densidad y abundancia de las mismas en las distintas zonas de la ciudad, y la zona donde predomina cada una. Se destacan las familias en las cuales existen especies o géneros anemófilos.

Area central

El número total de árboles censados en las 225 has. circundantes al muestreador fue de 12559, pertenecientes a 110 géneros de 55 familias distintas. El 30% de los géneros son anemófilos, aunque varían desde muy anemófilos (*Platanus*, *Populus*, *Fraxinus*, *Acer*), hasta géneros con características intermedias entre la anemofilia y la entomofilia (*Eucalyptus*) (Pla Dalmau, 1961). Todos los taxones considerados como alergénicos por Lewis & Vinay (1983) están representados en esta zona, aunque algunos en baja densidad (*Alnus*, *Corylus*, *Aesculus*). La presencia de un ejemplar cultivado de *Nothofagus* es una rareza ya que, habitualmente, no es utilizado como ornamental y no se lo encuentra fuera de su región natural (los bosques subantárticos de la cordillera).

Hay 14 especies muy abundantes, y en orden decreciente son:

Prunus cerasifera var. *atropurpurea* Rehd (nv. ciruelo de jardín)

Lagerstroemia indica L. (nv. crespón)

Ulmus pumila L. (nv. olmo)

Tilia americana L. (nv. tilo)

Platanus acerifolia Willd (nv. plátano)

Fraxinus americana L. (nv. fresno)

Robinia pseudo-Acacia var. *umbraculifera* L. (nv. acacia bola)

Myoporum laeatum Forst (nv. transparente)

Ligustrum ovalifolium var. *aureo-variegatum* Rehd (nv. ligustro)

Cupressus sp (nv. ciprés)

Populus x canadensis Moench (nv. Iamo Mussolini)

Cordyline australis Hook (nv. dracaena)

Robinia pseudo-Acacia (nv. falsa acacia)

Hibiscus syriacus L. (nv. suspiro)

Las especies abundantes son:

Betula pendula Roth (nv. abedul)

Quercus robur L. (nv. roble)

Callistemon lanceolatus DC. (nv. limpia tubos)

Acer negundo L. (nv. arce)

La Figura 1.2 detalla la distribución de géneros en clases de frecuencia. Las clases 3 y 4 correspondientes a la denominación de raro y muy raro o raro localmente, incluyen al mayor número de géneros. Los géneros más frecuentes representan un 82.5% del total de árboles y se detallan en orden decreciente, en la Tabla 1.1. De esos 25 géneros, 13 son potencialmente alergénicos (Lewis & Vinay, 1983; Driessen y Derksen, 1989; Caramiello *et al.*, 1992) pero sólo 8 son anemófilos (Pla Dalmau, 1961). El grado de anemofilia en *Acer* y en *Salix*, depende de la especie considerada.

En promedio, *Prunus* se presenta en 8 cuadras de cada 10; *Fraxinus* y *Lagerstroemia* en 7; *Robinia* y *Ulmus* en 6; *Populus* y *Tilia* en 5; *Ligustrum* y *Platanus* en 4; *Acer*, *Callistemon*, *Hibiscus* y *Cordyline* en 3; *Acacia*, *Betula*, *Cupressus*, *Citrus*, *Catalpa*, *Ficus*, *Myoporum*, *Nerium*, *Salix* y *Yucca* en 2; y *Cedrus* y *Laurus* en 1.

La abundancia relativa que se muestra en la tabla anterior, demuestra que *Cupressus* y *Myoporum*, a pesar de que representan una abundancia mayor al 3%, se incluyen dentro de la clase 6. Esto se debe a que los individuos se encuentran agrupados dentro del área.

Area periférica

Dentro de esta área se encontraron presentes 90 géneros, de los cuales sólo dos (*Brachichyton* y *Tamarix*) no se encuentran en el área central. Más aún, los 11 géneros importantes aquí en cuanto a su abundancia (64.2% del total de árboles) son algunos de los 25 géneros que se consideraron como más frecuentes en el área central.

Veinte especies aparecen en las ocho áreas. Estas especies con 100% de constancia son:

Prunus cerasifera var. *atropurpurea* Rehd.

Lagerstroemia indica L.

Ulmus pumila L.

Tilia americana L.

Fraxinus americana L.

Robinia pseudo-Acacia var. *umbraculifera* L.

Ligustrum ovalifolium var. *aureo-variegatum* Rehd.

Cordyline australis Hook
Robinia pseudo-Acacia
Hibiscus syriacus L.
Cupressus sp
Prunus domestica L.
Ulmus procera L.
Catalpa speciosa Warder
Ficus elastica Rexb (n.v. gomero)
Nerium oleander L.
Stiphonolobium japonicum L. (nv. sófora)
Trachycarpus fortunei H. Wendl.
Callistemon lanceolatus DC.
Acer negundo L.

Las 11 primeras especies coinciden con las muy abundantes del área central y las 2 últimas con las abundantes. Las otras 7 especies presentes en todas las áreas periféricas, se encuentran en menor proporción en área central.

El Area 3 (Este) es la que presenta menor diversidad y menor número efectivo de géneros. Las áreas 5, 7 y 8 (S, O y NO, respectivamente) son las de mayor diversidad y mayor número efectivo de especies. Las áreas con una equitatividad en orden decreciente son: 5, 8, 6, 7, 1, 4, 2 y 3. Sin embargo, las diferencias entre áreas no es muy notoria, excepto entre los extremos mencionados. Por ejemplo, la diversidad y número efectivo de especies entre el área 3 y el área 6. Estos resultados se presentan en la Tabla 1.2.

Los 11 géneros más numerosos se distribuyen diferencialmente entre las áreas. En cada una de ellas los géneros muy abundantes y abundantes, en orden decreciente, son (Fig. 1.3):

Area 1 (N): *Fraxinus* y *Prunus*

Area 2 (NE): *Platanus*, *Lagerstroemia*, *Prunus* y *Fraxinus*

Area 3 (E): *Platanus* y *Fraxinus*

Area 4 (SE): *Lagerstroemia*, *Prunus* y *Tilia*

Area 5 (S): *Lagerstroemia*, *Prunus*, *Ulmus*, *Fraxinus* y *Cordyline*

Area 6 (SO): *Myoporum* y *Populus*

Area 7 (O): *Ulmus*, *Cupressus*, *Robinia*, *Myoporum* y *Populus*

Area 8 (NO): *Ulmus*, *Fraxinus*, *Myoporum*, *Lagerstroemia*, *Prunus*,
Populus y *Platanus*

Para comparar con esta zona periférica, se tomaron dos transectas al azar del área central. Los géneros muy abundantes y abundantes fueron los mismos en ambas áreas. En el área central, *Prunus* es el género netamente dominante, siendo abundante *Lagerstroemia* y también *Platanus* (Fig. 1.3).

Según el análisis de coordenadas principales (Fig. 1.4), con un α_1 (1-dispersión) = 73% y α_2 (1-distorsión) = 94%, existen básicamente dos grupos que se diferencian por la abundancia de sus géneros más comunes (Fig. 1.3). El grupo 1 incluye a las áreas 6 (SO) y 7 (O), y el grupo 2 reúne al resto de las áreas.

Existe un 80% de asociación entre las áreas del grupo 1. Este se caracteriza por la alta proporción de *Populus* y *Myoporum* y especialmente en el área 7 (O), de *Ulmus*, *Robinia* y *Cupressus*. Además, estas dos zonas se distinguen de las demás por la baja presencia de *Platanus*, *Fraxinus*, *Lagerstroemia*, *Tilia* y *Prunus* (Fig. 1.3).

El grupo 2 en general, presenta una gran abundancia de los géneros que están en baja proporción en el grupo 1. Dentro de este grupo 2, se diferencia el área 3 (E) por la gran abundancia de *Cordyline* respecto de las demás, presentando también altas proporciones de *Tilia* y *Fraxinus*. Esta área 3 (E) muestra una asociación importante de un 81% con el área 2 (NE) por la abundancia similarmente alta de *Platanus*. Esta área 3 (E) también se caracteriza por la nula presencia (o escasa ya que no se descarta que existan árboles en baja proporción) de *Myoporum* y *Populus* y por lo cual se diferencia notoriamente del grupo 1 (Fig. 1.3).

Otro subgrupo que se puede diferenciar dentro del grupo 2 está formado por el área central y por el área 4 (SE). La asociación entre ambas es la más alta y supera el 95%. Esta similitud se basa fundamentalmente en la mayor abundancia de *Lagerstroemia* y *Prunus* respecto a todas las demás.

DISCUSION

El área central alrededor del muestreador de polen corresponde a la flora local y a la mayor parte de la flora extralocal. Incluye a un barrio típico de la ciudad y

parte de un barrio residencial. Al igual que la zona periférica muestreada, se presenta aquí una gran variabilidad de géneros, aunque la mayoría no son frecuentes. Se distinguen algunos por su alta densidad y frecuencia. Dentro de ellos sin embargo, son relativamente escasos aquellos que tienen importancia como potenciales fuentes de polen atmosférico; estos serían los géneros con mayor cantidad de individuos y de polinización anemófila (Negrini, 1992; Latorre, 1993). Ejemplo de ellos son: *Fraxinus*, *Ulmus*, *Populus*, *Platanus*, *Acer*, *Callistemon*, *Betula*, *Cupressus*, *Salix* y *Cedrus*. Sin embargo, *Prunus* y *Lagerstroemia* a pesar de que son los géneros más frecuentes y abundantes, su presencia en la atmósfera debería ser escasa o nula (Latorre & Bianchi, 1997) ya que ambas tienen polinización entomófila.

Se observa que un género puede estar representado por dos o más especies sin embargo, generalmente sólo una de ellas es la más importante en abundancia. Por ejemplo, de *Fraxinus* existen individuos pertenecientes a *F. americana*, *F. excelsior*, *F. excelsior* var. *aurea* y *F. ornus*, sin embargo sólo la primera especie es numerosa. Es importante conocer cuáles son las fuentes más probables de polen, ya que según las características de la pared de los granos de polen es difícil la distinción entre especies de un mismo género (Agashe y Alfadil, 1989). Mayor aún es el problema para identificar la fuente de polen, si los períodos de floración de las distintas especies se superponen.

En el área periférica muestreada se localiza parte de la flora extralocal y regional. Puede considerarse similar en composición de géneros y coincidente con los géneros más abundantes del área central más cercana al muestreador.

Sin embargo, se destacan dos zonas diferenciadas del resto de las áreas analizadas (incluyendo la central). Una de ellas es el área al Este del muestreador que es notablemente dominada por *Platanus*. Corresponde al centro comercial de la ciudad con una edificación de gran altura, y limitada al Este (incluyendo Noreste y Sudeste) por el mar. La otra es la zona que representan las áreas al Oeste y Sudoeste del muestreador, que incluyen a dos importantes barrios residenciales y a una franja suburbana de escasa edificación. *Ulmus*, *Populus* y *Myoporum* son los más abundantes, siendo también importantes *Eucalyptus* y *Cupressus*, que forman bosquecillos artificiales y que son raros en las otras áreas.

La composición florística de la vegetación arbórea implantada en el área urbana de Mar del Plata es muy variada. En general, estos géneros se encuentran distribuidos por todos los sectores de la ciudad, aunque en ciertas zonas predominan algunos particulares como *Platanus*. Además, existen zonas de barrios residenciales que están forestados con otro tipo de vegetación, sobre todo dentro de los amplios jardines privados. En estos lugares predominan *Myoporum*, *Eucalyptus*, *Cupressaceae*, *Pinaceae*, existiendo también especies no frecuentes en el resto de la ciudad.

Existen dos parquizaciones importantes de las calles a lo largo de la historia reciente de la ciudad. Los árboles que predominantemente se implantaron pertenecen a los géneros: *Ulmus*, *Populus*, *Fraxinus*, *Platanus*, *Tilia*, *Robinia*, *Catalpa*. En los últimos años, debido al gran porte que han alcanzado estos árboles, muchos de ellos han sido reemplazados por *Lagerstroemia*, *Prunus*, *Callistemon*, *Hibiscus*, entre otros, que son más pequeños.

Puede concluirse entonces que, en general, el área central tipificaría la flora arbórea urbana, constituyendo el área de aporte principal de la mayoría de los granos de polen registrados en la atmósfera. Además, puede considerarse representativa en cuanto a taxones alergénicos, ya que todos aquellos géneros cuyos tipos polínicos tienen características patógenas, se encuentran distribuidos en el área. El seguimiento tanto fenológico como aerobiológico de los taxones definidos aquí como importantes, se presenta en los próximos capítulos.

II. VEGETACION HERBACEA

La vegetación herbácea urbana presenta en general una dinámica muy particular, influenciada por la acción antrópica y caracterizada por el reemplazo sucesivo de distintas especies de acuerdo al impacto ejercido en las distintas zonas y de acuerdo a la estacionalidad climática de la región. El aumento de temperatura que se observa en esta zona desde principios de primavera, favorece el crecimiento de plantas anuales y determina su floración.

En la ciudad de Mar del Plata, no existen estudios sobre plantas herbáceas ni de tipo florístico ni cualitativo o cuantitativo. En este trabajo se propone realizar una primera aproximación de la composición florística y analizar diversos aspectos fenológicos-estructurales de la vegetación herbácea urbana a lo largo del tiempo.

Las áreas que se analizaron corresponden a los terrenos linderos a la vía del ferrocarril, cercanos al Complejo Universitario de la UNMDP, ya que en este lugar se encuentra instalado el muestreador polínico. Los jardines y parques públicos no fueron analizados debido a que están sujetos a corte, plantación, etc. y debido a que la mayoría de estas plantas no son fuente importante de polen por su tipo de polinización entomófila.

Los objetivos específicos son: 1) analizar la composición florística de la vegetación herbácea espontánea de la ciudad de Mar del Plata y sus cambios estacionales, 2) caracterizar la estructura y su desarrollo fenológico floral.

MATERIALES Y METODOS

Recolección de datos

Para una caracterización general de la flora herbácea urbana a lo largo del año, se determinó mensualmente la presencia y el estado floral de especies muestreando el área de influencia periférica al muestreador de polen. Esta información se agrupó de acuerdo a las familias a las que pertenecen las especies encontradas, debido a que esta categoría taxonómica es a la que habitualmente se llega en las determinaciones de polen no arbóreo con contenido celular.

Además, se analizó detalladamente la vegetación herbácea espontánea presente en los terrenos linderos a las vías del ferrocarril, los cuales están próximos al Complejo Universitario de la UNMDP (sitio de muestreo polínico). Los límites de esta zona de estudio, no distan más de 800 m respecto del muestreador de polen ya que la dispersión polínica para fuentes emisoras de baja altura (como pastos y hierbas) ocurre principalmente hasta esa distancia (Moseholm *et al.*, 1987).

Dentro de la zona se seleccionaron 6 áreas de muestreo que tienen una longitud de 100 metros (1 cuadra) y un ancho de aproximadamente 20 m cada una, y están atravesadas por las vías. Las áreas 1 y 2 se ubican hacia el Noreste con respecto al muestreador, la 3 hacia el Este, la 4 hacia el Sur, y las 5 y 6 hacia el Sudoeste (Fig. 1.5). En cada área se tomaron muestras al azar y se promediaron luego, los datos obtenidos para el área total.

En cada muestra se estimó la abundancia de cada especie presente según la escala de Braun-Blanquet (1972):

- +: muy raro
- 1: raro
- 2: escaso
- 3: no abundante
- 4: abundante
- 5: muy abundante

Además, en cada muestreo se estableció el estado fenológico de la floración de cada especie según la escala de Marcello (1935):

- +1: principio
- +2: floración importante
- 3: máximo
- 2: declinación
- 1: finalización

Por último, se estimó la abundancia relativa de las plantas en flor con respecto al total de plantas (porcentaje de individuos en flor) que se relevaron de esa especie en esa muestra siguiendo la siguiente escala:

- 1: 1-20% (1/5)
- 2: 21-40% (2/5)
- 3: 41-60% (3/5)

4: 61-80% (4/5)

5: 81-100% (5/5)

Este muestreo detallado se llevó a cabo desde junio a diciembre, ya que, en este período es donde se produce el desarrollo vegetal más importante. La periodicidad del muestreo fue estacional: el primero a fines de junio, el segundo a mediados de setiembre y el tercero a principios de diciembre. Se realizó además, un seguimiento a lo largo de todo el año para obtener un panorama general de la vegetación herbácea de Mar del Plata.

Análisis de datos

Se realizó una clasificación ya que según las observaciones de campo, la vegetación está compuesta por unidades discretas y cuya disposición es en muchos casos agrupada (en forma de parches). El fundamento para un análisis de clasificación se basa también en que en otros trabajos en zonas urbanas se ha demostrado que el mismo tipo de vegetación se encuentra sólo en donde el factor de disturbio es similar (Siniscalco & Montacchi, 1988). Se realizó un análisis de agrupamiento (Cluster Analysis) para cada muestreo estacional, utilizando el método aglomerativo de Ward y la distancia euclídea al cuadrado como medida de disimilitud.

Se pretende obtener relaciones entre unidades de muestreo y poder caracterizar sectores similares en estructura y composición de la vegetación. Esto luego se traducirá en datos que podrán correlacionarse con polen y con datos de vientos predominantes.

El estado fenológico se expresa en un calendario de floración que luego pueda ser comparable con el calendario polínico de la ciudad (Latorre & Pérez, 1997). Para ello, se reunieron las especies pertenecientes a una misma familia.

RESULTADOS

Durante todo el período del muestreo detallado, se detectaron 53 especies distintas, pertenecientes a 44 géneros y 19 familias (Censo 1.2). Solamente cuatro familias: Chenopodiineae, Poaceae, Polygonaceae y Urticaceae reúnen a

especies anemófilas. Sin embargo, dentro de Asteraceae existen dos géneros (*Artemisia* y *Ambrosia*) que son anemófilos pero florecen en febrero-marzo.

Otoño - invierno

El primer muestreo realizado caracteriza el período fines de otoño - principios de invierno (OI). Esta época se eligió como punto de partida para la secuencia anual del desarrollo sucesional de la vegetación herbácea porque existe una depresión en la abundancia de especies herbáceas con respecto a otras estaciones del año. Además en este período, si las plantas están presentes, la mayoría no se halla en flor.

Se registraron 20 especies diferentes pertenecientes a 8 familias. Asteraceae y Brassicaceae presentan el mayor número de especies; Apiaceae, Fumariaceae y Scrophulariaceae están en el 50% de las muestras, en cambio Apiaceae, Euphorbiaceae y Malvaceae son las familias más abundantes (Fig. 1.6).

Taraxacum officinale se presentó en todas las muestras aunque su abundancia fue baja; *Sonchus asper* fue la segunda especie con mayor distribución. *Conium maculatum* es la especie más abundante. Las especies abundantes pero con baja frecuencia fueron: *Senecio mikanioides* (en el área 5), y *Euphorbia dentata* y *Malva sylvestris* (ambas en el área 3) (Fig. 1.7).

La muestra 3 (Este) fue significativamente distinta a las demás (Fig. 1.8) por tener una mayor abundancia de *S. asper*, *Picris echioides*, y las dos especies mencionadas anteriormente: *E. dentata* y *M. sylvestris*.

Durante este muestreo las 20 especies presentes estaban en flor aunque sólo en cinco de ellas la proporción de plantas con flores fue entre 23 y 40%; para las demás fue menor al 15%. Además, sólo para *T. officinale* había plantas con flores en todas las áreas relevadas. El estado de la floración en su mayoría era inicial (+1) y sólo *S. pinnatus* y *S. asper* en el área 3 presentó máxima floración (3) y también el máximo porcentaje de plantas en flor del período (Fig. 1.9).

Invierno · primavera

El segundo muestreo caracteriza el período de transición entre el invierno y la primavera (IP). Las especies que se registraron fueron 21, las cuales pertenecen a 12 familias distintas. Asteraceae y Brassicaceae tienen el mayor número de representantes. Asteraceae, Fumariaceae, Liliaceae, Monocotiledonea, Scrophulariaceae y Caryophyllaceae presentan frecuencias mayores al 50%. Apiaceae es la familia más abundante y luego le siguen Brassicaceae y Chenopodiaceae (Fig. 1.6).

T. officinale y *Dracunculus vulgaris* se presentaron en todas las muestras aunque no son muy abundantes. Las especies más abundantes pero con baja frecuencia fueron: *C. maculatum* (área 2 y 6), *Diplotaxis muralis* (áreas 2 y 4) y *Sinapsis arvensis* (área 1) (Fig. 1.7).

Las muestras 1 y 2 (Noreste) fueron las más diferentes del resto. En estas muestras se presentan 8 especies únicas, es decir especies que no están presentes en las demás áreas. También, la abundancia de *C. maculatum* es la más alta de este muestreo invierno-primavera (Fig. 1.8), y es similar a la abundancia del muestreo primavera-verano (ver más abajo).

Durante este período las 21 especies presentes estaban floreciendo. En sólo ocho especies la frecuencia de plantas en flor fue entre 23 y 43 % y en tres (*T. officinale*, *Allium sp.* y *V. polita*) había más del 50 % de las plantas con flores (Fig. 1.9). Estas tres últimas especies presentaron máxima floración en al menos una de las áreas y en las demás, una floración importante (+2) o en fase de declinación (-2). *T. officinale* y *Dracunculus sp.* fueron las especies que estaban florecidas en todas las áreas.

Primavera · verano

El tercer muestreo caracteriza el período fines de primavera - principios de verano (PV). El número de especies diferentes fue 38, pertenecientes a 15 familias. Veintiseis especies no estaban presentes en los muestreos anteriores y 15 especies que estaban anteriormente, ahora no se detectaron. Asteraceae, Brassicaceae y Poaceae representan las familias con mayor número de especies. Apiaceae, Convolvulaceae y Malvaceae se presenta en más del 50% de las

muestras pero las dos últimas son poco abundantes. Poaceae es la familia más abundante, luego le sigue Apiaceae, Polygonaceae, Fumariaceae y Convolvulaceae (Fig. 1.6).

C. maculatum y *Matricaria chamomilla* estuvieron presentes en todas las muestras, la primera con una abundancia relativa alta. Las especies con mayor abundancia son las pertenecientes a la familia Poaceae, *C. maculatum*, *Trifolium repens* y *Rumex sp.*, aunque las dos últimas especies están en baja frecuencia (sólo en el área 3 y 6, respectivamente) (Fig. 1.7).

Se diferenciaron dos grupos de muestras; uno formado por las muestras 1, 2 y 3 (correspondientes a los sectores NE-E respecto del muestreador de polen) y las 3, 4 y 5 (en los sectores S-SO) (Fig. 1.8). *M. chamomilla*, *R. rugosum*, *M. micaensis* y algunas especies de Poaceae, sólo se encuentran en las muestras del primer grupo y en alta abundancia; en cambio, *Convolvulus arvensis* y otras especies de Poaceae en las muestras del segundo grupo.

En PV 37 las 38 especies registradas se observaron florecidas; ocho de ellas con un porcentaje de plantas en flor entre el 23 y 40% y sólo en cuatro con más del 50%: *C. maculatum*, *M. micaensis*, *M. chamomilla* y una especie de Poaceae. Sólo estas dos últimas especies estaban florecidas en todas las áreas, *M. chamomilla* en estado 2 de floración y la gramínea con máxima floración (Fig. 1.9).

A lo largo del año se observa la presencia fundamental de 7 familias importantes: Apiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae-Amarantaceae, Fabaceae, Poaceae y Poligonaceae. Sólo las tres primeras se encuentran en vegetación en todos los meses del año, aunque no siempre en estado de floración. La presencia de distintas especies dentro de cada una de estas familias, se suceden a lo largo del año aunque manifiestan una abundancia mayor desde octubre hasta enero (Fig. 1.10).

DISCUSION

En los muestreos estacionales realizados el número de familias aumenta progresivamente desde fines del otoño hasta principios del verano. En cambio, el número de especies se eleva casi al doble recién a fines de primavera-principios

de verano. Además, las especies exclusivas aumentan notablemente también en este último período.

El número de especies de la mayoría de las familias presentes fue similar a lo largo del período, aunque la composición florística varió a lo largo del tiempo. Sólo para Fabaceae aumenta la diversidad de especies desde el invierno al verano, y para Asteraceae disminuye. Las familias representadas con más de 5 especies son Asteraceae en OI y Poaceae en PV. Estas mismas familias son abundantes y ricas en especies también en otras ciudades del mundo con similares características climáticas (Mincigrucci *et al.*, 1981).

Existen 8 familias que sólo están en una de las estaciones: Lamiaceae y Liliaceae en IP, y Convolvulaceae, Oxalidaceae, Poaceae, Urticaceae, Poligonaceae y Boraginaceae en PV.

Scrofulariaceae y Fumariaceae (en OI y IP), Liliaceae (en IP) y Apiaceae, Asteraceae, Convolvulaceae y Malvaceae (en PV) son muy frecuentes (en más del 50% de las muestras). Por otra parte, Apiaceae (en todas las estaciones consideradas), Brassicaceae (en IP), Convolvulaceae, Chenopodiaceae, Fumariaceae, Poaceae y Poligonaceae (en PV) son las familias más abundantes (mayor a 2). En general, las especies con mayor número de individuos no son las más frecuentes, y las más frecuentes tienen abundancias intermedias. La ciudad parece caracterizarse por la presencia de pocas especies que están en todos los ambientes, y sólo un bajo porcentaje del total de especies tiene un elevado número de individuos.

En cuanto a los sectores analizados, en OI la zona 3 al Este del muestreador polínico es diferente al resto, en IP las zonas al Noreste (1 y 2), y en PV las del Este-Noreste (1, 2 y 3). Estas áreas coinciden con la zona de mayor edificación, y dónde existe la mayor densidad de población humana. La influencia antrópica tiene un rol primario en determinar la vegetación de las ciudades, y las áreas más modificadas (manipuladas con cortes y transitadas) tienden a tener distinta composición florística y una abundancia relativa diferente (Siniscalco & Montacchini, 1983-84). Se ha observado reiteradamente, que el porcentaje de plantas adventicias varía según la densidad de la edificación (Chronopoulos & Christodoulakis, 1996).

Durante los tres muestreos realizados en la segunda mitad del año, se observa que la abundancia de plantas en flor varía en el tiempo y que además, algunas especies presentan una floración más o menos breve y otras extensa. Algunas especies de Asteraceae como *C. arvensis*, *S. asper*, *T. officinale*, especies de Chenopodiaceae y Fumariaceae, y *V. polita* comienzan a florecer en invierno y se mantienen hasta la primavera-principios del verano cuando alcanzan mayor proporción. Las Poaceae en general, florecen en primavera-verano con un porcentaje variable de ejemplares en flor; ésto también se observa en especies de Fabaceae aunque con baja presencia de plantas en flor.

Los requerimientos fisiológicos inductivos para la floración, varían ampliamente en distintos grupos de plantas. Algunas de ellas requieren temperaturas adecuadas, un número particular de horas luz a lo largo de los días, una combinación de ambas, o no tienen un requerimiento específico conocido. Por ejemplo, los pastos perennes de regiones templadas tienen una doble inducción que incluye el largo del día y las temperaturas durante el invierno, y secundariamente durante la primavera, dando como resultado el inicio de la floración hacia fines de esta estación (Heide, 1994). Esto explica el aumento notable de Poaceae en P-V.

En general, cuando una especie está presente, también se encuentra en floración. Sin embargo, ésta parece no ser simultánea en todas las plantas ya que el número de individuos floreciendo es en su mayoría, muy bajo. No se observó una floración masiva de todas las plantas para ninguna de las especies. Sin embargo, pudieron establecerse patrones generales de floración para las distintas familias de plantas con el propósito de que luego se pueda comparar la intensidad y abundancia de la floración con la abundancia y temporalidad de polen en la atmósfera (Cap. 3). A lo largo del año las familias más importantes representadas en la vegetación herbácea (Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Apiaceae, Brassicaceae y Polygonaceae) tienen una muy baja o nula floración entre mayo y agosto, y un máximo entre octubre y diciembre, aunque en febrero-marzo algunas especies particulares de estas familias tienen su época de floración.

Dentro del paisaje urbano hay una gran variedad de ambientes ecológicos y micro-hábitats que contribuyen a la diversidad específica. Para expresar el grado de influencia antrópica se ha definido un factor "ciudad", aplicable a

distintas ciudades del mundo y teniendo en cuenta la riqueza y variedad de plantas herbáceas. Los resultados indican que las especies dominantes son siempre introducidas, y en ambientes intensamente disturbados por el hombre más de la mitad del total de las especies presentes son adventicias.

CONCLUSIONES

Vegetación arbórea de Mar del Plata

1. La vegetación arbórea urbana se caracteriza por una gran variabilidad de géneros, pero pocos de ellos son los que tienen una densidad y/o frecuencia alta. Generalmente una sólo especie por género es la dominante.
2. Sólo el 38% del total corresponde a familias anemófilas.
3. Los géneros más frecuentes y abundantes son entomófilos: *Prunus* y *Lagerstroemia*. Por su tipo de estrategia reproductiva y no por el número de plantas presentes, se espera que estos géneros no sean representativos del espectro polínico atmosférico.
4. Las fuentes más importantes de polen serían árboles de los géneros anemófilos y más abundantes como *Fraxinus*, *Ulmus*, *Populus*, *Platanus*, *Acer*, *Callistemon*, *Betula*, *Cupressus*, *Salix* y *Cedrus*.
5. El área al Este del muestreador polínico es significativamente distinta al resto por la dominancia de *Platanus* y coincide con el área más urbanizada.
6. Las áreas al Oeste y Sudoeste son relativamente diferentes ya que hay mayor abundancia de *Ulmus*, *Populus*, *Myoporum*, *Eucalyptus* y *Cupressus*. Corresponden a áreas residenciales y suburbanas.
7. A pesar de las diferencias observadas, la vegetación local-extralocal del área central puede considerarse representativa de la vegetación regional (de la ciudad) ya que existe una similitud en composición de géneros y coinciden los más abundantes. Esta sería el área principal de aporte polínico.

Vegetación herbácea

- 8.** Sólo 21% de las familias de plantas herbáceas son anemófilas y si bien dentro de otras familias pueden existir especies con esa estrategia reproductiva (ej. Asteraceae), en general son excepcionales.
- 9.** Desde junio a diciembre, el número de especies representadas en la vegetación se duplica.
- 10.** Las familias con plantas frecuentes en todos los sitios, cambian según la estación del año.
- 11.** Las familias con mayor diversidad de especies son Asteraceae y Poaceae.
- 12.** Apiaceae es la familia que presenta una abundancia considerable durante todo en el año y se debe casi exclusivamente a la presencia de la maleza invasora *Conium maculatum*.
- 13.** Las áreas que más difieren en composición de especies son aquellas donde existe una mayor edificación y donde el efecto antrópico es mayor (Este-Noreste).
- 14.** Dentro de cada familia pueden existir especies de floración extensa debido a una variabilidad intraespecífica alta o a la floración sucesiva de distintas especies. Sin embargo, el mayor número de plantas floreciendo simultáneamente se observa en un relativamente breve período (fines de primavera-principios de verano).
- 15.** Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Apiaceae, Brassicaceae y Polygonaceae son las familias más importantes en cuanto a número de plantas y en su floración, y se espera que estén representadas en mayor proporción en el espectro polínico atmosférico.

Tabla 1.1: Géneros más frecuentes en el área central. Se indican aquellos potencialmente alérgicos, su tipo de polinización y la abundancia relativa.

GENERO	CLASE DE FRECUENCIA	ALERGENICIDAD	ANEMOFILIA	ABUNDANCIA RELATIVA
Prunus	9	*		11.7
Ulmus	8	*	*	5.7
Tilia	8	*		4.6
Robinia	8			6
Populus	8	*	*	5.3
Lagerstroemia	8			8.9
Fraxinus	8	*	*	5.3
Platanus	7	*	*	4.6
Ligustrum	7	*		3.6
Cordyline	7			2.7
Hibiscus	7			2
Callistemon	7	*	*	1.6
Acer	7	*	*?	2.3
Yucca	6			0.9
Salix	6	*	*?	1
Nerium	6			1
Myoporum	6			3.7
Laurus	6			0.9
Ficus	6			0.8
Catalpa	6			1.3
Citrus	6			1.4
Cedrus	6	*	*	0.9
Cupressus	6	*	*	3.3
Betula	6	*	*	1.7
Acacia	6			1.3

Tabla 1.2: Índice de diversidad, número efectivo de géneros e índice de uniformidad en cada una de las áreas de la zona periférica.

área	1	2	3	4	5	6	7	8
sector	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
H	3.30	2.95	2.65	3.32	3.55	3.87	3.55	3.59
Exp (H)	27	19	14	28	35	26	34	36
J	0.83	0.78	0.76	0.81	0.94	0.87	0.84	0.87

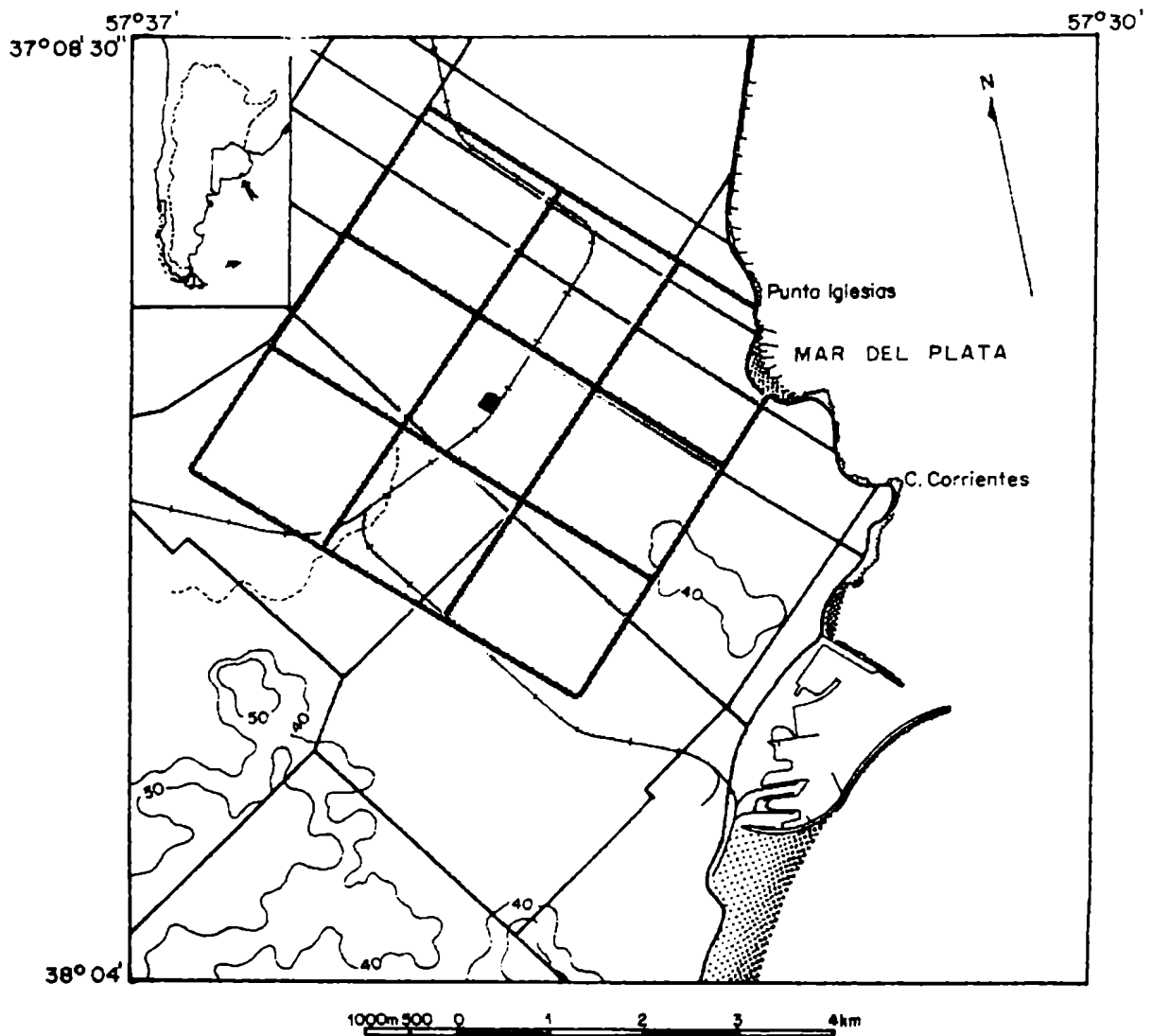


Figura 1.1: Mapa de la ciudad de Mar del Plata. Se indica el área de la vegetación estudiada (en gris) y la ubicación del muestreador de polen (■).

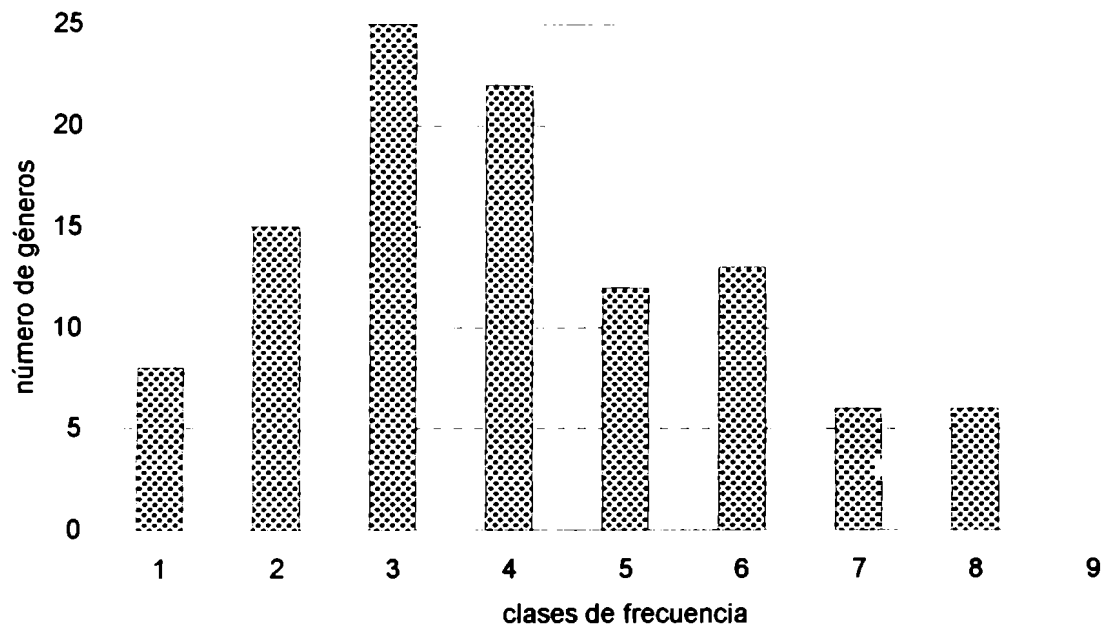


Figura 1.2: Distribución de géneros en clases de frecuencia (área central).

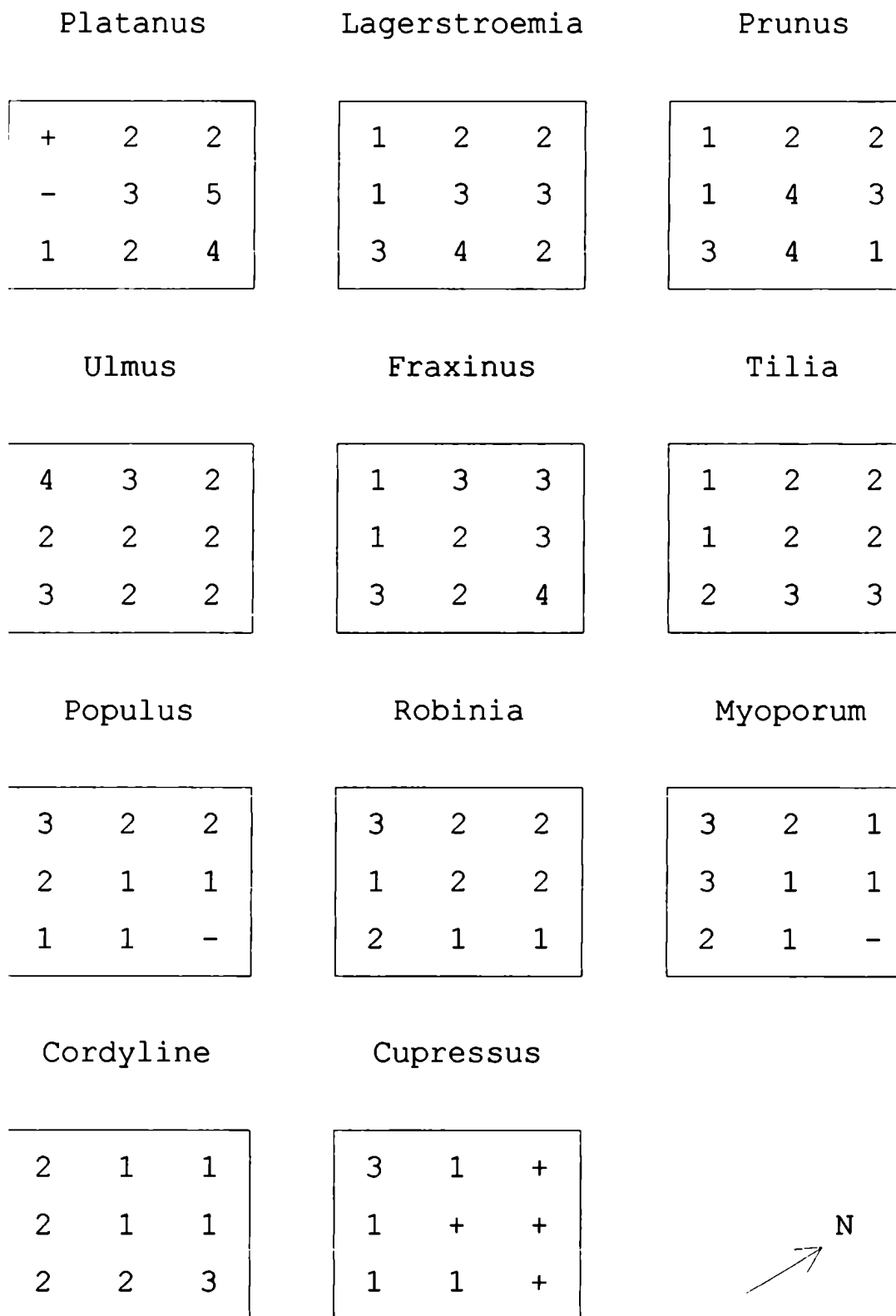


Figura 1.3: Abundancia de géneros en las áreas de 2,25 km² cada una.

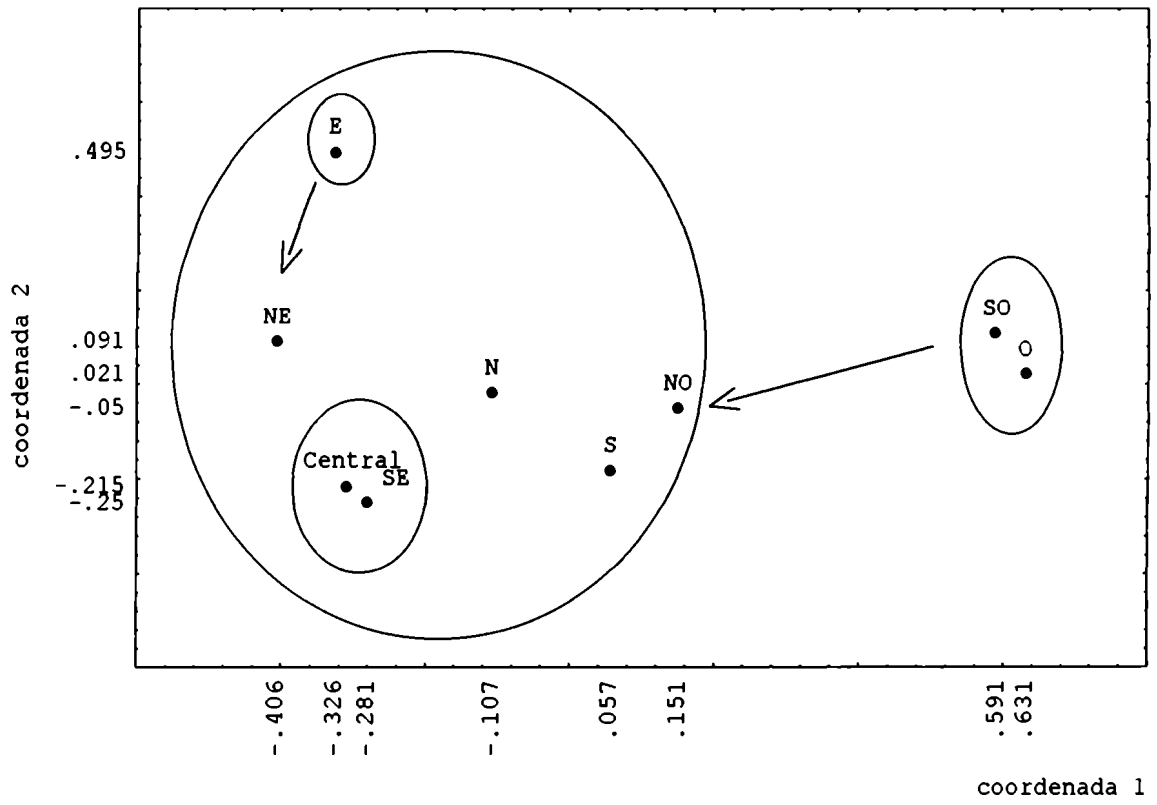


Figura 1.4: Asociación de áreas según la abundancia relativa de los géneros más comunes.

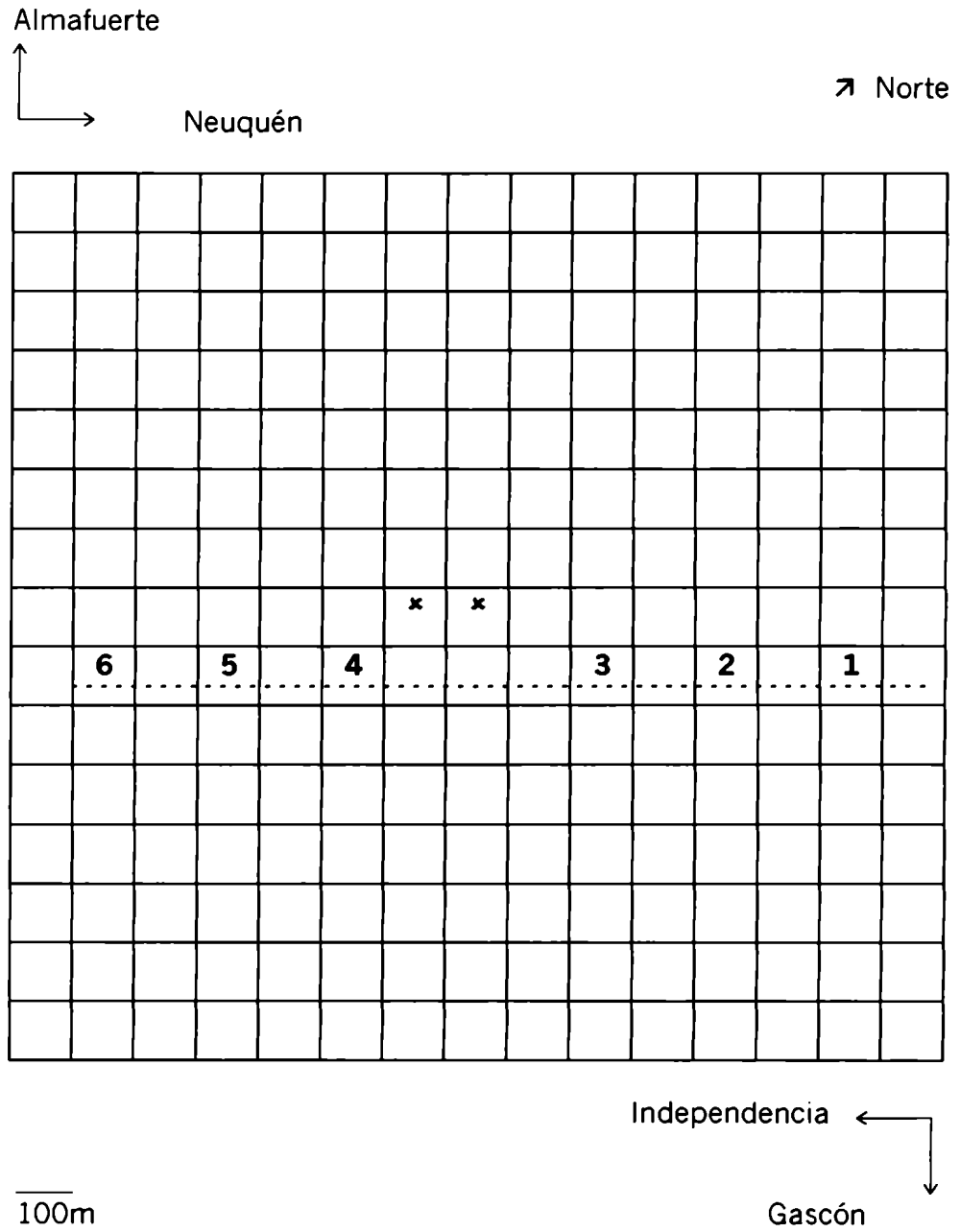


Figura 1.5: Mapa esquemático de la zona indicando las áreas de muestreo de vegetación herbácea. Las líneas representan calles. ✕: Complejo Universitario. ---: vía de ferrocarril.

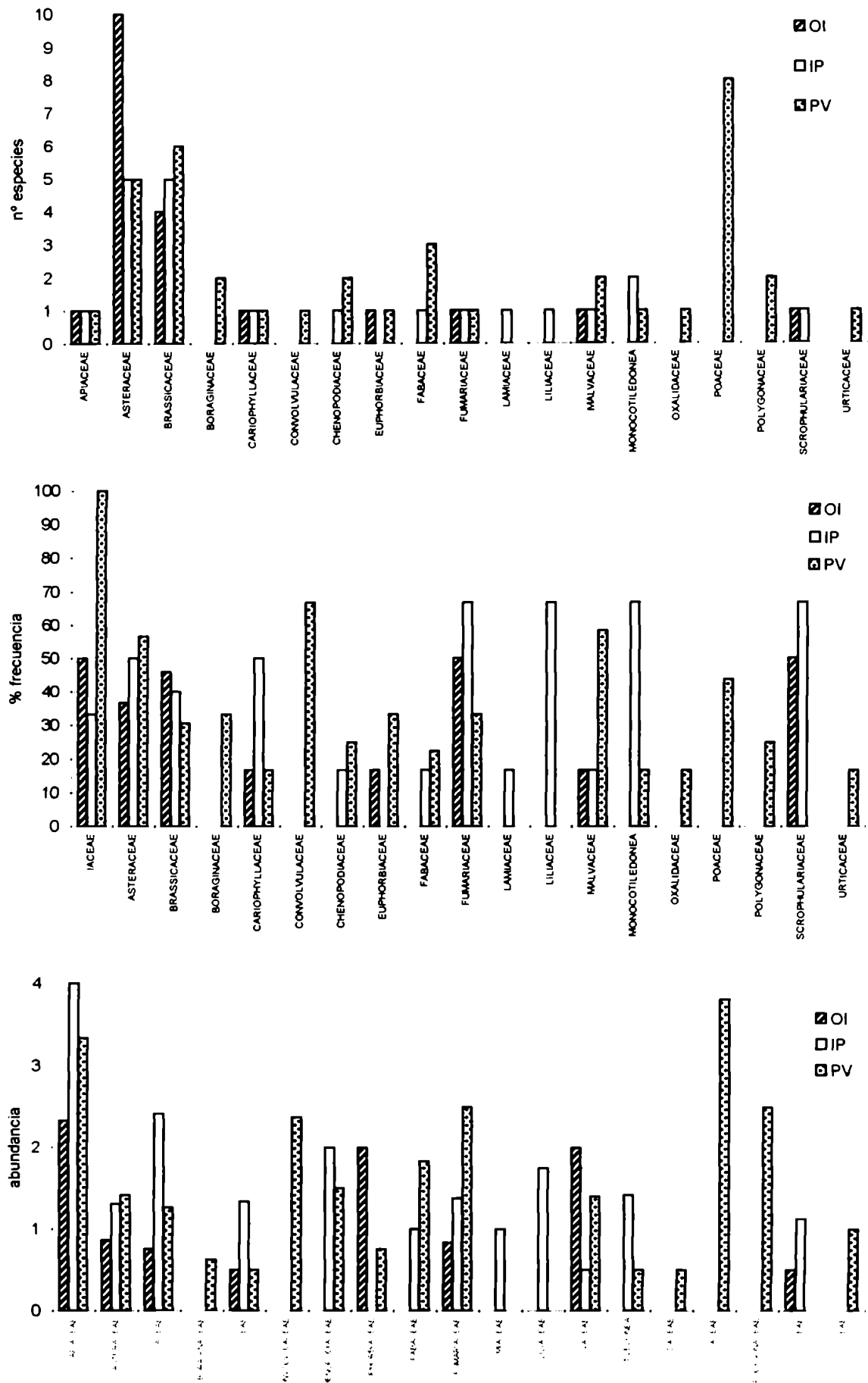


Figura 1.6: Número de especies, frecuencia y abundancia de las especies de cada familia en cada uno de los muestreos estacionales.

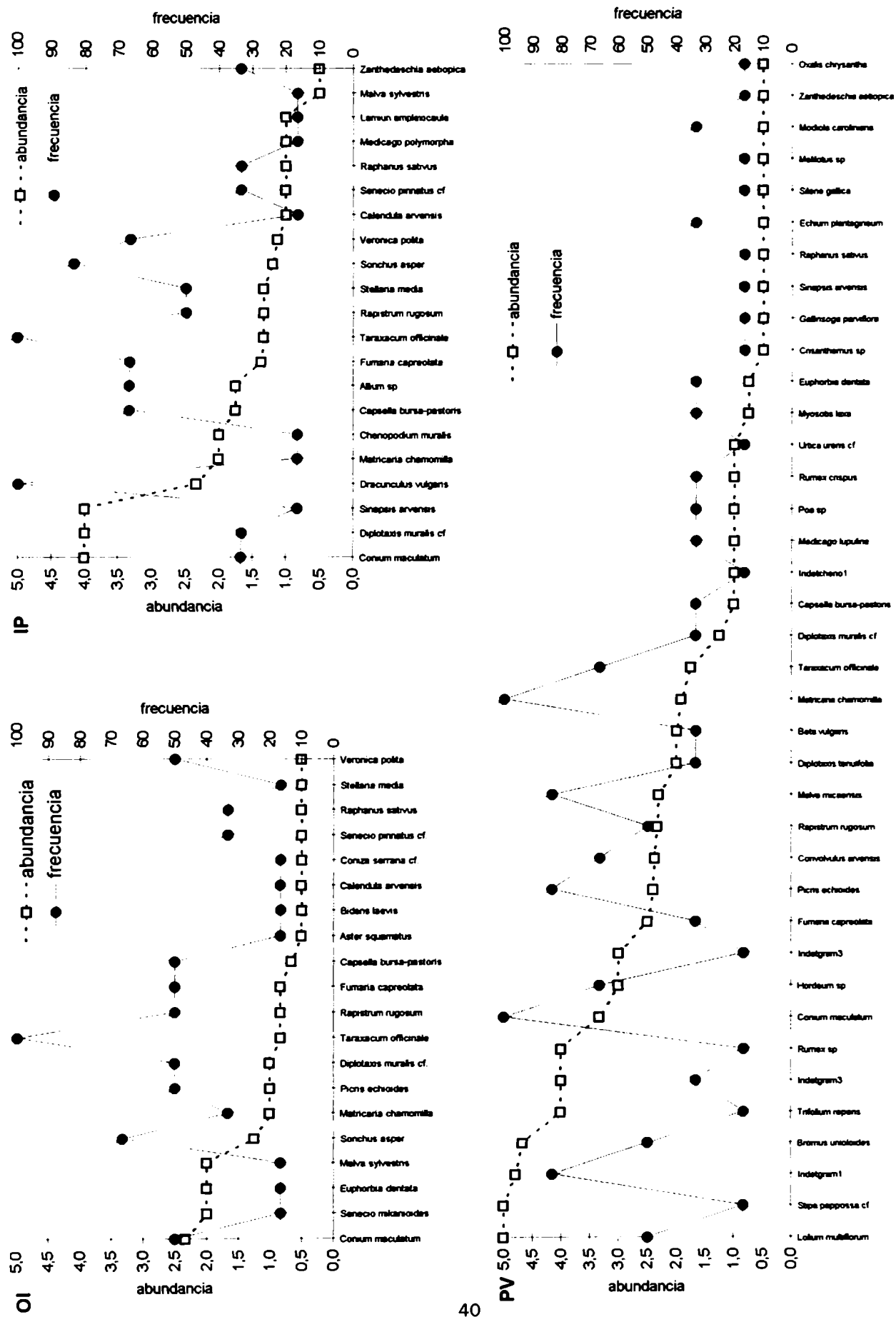


Figura 1.7: Abundancia y frecuencia de las especies presentes en la vegetación herbácea durante la segunda mitad del año.

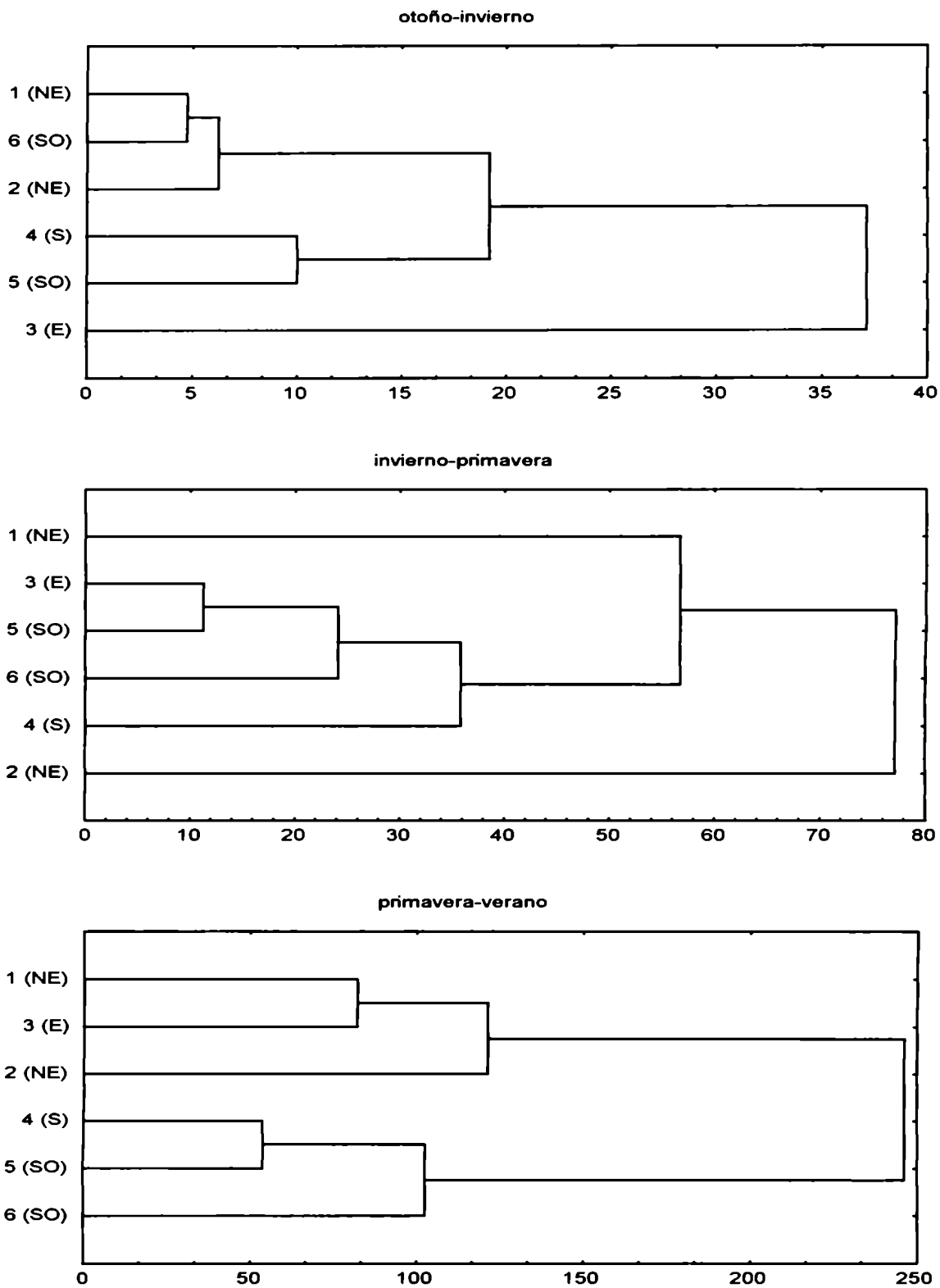


Figura 1.8: Dendrogramas correspondientes al análisis de agrupamiento realizado en cada muestreo estacional. Los datos corresponden a la abundancia de las especies presentes en cada una de las áreas muestreadas.

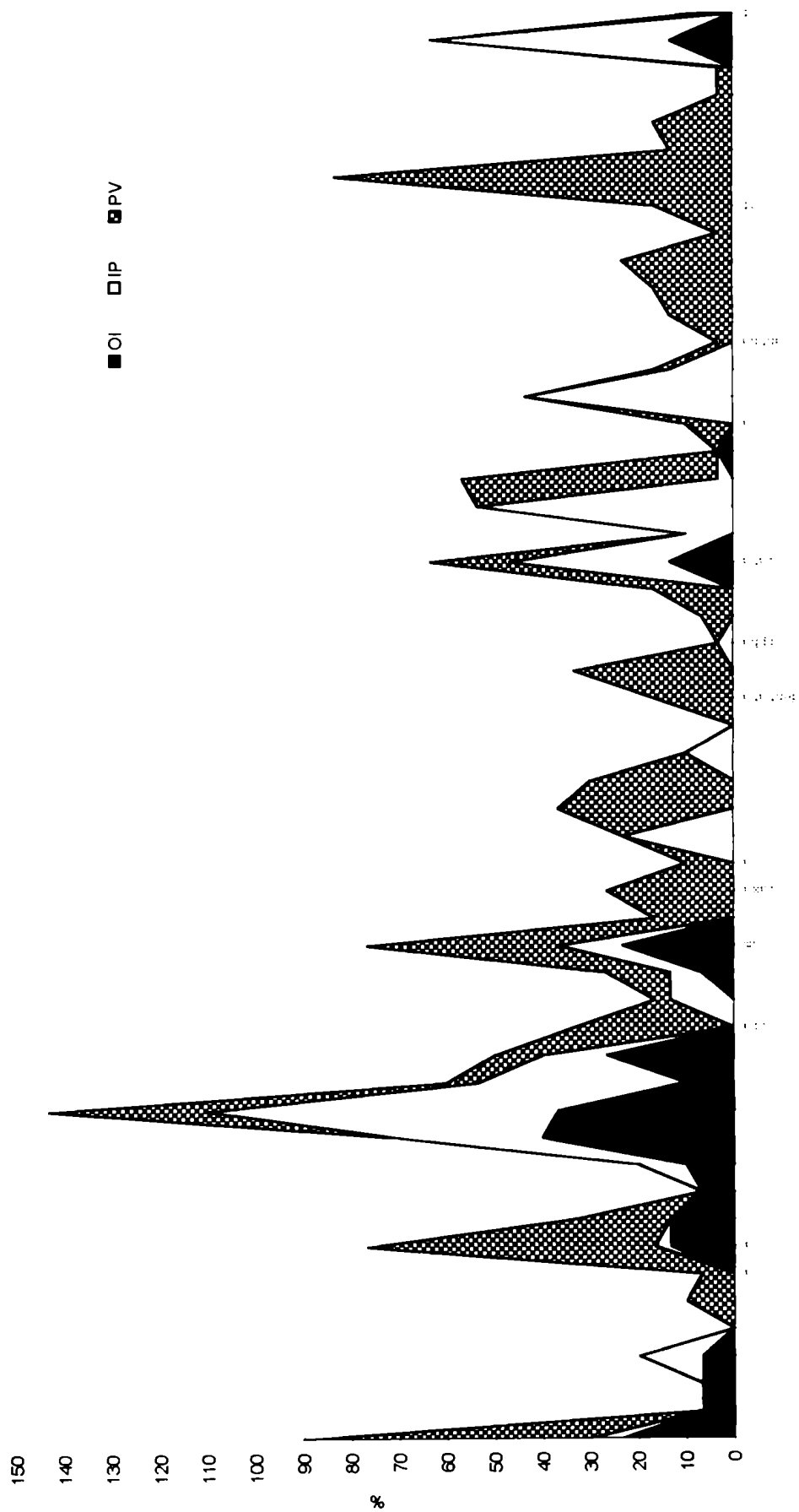


Figura 1.9: Porcentaje de plantas en flor de cada especie y en cada muestreo estacional.

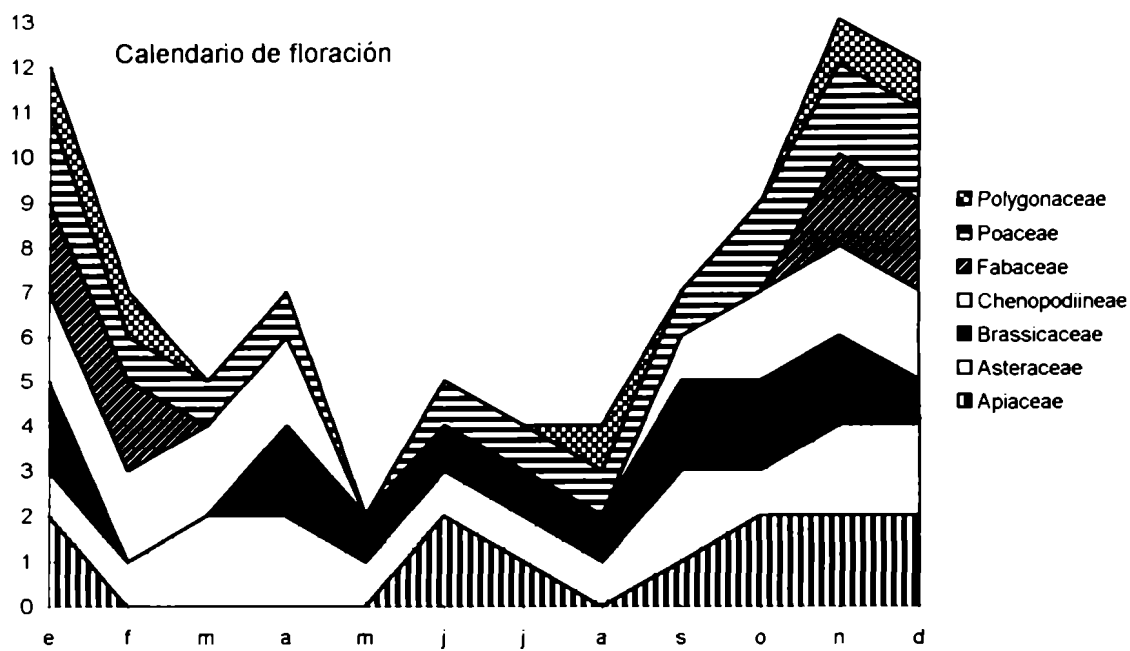


Figura 1.10: Estado fenológico floral de las principales familias a lo largo del año. Escala: menos del 50% (1) y más del 50% de floración (2).

CENSO 1.1: Especies de árboles presentes en las calles de Mar del Plata. D: número de árboles locales y extralocales (2.25 km²), D_{BB}: densidad según la escala de Braun-Blanquet. A: abundancia relativa de los árboles regionales (20.25km²), A_{BB}: abundancia según la escala de Braun-Blanquet. P: área de la ciudad donde predomina, con respecto al sitio de muestreo polínico. Las familias con representantes anemófilos están en negrita.

FAMILIA	ESPECIE	D	D _{BB}	A	A _{BB}	P
ACERACEAE		293				
	<i>Acer campestre</i>	14	1	8	1	E
	<i>A. negundo</i>	194	1	48	2	E
	<i>A. palmatum</i>	1	+			
	<i>A. pseudoplatanus</i>	84	1	31	1	N-E
ANACARDIACEAE		8				
	<i>Rhus</i> sp.	6	+			
	<i>Schinus molle</i> var. <i>areira</i>	2	+	2	1	
AQUIFOLIACEAE		21				
	<i>Ilex aquifolium</i>	21	1	9	1	W
APOCINACEAE		120				
	<i>Nerium oleander</i>	120	1	43	1	S
ARAUCARIACEAE		27				
	<i>Araucaria angustifolia</i>	24	1	6	1	
	<i>A. bidwillii</i>	3	+			
BETULACEAE		213				
	<i>Alnus glutinosa</i>	3	+	7	1	SE-NW
	<i>Betula pendula</i>	207	1	32	1	S
	<i>Corylus avellana</i>	3	+			
BIGNONIACEAE		172				
	<i>Catalpa speciosa</i>	165	1	30	1	NE
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	7	+	2	1	
BOMBACACEAE		16				
	<i>Chorisia speciosa</i>	16	1	4	1	
BUXACEAE		1				
	<i>Buxus</i> sp.	1	+			
CAPRIFOLIACEAE		8				
	<i>Lonicera japonica</i>	3	+			
	<i>Viburnum tinus</i>	5	+	5	1	S
CASUARINACEAE		62				
	<i>Casuarina cunninghamiana</i>			3	1	O
CELASTRACEAE		6				
	<i>Hebonimus</i> sp		+			
COMPOSITAE		2				
	<i>Baccaris tandilensis</i>		+			
CUPRESSACEAE		579				
	<i>Cupressus</i> spp	530	3	83	2	O
	<i>Chamaesypris</i> sp	11	+	8	1	O
	<i>Juniperus</i> sp	12	1	2	1	
	<i>Libocedrus</i> sp	12	1	3	1	
	<i>Thuja</i> sp	14	1	1	+	
ELEAGNACEAE		1				
	<i>Eleagnus umbellata</i>		+			
ESCROFULARIACEAE		6				
	<i>Hebe speciosa</i>		+			
ESTERCULIACEAE		1				
	<i>Brachychiton populneum</i>		+			
EUPHORBIACEAE		73				

CENSO 1.1 (continuación)

FAMILIA	ESPECIE	D	D _{BB}	A	A _{BB}	P
	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	8	+	3	1	
	<i>Manihot flavelifolia</i>	42	1	16	1	NO
	<i>Ricinus communis</i>	22	1	10	1	SE-NO
	<i>Sapium sp</i>	1	+			
FABACEAE		1177				
	<i>Acacia sp</i>	8	+	1	+	
	<i>A. baileyana</i>	2	+	1	+	NE
	<i>A. dealbata</i>	11	+	11	1	SO-O
	<i>A. melanoxylon</i>	139	1	21	1	SO-NO
	<i>Albizia julibrissin</i>	79	1	11	1	O
	<i>Bahuinia candicans</i>	6	+			
	<i>Calliandra tweedi</i>	14	1	4	1	SE
	<i>Cassia sp</i>	1	+			
	<i>Erithryna crista-galli</i>	29	1	13	1	O-NO
	<i>Gleditsia triacanthos</i>	81	1	16	1	N-NE
	<i>Laburnum araginoides</i>	12	1			
	<i>Papilionoideae Indeterminados</i>	4	+			
	<i>Robinia pseudo-Acacia</i>	260	2	77	2	O
	<i>R. pseudo-Acacia var. umbraculifera</i>	498	3	83	2	N
	<i>Styphnolobium japonicum</i>	49	1	47	2	O
	<i>Sesbania punicea</i>	5	+			
FAGACEAE		243				
	<i>Castanea sativa</i>	19	1	8	1	S
	<i>Nothofagus sp</i>	1	+			
	<i>Quercus borealis</i>	1	+			
	<i>Q. ilex</i>	17	1			
	<i>Q. palustris</i>	7	+	2	1	O
	<i>Q. robur</i>	198	1	7	1	
GINKGOACEAE		8	+			
	<i>Ginkgo biloba</i>					
HAMAMELIDACEAE		43	1			
	<i>Liquidambar sthiraciflua</i>					
HIPOCATANACEAE		4	+	1	+	
	<i>Aesculus hippocastanum</i>					
INDETERMINADOS		126				
	<i>Dicotiledoneae</i>	115	1	32	1	S-NO
	<i>Monocotiledoneae</i>	11	+			
JUGLANDACEAE		79	1	20	1	O
	<i>Juglans regia</i>					
LABIATAE		10	+	10	1	
	<i>Rosmarinus officinalis</i>					
LAURACEAE		133				
	<i>Cinnamomun glanduliferum</i>	6	+			
	<i>Laurus nobilis</i>	111	1	16	1	NO
	<i>Nectandra sp</i>	1	+			
	<i>Persea americana</i>	15	1	4	1	
LILIACEAE		459				
	<i>Cordyline australis</i>	342	2	115	4	E
	<i>Yucca gloriosa</i>	117	1	19	1	O
LITRACEAE		1117	5	213	5	SE
	<i>Lagerstroemia indica</i>					
MAGNOLIACEAE		9				
	<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	+			
	<i>Magnolia spp</i>	8	+	3	1	
MALVACEAE		262				

CENSO 1.1 (continuación)

FAMILIA	ESPECIE	D	D _{BB}	A	A _{BB}	P
	<i>Abutilom pictum</i>	3	+			
	<i>Hibiscus syriacus</i>	259	2	31	1	SO
MELIACEAE		97	1	28	1	NE-O
	<i>Melia azedarach</i>					
MORACEAE		177				
	<i>Broussonetia papyrifera</i>	10	+	3	1	NO
	<i>Ficus carica</i>	48	1	10	1	S-O
	<i>F. elastica</i>	47	1	20	1	S-SE- NO
	<i>Maclura pomifera</i>	54	1			
	<i>Morus alba</i>	9	+	1	+	
	<i>Morus alba var. pendula</i>	9	+	2	1	
MYOPORACEAE		464	2	157	4	SO
	<i>Myoporum laetum</i>					
MYRTACEAE		271				
	<i>Callistemon lanceolatus</i>	197	1	55	2	O
	<i>Eucalyptus sp</i>	12	1			
	<i>E. camaldulensis</i>	5	+			
	<i>E. cinerea</i>	14	1	1	+	
	<i>E. globulus</i>	36	1	31	1	O
	<i>E. siredoxylon</i>	1	+			
	<i>E. tereticornis</i>	1	+			
	<i>Luma apiculata</i>	5	+	1	+	
OLEACEAE		1482				
	<i>Fraxinus americana</i>	842	4	201	5	E
	<i>F. excelsior</i>	97	1	22	1	N-S-NO
	<i>F. excelsior var. aurea</i>	83	1	5	1	NO
	<i>F. ornus</i>	15	1	11	1	E
	<i>Ligustrum spp</i>	427	2	75	2	N
	<i>Olea europaea</i>	12	+	4	1	N
	<i>Syringa vulgaris</i>	6	+	4	1	O
PALMAE		67				
	<i>Chamaerops humilis</i>	18	1	1	+	
	<i>Phoenix canariensis</i>	15	1	8	1	SO-O
	<i>Trachycarpus fortunei</i>	34	1	18	1	N
PHITOLACCACEAE		1	+			
	<i>Phitolacca dioica</i>					
PINACEAE		193				
	<i>Abies sp</i>	4	+	2	1	
	<i>Cedrus atlantica</i>	70	1	12	1	S-O
	<i>C. deodara</i>	46	1	12	1	O
	<i>Picea glauca</i>	10	+			
	<i>Pinus spp</i>	62	1	38	1	SO
	<i>Pseudotsuga menziessi</i>	1	+	1	+	
PITTOSPORACEAE		13	1	5	1	
	<i>Pittosporum tenuifolium</i>					
PLATANACEAE		579	3	205	5	NE
	<i>Platanus acerifolia</i>					
PROTEACEAE		8	+	3	1	E
	<i>Grevilea robusta</i>					
PUNICACEAE		3	+	3	1	
	<i>Punica granatum</i>					
ROSACEAE		1605				
	<i>Chenomeles lagenaria</i>	6	+			
	<i>Cotoneaster spp</i>	38	1	17	1	SE-S

CENSO 1.1 (continuación)

FAMILIA	ESPECIE	D	D _{BB}	A	A _{BB}	P
	<i>Crataegus</i> sp	2	+			
	<i>Eriobothria japonica</i>	17	1	12	1	O-NO
	Indeterminados	16	1	1	+	•
	<i>Malus floribunda</i>	15	1	6	1	O
	<i>Photinia serrulata</i>	38	1	5	1	O
	<i>Prunus</i> sp	49	1	14	1	SE
	<i>P. armeniaca</i>	16	1	8	1	NO
	<i>P. domestica</i>	87	1	14	1	SE.O
	<i>P. ceracifera</i> f. <i>atropurpurea</i>	1206	5	140	4	SE
	<i>P. salicina</i>	13	1			
	<i>P. persica</i>	93	1	22	1	SE
	<i>P. laurocerasus</i>	2	+			
	<i>Raphiolepis</i> sp			4	1	
	<i>Sorbus aria</i>	7	+	6	1	S
RAMNACEAE		2	+			
	<i>Ceanothus caeruleus</i>					
RUBIACEAE		19	1	8	1	
	<i>Coprosma baueri</i>					
RUTACEAE		171				
	<i>Citrus limon</i>	141	1	52	2	O
	<i>Citrus aurantium</i>	30	1	7	1	SE
SALICACEAE		793				
	<i>Populus alba</i>	29	1	9	1	O
	<i>P. nigra</i>	19	1	6	1	SE
	<i>P. canescens</i>	61	1	38	1	O
	<i>P. x canadensis</i>	565	3	63	2	SO.O
	<i>Salix alba</i>	34	1	20	1	SO
	<i>S. humboltia</i>	45	1	5	1	
	<i>S. x erytoflexuosa</i>	34	1	14	1	O
	<i>S. babonica</i>	5	+	15	1	O
	<i>S. caprea</i>	1	+	1	+	NO
SAPINDACEAE		18	1	2	1	
	<i>Dodonea viscosa</i>					
SIMARUBIACEAE		25	1	8	1	SO.O
	<i>Ailanthus altissima</i>					
SOLANACEAE		2	+			
	<i>Nicotiana glauca</i>					
TAMARICACEAE				3	1	SE
	<i>Tamarix gallica</i>					
TAXACEAE		7	+	3	1	
	<i>Taxus baccata</i>					
TAXODIACEAE		2	+			
	<i>Cryptomeria japonica</i>					
TEACEAE		1	+			
	<i>Camelia japonica</i>					
TILIACEAE		530	3	174	4	SE
	<i>Tilia</i> sp					
ULMACEAE		749				
	<i>Celtis australis</i>	28	1	3	1	
	<i>Ulmus procera</i>	73	1	51	2	O
	<i>U. pumila</i>	648	3	140	4	NO
	<i>U. glabra</i>			46	1	O
VERBENACEAE		23	1	3	1	
	<i>Aloysia tryphylla</i>					

CENSO 1.2: Presencia de especies herbáceas en la vegetación en cada muestreo estacional. OI: otoño-invierno, IP: invierno-primavera, PV: primavera-verano. Las familias con representantes anemófilos están en negrita.

FAMILIA	ESPECIE	OI	IP	PV
APIACEAE	<i>Conium maculatum</i>	*	*	*
ASTERACEAE	<i>Aster squamatus</i>	*		
	<i>Bidens laevis</i>	*		
	<i>Calendula arvensis</i>	*	*	
	<i>Coniza serrana</i> cf.	*		
	<i>Crisanthemum</i> sp			*
	<i>Gallinsoga parviflora</i>			*
	<i>Matricaria chamomilla</i>	*	*	*
	<i>Picris echioides</i>	*		*
	<i>Senecio mikanioides</i>	*		
	<i>Senecio pinnatus</i> cf.	*	*	
	<i>Sonchus asper</i>	*	*	
	<i>Taraxacum officinale</i>	*	*	*
BRASSICACEAE	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	*	*	*
	<i>Diplotaxis muralis</i> cf.	*	*	*
	<i>Diplotaxis tenuifolia</i>			*
	<i>Sinapsis arvensis</i>		*	*
	<i>Raphanus sativus</i>	*	*	*
	<i>Rapistrum rugosum</i>	*	*	*
BORAGINACEAE	<i>Echium plantagineum</i>			*
	<i>Myosotis laxa</i>			*
CARIOPHYLLACEAE	<i>Silene gallica</i>			*
	<i>Stellaria media</i>	*	*	
CONVOLVULACEAE	<i>Convolvulus arvensis</i>			*
CHENOPODIACEAE	<i>Beta vulgaris</i>			*
	<i>Chenopodium muralis</i>		*	
	Chenopodiaceae 1			*
EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia dentata</i>	*		*
FABACEAE	<i>Medicago lupulina</i>			*
	<i>Medicago polymorpha</i>		*	
	<i>Melilotus</i> sp			*
	<i>Trifolium repens</i>			*
FUMARIACEAE	<i>Fumaria capreolata</i>	*	*	*
LAMIACEAE	<i>Lamiun amplexicaule</i>		*	
LILIACEAE	<i>Allium</i> sp		*	
MALVACEAE	<i>Malva micaensis</i>			*
	<i>Malva sylvestris</i>	*	*	
	<i>Modiola caroliniana</i>			*
MONOCOTILEDONEA	<i>Dracunculus vulgaris</i>		*	
	<i>Zantheschia aetiopica</i>		*	*
OXALIDACEAE	<i>Oxalis chrysantha</i>			*
POACEAE	<i>Bromus unioides</i>			*
	<i>Hordeum</i> sp			*
	<i>Lolium multiflorum</i>			*
	<i>Poa</i> sp			*
	<i>Stipa papposa</i> cf			*
	Poaceae 1			*
	Poaceae 2			*
	Poaceae 3			*
POLYGONACEAE	<i>Rumex crispus</i>			*
	<i>Rumex</i> sp			*
SCROPHULARIACEAE	<i>Veronica polita</i>	*	*	
URTICACEAE	<i>Urtica urens</i> cf			*

CAPITULO 2

ANALISIS DE LA FENOLOGIA FLORAL

INTRODUCCION

La fenología es el estudio de los eventos recurrentes del ciclo de vida de los animales y de las plantas, asociados con los cambios en el medio externo (Käpylä, 1984). La fenología de la floración se ocupa de este evento reproductivo de las plantas en relación con los cambios climáticos estacionales. Los factores externos (climáticos) determinan y modifican la intensidad, progreso y estacionalidad de la floración dentro del rango de los requerimientos ecofisiológicos determinados genéticamente para cada especie (Jäger *et al.*, 1991). Esta variabilidad de la floración estaría reflejada en el registro de polen atmosférico como variaciones en la cantidad y tipo de granos presentes a lo largo del tiempo. El análisis aeropalínológico posibilita el estudio detallado de los cambios de concentración de polen, dentro de la misma estación de floración (polinización) como entre distintas estaciones o años, lo cual estaría representando la fenología floral de las especies emisoras.

A fin de ajustar el análisis aeropalínológico a la interpretación y predicción de los eventos fenológicos florales y, en último término, para el pronóstico de las futuras emisiones polínicas (que por otra parte complementa la prevención de la polinosis) (Zerboni *et al.*, 1991), es indispensable conocer cualitativa y cuantitativamente la actividad de las fuentes emisoras y los factores que puedan afectarla (Puppi Branzi & Zanotti, 1992). Es necesario entonces, obtener información detallada de: 1) la distribución y abundancia de las fuentes emisoras (Cap. 1), y 2) la actividad de las mismas (este Capítulo) (Puppi Branzi & Zanotti, 1989).

Existen familias dentro de las cuales es difícil diferenciar por morfología polínica bajo microscopio óptico, los géneros o especies de las plantas que lo

emitieron. Por ello, el análisis sistemático de los tipos polínicos contiene una imprecisión cualitativa teniendo en cuenta que el material es fresco y está fijado en los preparados microscópicos (ver Cap. 3, Mat.&Mét.) (Boussioud Combières & Barthélémy, 1990). Es importante entonces, conocer los períodos de floración ya que permite diferenciar especies en las curvas polínicas del género correspondiente (Zerboni *et al.*, 1986; Zerboni *et al.*, 1991). Los calendarios de floración conteniendo la información retrospectiva del inicio y final de la floración son útiles a tal efecto. Sin embargo, estos calendarios no tienen en cuenta la intensidad ni el progreso de la floración (Boussioud-Combières, 1988). Es por ello que la caracterización estacional de la producción de polen se define mejor por medio de un seguimiento periódico y un análisis cuantitativo de las distintas fases fenológicas (fenofases) de la flora presente en el área próxima a la estación de muestreo polínico (Puppi Branzi & Zanotti, 1992).

Por otra parte, el tipo de estrategia reproductiva puede ser diferente entre especies y además, pueden existir variaciones entre individuos (aún con el mismo genotipo) en su respuesta al ambiente y que anulan la sincronidad en la fenología (Mussey & Potter, 1997). Dentro de las anemófilas, existen distintos grados de anemofilia (Pla Dalmau, 1961), que determina una distinta producción de polen (Subba Reddi & Reddi, 1985). Si se compara una especie con estrategia anemófila y una con estrategia entomófila, es de esperar que la variación entre individuos sea mayor en la primera especie ya que debe garantizarse una abundante cantidad de polen en la atmósfera durante un lapso considerablemente largo como para que llegue a su lugar de destino (otra planta para fecundar). Esto implicaría además, que la variación dentro de un mismo individuo sea también mayor en plantas de estrategia anemófila que en plantas entomófilas. Estas últimas sólo dependerían de la presencia de un agente biológico polinizador para su polinización.

Si bien la floración es una etapa del ciclo reproductivo inherente a la especie, la determinación del inicio de la floración y el progreso (velocidad e intensidad de la apertura floral) puede variar año a año como consecuencia de la influencia de factores climáticos estacionales. La temperatura y la precipitación son los principales factores que influyen en los ciclos fenológicos (Daubenmire, 1972).

Para determinar la manera en que la floración se expresa en el registro de polen atmosférico se debe conocer primero, la fenología floral de las especies emisoras. Por ello, se propuso conocer la floración de las especies arbóreas de la zona urbana de Mar del Plata y la relación con las condiciones ambientales bajo las cuales ocurre. Las hipótesis propuestas son:

- Existe variabilidad en cuanto al desarrollo o progreso de la fenología floral, dependiendo de la especie y/o de su estrategia reproductiva.
- Las condiciones climáticas previas a la floración influyen en el inicio e intensidad del proceso.

La variación entre años respecto de las fenofases florales están relacionadas con parámetros climáticos, principalmente temperaturas y precipitaciones.

A partir de ellas, se plantean los siguientes objetivos:

1. Analizar los patrones de floración de las especies arbóreas presentes en la ciudad de Mar del Plata, en particular aquellas que estén representadas en el espectro de polen atmosférico.
2. Analizar la variabilidad de la floración dentro y entre individuos de una especie y entre especies diferentes.
3. Determinar la variabilidad relativa en el progreso e intensidad de la apertura floral de acuerdo a las condiciones climáticas estacionales.
4. Establecer qué factores determinan el inicio de la floración de las especies arbóreas de la ciudad y describir la evolución de su desarrollo fenológico floral.

En primer lugar, se determinó el período de floración (inicio, final y duración) de las especies arbóreas y arbustivas más importantes por su capacidad alergizante y/o por su alta densidad, mediante observaciones de campo semanales: calendario de floración. Luego, se realizó un seguimiento detallado y cuantitativo de la fenología floral de las especies arbóreas que son importantes productoras de polen mediante dos muestreos por semana. Con ello, fue posible caracterizar el comportamiento reproductivo de las especies para luego, correlacionarlos con los patrones de dispersión polínica (Capítulos siguientes). Por último, se estudió el desarrollo fenológico del conjunto de especies arbóreas consideradas como “comunidad” y la influencia en la apertura

floral de variables climáticas estacionales importantes como temperatura y precipitación.

MATERIALES Y METODOS

El seguimiento de la floración se realizó sobre las especies dentro del área central (Cap. 1) de 2.25 km², durante el período mayo 1993 - abril 1995. Para todas las especies leñosas se registró el inicio y el final de la floración mediante registros semanales. En cambio, para ciertas especies en particular, se aplicó un muestreo cuantitativo de la floración y de su evolución en el tiempo, el cual se detalla a continuación.

a) Elección de especies: Los taxones que se analizaron presentan las siguientes características:

a) Son representativos de la vegetación urbana y del espectro polínico atmosférico de la ciudad. Estos aspectos se evaluaron en base al relevamiento de la vegetación realizado (Cap. 1) y a trabajos previos (Bianchi, 1994; Latorre & Bianchi, 1997).

b) Tienen importancia alérgica. Esto se evaluó siguiendo básicamente la escala de Lewis *et al.* (1983), construida a partir de los resultados de los tests de sensibilización cutánea.

c) Presentan un tipo de polinización anemófilo. Se consideraron especies entomófilas cuando éstas pertenecen a un género que incluye a otras especies anemófilas.

d) Poseen diferentes tipos de flores (diclinas/hermafroditas) y son plantas dioicas/monoicas. Esto permite comparar distintas estrategias reproductivas.

b) Elección de árboles: Para el muestreo de la floración se eligieron al azar entre 5 y 20 individuos de cada especie (Fournier *et al.*, 1975; Opler *et al.*, 1980). En general, están distribuidos en todos los sectores coincidentes con un punto cardinal.

c) Técnica de muestreo: En cada árbol se tomaron al azar 20 ramas, tratando de abarcar los distintos estratos de la copa (inferior, medio y superior) y todos los lados de la misma (lados expuestos al sol y no expuestos). Esto tiende a evitar sesgos relacionados con el microclima local particular de cada árbol. Se consideró como rama al crecimiento vegetativo del último año, con lo cual se garantiza que todas las ramas sean de la misma jerarquía. En cada rama se registró el número de flores cerradas (yemas florales), el número de flores abiertas (emitiendo polen) y el número de flores secas o no funcionales (anteras secas o caídas). Se obtiene con ello, la proporción de flores abiertas respecto del total como variable comparativa de las distintas ramas y de los distintos árboles de la misma o de distinta especie (porcentaje de floración), además del número de flores totales o abiertas, según el caso. En las especies cuyas flores están reunidas en inflorescencias, se consideró como “flor abierta” cuando al menos una flor de alguna inflorescencia estaba abierta; el final de la floración fue establecido cuando todas las anteras estaban secas.

Para *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Salix alba*, *Liquidambar styraciflua*, *Quercus spp* y *Celtis australis* el método anterior fue levemente modificado debido al pequeño tamaño de sus flores que impedía el conteo detallado de cada una. En estos casos, se consideró como una “rama en flor” cuando al menos una flor (o inflorescencia) estaba emitiendo polen, y así para las veinte ramas muestreadas.

Para Myrtaceae se siguió el criterio de Marcello (1935) ya que sus individuos tienen una gran altura, lo cual dificultaba examinar el estado fenológico detallado de sus flores. Por tal razón, al principio se observaron las flores con binoculares y, luego de adquirida la práctica, se lo hizo a ojo desnudo. Este método, que si bien es cualitativo, posibilita la cuantificación de las fenofases florales de acuerdo con la siguiente escala: 0 (0% de floración), +00 (+1: inicio), ++0 (+2: floración importante), +++ (3: máximo), 0++ (-2: fase de declinación), 00+ (-1: escasa floración, la mayoría de las anteras ya han emitido todo su polen) y 0 (fin de la floración).

d) Periodicidad del muestreo: El muestreo se realizó dos veces por semana durante todo el período de duración de la floración, observando siempre a los

mismos individuos. En el caso de Myrtaceae, las plantas fueron relevadas semanalmente debido a la extensa floración que presentan. El muestreo se llevó a cabo durante dos años consecutivos.

Análisis de los datos:

1) Análisis de la floración de la comunidad arbórea: Para analizar el desarrollo fenológico promedio de la comunidad anemófila (n=25 especies) se utilizó una escala de 0 (flores cerradas) a 9 (flores secas) en la que cada categoría o fenofase, incluye un 25 % de floración. Las clases 1, 2, 3 y 4 corresponden a la primera mitad de la curva de floración: desde 1% de floración hasta el máximo (100% de flores abiertas). Las clases 5, 6, 7 y 8 corresponden a la fase de declinación: desde 99% de flores abiertas hasta 1% de floración.

Se estimaron correlaciones paramétricas y no paramétricas y se realizaron test de comparación de medias muestrales (test de la t de Student) entre las variables de floración de las especies y también con la temperatura y la precipitación (Sokal & Rohlf, 1979).

2) Análisis de la floración de las especies arbóreas: Se consideraron los datos cuantitativos de la floración de 27 especies arbóreas, obtenidos mediante el muestreo bisemanal de la floración sobre 230 árboles en 1993 y 182 en 1994. Se trató de observar a los mismos individuos cada año. Sin embargo, en algunos casos un árbol analizado en 1993 posteriormente fue podado, por lo que en 1994 se eligió al azar otro individuo de la misma especie para mantener el n muestral aproximadamente igual en los dos años. Además de las 25 especies consideradas anteriormente como una “comunidad anemófila”, se incluyeron a dos especies entomófilas del género *Acer*: *A. campestris* y *A. pseudoplatanus*, para comparar esta estrategia reproductiva con la de *A. negundo*. También se consideró a *Fraxinus ornus* que es el último fresno que florece (después de la foliación) y es el único con flor completa, aunque presenta baja densidad en la ciudad (Cap. 1). La fenofase máxima de las Myrtaceae no fue analizada ya que se registró en varias semanas, y en muchas ocasiones correspondía a parte de la copa y no al total del individuo (Tabla 2.1).

Se analizó el inicio, máximo y finalización de la floración (fenofases principales) de 27 especies, considerando sólo los árboles de los cuales se

obtuvieron datos para 1993 y para 1994. Si bien los datos de *Salix alba*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana* y *Eucalyptus syreodoxylon* corresponden a un sólo individuo muestreado en ambos años, se las incluyó para poder comparar las fechas del inicio entre años.

Se clasificaron los árboles en tres clases. Aquellos árboles clasificados como “medios” son los que comenzaron a florecer en una fecha que estaba dentro de una desviación estándar respecto de la media del día de floración para la especie. Los árboles “tempranos” son los que florecieron antes de la fecha correspondiente a una desviación estándar, y los “tardíos” aquellos que florecieron con posterioridad. Este método tiene en cuenta las fluctuaciones anuales del período total de floración. Se calcularon los coeficientes de variación de cada fenofase principal para cada especie y año para poder comparar entre las especies, entre las distintas fenofases analizadas y entre los dos años considerados.

Además, se estimaron coeficientes de correlación lineal (Pearson), análisis de regresión lineal y tests de comparación de medias muestrales (test de Student) (Sokal & Rohlf, 1979).

Variables atmosféricas:

Los datos de temperatura durante el período de muestreo se obtuvieron con la estación meteorológica propia ubicada en el sitio de muestreo polínico (ver Cap. 3) y centro del área dentro de la cual fue relevada la vegetación. Los datos de precipitaciones y las estadísticas del período 1960-1980 provienen del Servicio Meteorológico Nacional correspondientes a la estación Mar del Plata Aero.

RESULTADOS

1. Análisis de la floración de la comunidad arbórea

Se confeccionó el calendario de floración de 92 especies leñosas las cuales son en su mayoría, arbóreas y representan el 59% de la diversidad específica de este tipo de plantas en la vegetación de Mar del Plata. La mayoría son Dicotiledóneas (n=79), 10 son Gimnospermas y sólo 3 son Monocotiledóneas. Se observaron

además, aproximadamente la misma cantidad de anemófilas (47%) que de entomófilas (53%). Las especies con potencialidad alérgica representan un 38% del total, de las cuales 83% son anemófilas y sólo 14% son entomófilas (Calendario 2.1).

En la primera mitad del año hay muy pocas leñosas en flor (menos del 20% del total cada mes) alcanzando un mínimo en mayo y junio; en cambio en la segunda mitad hay más del 20%, con un máximo de 52% en octubre.

Un 15% del total de especies, tienen una duración de la floración breve (menos de 4 semanas) de las cuales la mayoría son Gimnospermas y Dicotiledóneas entomófilas; 25% presentan una floración extensa (mayor a 8 semanas) siendo muchas de ellas anemófilas (como las especies de Myrtaceae) y también algunas entomófilas. Pero en la mayoría de las especies (60%), la floración dura entre 4 y 8 semanas correspondiendo a una floración de extensión media.

En la mayoría de las especies la duración de la floración fue similar entre años o con una diferencia de sólo 1-2 semanas. La mayor variación (mayor a 4 semanas) ocurrió entre las especies de Myrtaceae como *Eucalyptus globulus* (mayor duración en 1993) y *E. cinerea* (menor duración en 1994). Dentro de las especies que se consideraron anteriormente con una duración de la floración media, sólo en 9 la duración varió de un año a otro: 5 especies a la categoría breve y 4 a la extensa.

Del total de las 92 especies relevadas, sólo se consideraron 61 de ellas para el análisis interanual ya que son las más abundantes en la vegetación. El patrón general de floración de la "comunidad" arbórea es similar entre años. En otoño se registran menos de 10 especies leñosas en flor por semana; mayo y junio son los meses con menor número de especies floreciendo. A partir de allí, se produce un aumento paulatino alcanzando el máximo entre fines de invierno y principios de primavera. Desde fines de agosto en 1993 y principios de setiembre en 1994 hasta mediados de octubre, se registraron entre 20 y 30 especies en flor cada semana. Setiembre y octubre son los meses con mayor número de especies leñosas en flor (entre 22 y 25 en promedio). La 4ª semana de setiembre y la 2ª de octubre son las que presentaron el número máximo de

especies en flor durante 1993 (n=26). En cambio, en 1994 el máximo sólo se observó en la segunda semana mencionada (n=28). Esta abundancia se debe principalmente a especies anemófilas que alcanzan su máximo en setiembre y hasta mediados de octubre (entre 15 y 20 especies). Desde allí hasta fines de diciembre se produce el máximo de especies entomófilas en floración (entre 10 y 15 especies) (Fig. 2.1).

Entre diciembre y junio se observó el menor número de anemófilas en flor (menos de 5 especies por semana). Durante el verano y principios de otoño (de enero a abril) algunas especies como *F. ornus* y especies de la familia Myrtaceae, además de algunas especies entomófilas de floración extensa finalizan su etapa floral. También, durante este período, ocurre la polinización de varias Gimnospermas (por ej. *Cedrus deodara*) y de la anemófila *Casuarina cunninghamiana*; las demás especies son entomófilas. El número de estas últimas en flor disminuye desde abril hasta setiembre, registrándose menos de 5 especies por semana en ese período.

El número de especies entomófilas en flor y la temperatura media semanal están correlacionadas positiva y significativamente ($r_{93}=0.70$ y $r_{94}=0.66$, $p=0.0001$). Para las especies anemófilas la correlación es negativa, aunque sólo marginalmente significativa en 1994 ($r_{93}=-0.11$, $p=0.541$; $r_{94}=-0.33$, $p=0.069$) (Fig. 2.1).

La relación con las precipitaciones no es clara. Si bien esta variable estuvo correlacionada significativamente con el número de especies anemófilas en flor, el coeficiente fue negativo en 1993 ($r_{93}=-0.41$, $p=0.020$) y positivo en 1994 ($r_{94}=0.37$, $p=0.035$).

Las especies arbóreas anemófilas más importantes son 25 dicotiledóneas que florecen en una misma época (invierno-primavera) y además, presentan la mayor abundancia tanto en la vegetación como en el registro polínico de Mar del Plata (Latorre & Bianchi, 1997). Estas especies son: *Eucalyptus globulus*, *E. cinerea*, *E. syreodoxylon*, *Callistemon lanceolatus*, *Fraxinus excelsior*, *F. americana*, *F. excelsior* var. *aurea*, *F. ornus*, *Ulmus pumila*, *U. procera*, *Corylus avellana*, *Alnus glutinosa*, *Salix alba*, *S. caprea*, *Acer negundo*, *Populus x canadensis*, *P. canescens*,

Betula pendula, *Platanus acerifolia*, *Juglans regia*, *Celtis australis*, *Quercus robur*, *Q. ilex*, *Liquidambar styraciflua* y *Olea europaea*.

Para describir el desarrollo fenológico floral de la “comunidad anemófila” de la ciudad, se las consideró conjuntamente. Se observó que tienen un patrón estacional de floración que comienza a fines de otoño-principios de invierno y finaliza a principios de verano. Su máxima floración ocurre entre julio y noviembre, aunque fue 15 días más breve durante el segundo año (Fig. 2.2). El número máximo de anemófilas en su fenofase máxima se registró en 1993 durante la 1º semana de octubre, registrándose un pico secundario importante en la 3º de setiembre; durante 1994 fue a la inversa ya que el máximo ocurrió en la 3º semana de setiembre y el pico secundario en la 1º de octubre.

Las diferencias observadas en el progreso de la floración para cada especie entre años, no fueron mayores a dos fenofases de las 9 consideradas, excepto en algunas semanas (3 ó 4) para las especies de Myrtaceae, de floración extensa, y para *F. ornus* y *C. avellana*. La fenofase floral media a lo largo del período de floración no fue significativamente diferente entre años para ninguna de las especies ($t=-1.906$ y $p=0.061$ para *E. syreodoxylon*, para las demás especies $-0.998 \leq t \leq 0.413$ y $0.322 \leq p \leq 1$).

Las correlaciones no paramétricas de las fenofases florales entre todos los pares posibles de especies fueron altamente significativas ($p < 0.05$) excepto entre *C. lanceolatus* con algunas especies de floración temprana en 1994. Esta Myrtaceae mostró durante el segundo año, dos períodos de floración separados en el tiempo (ver Calendario 2.1).

El desarrollo fenológico floral del conjunto, mostró una importante similitud entre años. La mayor diferencia ocurrió entre la 3º semana de julio y la 3º de agosto, siendo ésta la etapa previa a la floración máxima del grupo y en la que se observaron valores mayores de las fenofases en 1994. Durante este período, la suma de temperaturas medias diarias fue 11.16°C mayor en 1994. Sin embargo, estas diferencias fueron menores a una fenofase por lo que puede considerarse que no existen diferencias significativas entre años para el desarrollo fenológico promedio de la comunidad anemófila ($t=-0.129$, $p=0.898$).

La floración de las especies anemófilas conjuntamente, muestra un patrón sigmoideo de desarrollo, o sea una relación no lineal con el tiempo (Fig. 2.3). Esto indica que las fenofases tempranas de la floración (desarrollo de yemas florales) comienzan muy lentamente y luego son seguidas por fases que cambian rápidamente; finalmente, la velocidad de las fases finales es baja (finalización de la floración). De este modo, el patrón de floración se ajusta a una ecuación logística cuya forma es: $F=k/(1+e^{(a-rT)})$ donde F es la variable que describe la fenofase, T el tiempo en semanas (desde la primera de enero hasta la fenofase observada) y las otras son constantes (r está relacionada con la velocidad de floración y k es la asíntota superior) (Puppi Branzi & Zanotti, 1989). Para estimar la relación cuantitativa entre la variable fenológica (F) y el tiempo (T), la ecuación anterior puede transformarse en una línea siguiendo la ecuación equivalente: $Z_F=rT-a$ donde Z_F es la función logarítmica de F: $Z_F=\ln(F/(k-F))$ (Puppi & Zanotti, 1988). Esta ecuación de regresión permitirá predecir las futuras fenofases florales.

Para obtener la ecuación donde se contemple la variación interanual que pueda existir en el desarrollo de la floración, se promediaron los datos de los dos años. Previo a esto, para testear cada ecuación individual, se utilizaron los datos de uno de los dos años para estimar el desarrollo fenológico en cada semana, y los datos resultantes se compararon con los datos reales del otro año. Las diferencias entre los datos reales y los estimados no fueron mayores a una fenofase, excepto en la 2° y 3° semana de agosto de 1994 donde alcanzaron valores de sólo 1.09 y 1.19 respectivamente (Fig. 2.4). Las diferencias observadas ocurrieron después del inicio y antes del final de la floración, sin involucrar las fenofases principales como inicio, máximo y finalización. Las correlaciones entre los datos reales y estimados fueron altamente significativas ($r_{93}=0.997$ y $p<0.001$; $r_{94}=0.993$ y $p<0.001$). Así, la ecuación de regresión resultante como promedio de los dos años es: $Z_F=0.436T-15.284$ con $p<0.000001$, $r=0.973$ y $R^2=94.75\%$.

El desarrollo fenológico floral muestra una correlación positiva significativa con la temperatura semanal media ($r_{ZF}=0.60$, $p<0.0001$), pero no significativa con las precipitaciones ($r_{ZF}=0.08$, $p=0.661$).

El período de floración de la comunidad anemófila fue más breve en 1994, ya que comenzó 3 semanas después y finalizó casi simultáneamente respecto a 1993. La suma de temperaturas medias diarias durante la floración fue 263°C menor el segundo año y quizás por ello, no se extendió por más tiempo como en 1993.

Por otra parte, el retraso en el inicio de la apertura floral durante 1994 (*E. globulus* es la primera especie) podría relacionarse con las temperaturas previas a la floración, ya que las especies de floración temprana, en general, deben alcanzar una cierta cantidad de grados centígrados para que el proceso de apertura floral ocurra (Frenguelli *et al.*, 1991). La suma de temperaturas medias diarias desde el 1° de enero hasta mediados de mayo (inicio de las fenofases florales en 1993) alcanzaba 2520°C; en cambio, para 1994 sólo era de 2406°C. Esto expresa una diferencia importante de temperatura (114°C) que pudo ocasionar el retraso observado. La temperatura alcanzada en 1994 cuando se inició la floración (2ª semana de junio) era de 2674°C. Sin embargo, las especies pueden tener distinto requerimiento fisiológico de temperatura, especialmente las especies de floración temprana (invierno-principios de primavera) y aquellas de floración tardía (Seeley *et al.*, 1997). Por ello, es fundamental analizar cada especie por separado para comprender en profundidad si existen diferencias entre ellas respecto a su requerimiento externo para el desarrollo floral (ver más adelante).

2. Análisis de la floración de las especies arbóreas

Inicio de la floración (Tabla 2.2):

Para todas las especies consideradas, al menos el 50% de los árboles se incluyeron dentro de la categoría de floración media.

Las especies con un porcentaje entre el 75% y 100% de los árboles en la categoría "medios" se consideraron altamente homogéneas en el inicio de la floración. Las especies que alcanzaron esta proporción en los dos años fueron: *Fraxinus excelsior* var. *aurea* (*F. aurea*), *U. pumila*, *P. acerifolia*, *J. regia*, *L. styraciflua*, *O. europaea*, *A. pseudoplatanus*, *A. campestris*, *Q. robur*, *Q. ilex*, *C.*

australis, *E. cinerea* y *C. lanceolatus*. En el caso de *Fraxinus ornus*, *Ulmus procera*, *A. negundo*, *P. x canadensis*, *P. canescens* y *B. pendula*, este rango de árboles medios sólo se cumplió en el año 1993. Para *S. caprea* sucedió lo contrario, sólo en el año 1994 la mayoría de los árboles florecieron dentro de la categoría medios.

Ningún árbol pasó de la categoría tempranos en 1993 a la tardía en 1994, ni viceversa. Esto indica que, entre un año y otro, los árboles en su mayoría no difieren significativamente en su comportamiento de inicio. Sólo en *F. americana*, más del 50% de los árboles cambiaron de categoría, pero siempre a la contigua.

F. excelsior y *E. globulus* fueron las especies más variables en cada uno de los dos años, como lo demuestran sus altos coeficientes de variación, mayores a una desviación estándar de la media del conjunto ($cv=5.1$). Otras especies como *U. procera*, *Q. ilex* y *E. cinerea* en 1993 y *U. pumila* en 1994 sólo mostraron altos coeficientes de variación en uno sólo de los años. Las especies más homogéneas en los dos años en cuanto al inicio de la floración fueron *P. acerifolia* y *Q. robur* ($cv=0$). El coeficiente de variación promedio fue mayor en 1993 ($cv_{93}=3$) respecto al de 1994 ($cv_{94}=2.1$) (Fig. 2.5a).

Las especies que florecieron más temprano son *E. globulus* y *E. cinerea* (a fines de mayo-principios de junio) y *F. excelsior* y *U. pumila* (a principios de julio). La más tardía fue *O. europaea* (en noviembre), aunque puede considerarse a *F. excelsior aurea* (a mediados de octubre) y a *Q. ilex* (a fines de octubre-principios de noviembre) como las especies tardías más importantes en cuanto a su densidad en la zona (Cap. 1).

El inicio promedio de la floración de las especies en 1993 estuvo altamente correlacionado con el inicio en el año siguiente ($r_s=0.98$, $p<0.0000001$). Las diferencias interanuales para la mayoría de las especies, fueron menores a una semana en promedio. Sólo en el caso de *U. pumila* y *C. lanceolatus* las diferencias entre un año y otro fue mayor a 10 días. También existen diferencias importantes entre *S. alba*, *A. glutinosa* y *E. syreodoxylon* (20-36 días) aunque los datos corresponden a un sólo ejemplar (Fig. 2.6a). Sin embargo, las diferencias observadas no resultaron significativas ($t=-33.70$, $p<0.001$). A pesar de ello, se debe tener en cuenta la dispersión intraespecífica

que se registra en esta fenofase floral ya que varía ampliamente entre especies, como se explicó anteriormente.

En relación a esto, se observó una correlación negativa baja aunque significativa, entre la variabilidad intraespecífica y la fecha de inicio de la floración ($r=-0.42$, $p=0.004$). Entre estas variables existe una dependencia lineal, aunque la recta de regresión sólo expresó el 17% de la variación total.

Durante 1993 de las 27 especies, 20 de ellas en promedio florecieron antes. En 14 especies la diferencia fue menor ó igual a 4 días, que debido a la periodicidad del muestreo realizado podría considerarse no significativa.

La diferencia mayor (más de 30 días) entre la fecha más temprana en que floreció un árbol y la más tardía fue para la especie *F. excelsior*, lo cual se observó en los dos años. En *B. pendula*, *Ulmus procera*, *J. regia* y *O. europaea* en 1993, en *F. americana* y *E. globulus* en 1994 y en *U. pumila* en los dos años, las diferencias fueron entre 15 y 30 días. Durante 1993, se registró la mayor diferencia en *E. globulus* con 66 días entre árboles tempranos y tardíos.

Máximo de la floración (Tabla 2.3):

Al menos en el 50% de los árboles de todas las especies consideradas, la floración máxima ocurrió dentro del intervalo de fechas medias. Las especies *F. americana*, *F. aurea*, *F. ornus*, *U. pumila*, *S. caprea*, *A. pseudoplatanus*, *P. x canadensis*, *P. canescens*, *C. australis*, *L. styraciflua*, *Q. robur*, *Q. ilex* y *O. europaea* fueron altamente homogéneas (entre 75 y 100% de individuos medios) en cuanto a que su máximo se registró en el período medio de la especie en los dos años. Esto sólo ocurrió en uno de los dos años para *P. acerifolia* y *J. regia* en 1993, y para *A. campestris* y *B. pendula* en 1994.

Únicamente en el caso de *U. pumila* sólo un árbol pasó de categoría temprano a tardío de un año al otro; en las demás especies el cambio, cuando ocurrió, fue a la categoría contigua.

Al igual que al inicio de la floración, *F. excelsior* fue la especie más variable en los dos años en cuanto al máximo de floración, aunque en esta fenofase también *B. pendula* fue altamente heterogénea (esto es su coeficiente de variación fue mayor al promedio del conjunto más una desviación estándar: 3.6).

Para *F. ornus* y *U. pumila*, sus coeficientes de variación fueron mayores a la media más una desviación estándar sólo en 1993. Por otra parte, en *C. australis* los dos años, y en *S. caprea*, *A. campestris*, *P. x canadensis* y *L. styraciflua* en 1994, los árboles alcanzaron el máximo de floración el mismo día ($cv=0$). El coeficiente de variación para el máximo de floración de 1993 fue mayor al de 1994 ($cv_{93}=2.4$; $cv_{94}=1.5$) (Fig. 2.5b).

Las fechas en que se registraron los máximos de floración estuvieron altamente correlacionadas entre los años ($r_s=0.98$, $p<0.0000001$). Las diferencias interanuales dentro de cada especie no superaron 1 semana en la mayoría de las especies. Sólo para *F. aurea* y *O. europaea* fue igual a 10 días y para *F. ornus* y *C. avellana* 14 y 12 días respectivamente. En ningún caso, la diferencia de la fecha de floración media fue mayor a 2 semanas, resultando no significativa ($t= -43.64$, $p<0.001$) (Fig. 2.6b).

De las 23 especies, 11 alcanzaron el máximo promedio con anterioridad en 1993. En 13 especies, la diferencia puede considerarse despreciable ya que fue menor o igual a 4 días.

Se observaron diferencias importantes en algunas especies entre los individuos en cuanto a la fecha en que se registró el máximo de floración (mayor a 20 días). En algunos casos, como *F. excelsior*, *F. ornus* y *U. pumila*, estas diferencias se deben a que la floración muestra un patrón con dos picos importantes de floración, y los máximos se corresponden con uno u otro pico (ver más adelante). Las otras especies con diferencias mayores a 20 días son *P. canescens* y *B. Pendula*. En las demás especies varía entre 3 y 15 días. Los patrones observados anteriormente se repitieron en los dos años de muestreo.

Final de la floración (Tabla 2.4):

Más del 50% de los árboles de todas las especies se incluyeron en la categoría medios en relación a la fenofase final, excepto *A. negundo* en 1994 (44% de los arces). Las especies altamente homogéneas en ambos años (entre 75 y 100% de los árboles) fueron: *U. pumila*, *U. procera*, *A. campestris*, *A. pseudoplatanus*, *P. acerifolia*, *C. australis*, *L. styraciflua*, *Q. robur*, *Q. ilex*, *O. europaea*, *E. cinerea* y *C.*

lanceolatus, *F. ornus*, *A. negundo*, *P. canescens* y *E. globulus* sólo en 1993, y *P. x canadensis* y *J. regia* en 1994, fueron homogéneos.

Ningún árbol de ninguna especie pasó de la categoría tempranos a la tardía ni viceversa. Los cambios sólo ocurrieron en un bajo porcentaje y siempre a la categoría inmediata.

E. globulus y *E. cinerea* fueron las especies más variables en cuanto al final de la floración (mayor al coeficiente de variación medio más una desviación: 5.1). Además, *S. caprea* y *B. pendula* los dos años, *U. pumila* en 1993 y *F. excelsior*, *A. pseudoplatanus* y *J. regia* en 1994, pueden considerarse con alta variabilidad en la fenofase final si se eliminan las Myrtaceae, que fueron en general, altamente variables. En cambio *L. styraciflua* y *Q. ilex* en los dos años, *Q. robur* y *A. campestris* en 1993 y *C. australis* en 1994, fueron las especies cuya finalización fue simultánea en todos los árboles ($cv=0$). El coeficiente de variación de 1993 ($cv_{93}=2.5$) fue similar, aunque algo menor, al de 1994 ($cv_{94}=2.7$) para el final de la floración (Fig. 2.5c).

Las especies que finalizaron antes su floración fueron *F. excelsior*, *U. pumila* y *U. procera*, las dos primeras fueron las que iniciaron su floración tempranamente respecto a las demás. Las últimas en finalizar la floración fueron: *Q. ilex* y *O. europaea* en noviembre-diciembre y *F. ornus* y *C. lanceolatus* en enero; estas mismas especies fueron las últimas en iniciar la floración.

Si bien el coeficiente de correlación entre años para el final promedio de la floración no fue tan alto como en las otras fenofases analizadas, sí fue altamente significativo ($r_s=0.84$, $p<0.0000001$). Además, las diferencias entre años para la mayoría de las especies fueron menores a 1 semana ($t=-39.55$, $p<0.001$); para *F. aurea*, *C. australis* y *Q. ilex* la diferencia fue entre 8 y 10 días. Las especies más variables entre años fueron los dos *Salix* (aunque en *S. alba* los datos corresponden a un sólo individuo) y las Myrtaceae (Fig. 2.6c).

En 11 de las 27 especies el final se registró antes en 1993. Las diferencias menores a 4 días (no significativas) se registraron en 13 especies.

Las diferencias entre árboles tempranos y tardíos en la finalización de la floración fueron mayores a 20 días en los dos años sólo en *B. pendula*, *E. globulus*, *E. cinerea* y *C. lanceolatus*, aunque en *A. negundo* y *A. campestris* la diferencia es cercana a los 20 días. En 1993, *F. americana* y *U. pumila*, y en 1994

F. excelsior y *J. regia*, mostraron una diferencia entre árboles de alrededor de los 30 días.

Duración de la floración (Fig. 2.7):

El período de floración más extenso (considerando las fechas medias para cada especie), corresponde a las Myrtaceae, especialmente a los eucaliptos, cuyas floraciones variaron entre 80 y 140 días. En las demás especies, la floración se extiende alrededor de 1 mes (36 ± 16 días en promedio los dos años). Además de los eucaliptos, *F. ornus* presenta una floración relativamente extensa (90 y 85 días cada año).

Se observó una correlación negativa significativa entre el inicio medio y la duración media de la floración entre las especies ($r_{93} = -0.605$ y $r_{94} = -0.588$, $p = 0.001$).

Las diferencias en la duración de la floración entre años, en general, fueron menores a 10 días, excepto en las especies de Myrtaceae y de *Salix*, y en *U. pumila* y *A. glutinosa*. En la mayoría, la floración tuvo mayor o igual duración en 1993 respecto a 1994; las excepciones son *E. syreodoxylon* y *A. glutinosa* principalmente, aunque también *S. caprea*, *Q. ilex* y *C. australis* (con una diferencia en la duración mayor a 10 días favorable para el año 1994). La correlación entre años fue altamente significativa ($r = 0.831$, $p < 0.0001$).

La mayor variabilidad entre individuos en la extensión del período floral se registró para los eucaliptos (*E. globulus* y *E. cinerea*) con 13-42 días de diferencia; en los fresnos (*F. excelsior* y *F. ornus*) y los olmos la variabilidad intraespecífica en la duración fue también importante (8-16 días). En las demás especies la variabilidad intraespecífica fue menor a 1 semana o en algunos casos nula como en los robles y en *P. canescens*, en uno de los años analizados.

La etapa desde el inicio medio de la floración hasta el máximo (fase ascendente) fue, en promedio, de igual duración a la etapa entre el máximo y el final de la floración (fase descendente) para todas las especies, aunque sin tener en cuenta a Myrtaceae por no estar definido su máximo. Sólo en *F. ornus*, la fase descendente es relativamente mayor en extensión a la fase ascendente. En

cualquiera de las especies consideradas, cada fase no dura más de 1 mes ni menos de 1 semana (20 ± 8 y 16 ± 11 en 1993, y 18 ± 10 y 18 ± 13 en 1994, las fases ascendente y descendente, respectivamente).

Producción de flores/inflorescencias (Fig. 2.8):

En aquellas especies que se monitoreó la floración según el método detallado (punto c. de Mat&Mét.), fue posible estimar el número de flores producidas por cada árbol. En cada fecha se consideró tanto las yemas florales como las flores abiertas y las no funcionales.

U. pumila, *F. excelsior* y *S. caprea* son las especies con mayor número de flores por rama (mayor a la media del conjunto que fue de 5 ± 2 flores en los dos años).

En el 77% de las 13 especies consideradas, el número de flores producidas fue igual o mayor en el año 1993. Las diferencias interanuales más importantes se observaron en *U. pumila* y *S. caprea* (aunque en esta última especie la producción de flores fue mayor en 1994). En *F. excelsior* y *U. pumila* se observaron diferencias en más del 75% de los árboles relevados en los dos años. En las demás especies las diferencias entre árboles no fueron mayores a 1-2 flores por rama en promedio.

3. Análisis de los parámetros climáticos estacionales en relación a la fenología floral

El verano de 1993 fue más cálido que el verano del año siguiente (1°C más por mes en promedio). De enero a abril la temperatura media mensual de 1993 también fue mayor a las estadísticas de los últimos treinta años, mientras que 1994 fue, en promedio, similar. Entre fines de otoño y principios de invierno, las temperaturas de 1993 fueron menores a las registradas en 1994 (1°C menos por mes en promedio). Específicamente, julio de 1993, fue 0.92°C más frío que las estadísticas (Fig. 2.9a y 2.10a).

Respecto a las precipitaciones, el otoño de 1993 fue más lluvioso que el de 1994. En abril y mayo de 1993 también se registraron más lluvias que en los

últimos treinta años (146.62 mm más). En los meses de mayor número de especies en flor (setiembre y octubre) las precipitaciones fueron, contrariamente, más abundantes en 1994 y también 94.22 mm mayores que las estadísticas. El agua caída en 1993 durante estos meses (setiembre y octubre) fue 93.26 mm menor que el promedio de los últimos treinta años. En noviembre las precipitaciones de 1993 fueron mayores que en 1994; respecto de las estadísticas, en 1993 se registró 63.5 mm más de lluvias pero en 1994, 57 mm menos (Fig. 2.9b y 2.10b).

Para analizar más específicamente las condiciones climáticas previas al inicio de la floración, se compararon la suma de las temperaturas medias diarias y la suma de las precipitaciones (desde el 1 de enero hasta la fecha temprana del inicio de cada especie) de los dos años considerados (Fig. 2.11). Se observó que las temperaturas previas fueron mayores y las precipitaciones menores para casi todas las especies, durante 1993. En este año el inicio de la floración se registró, en general, con anterioridad respecto a las fechas iniciales de 1994.

Algunas excepciones a tener en cuenta, son *A. glutinosa* y *E. syreodoxylon* cuyas floraciones comenzaron en fechas posteriores en 1993 pero las temperaturas previas fueron mucho más altas ese año. Sin embargo, las precipitaciones fueron mayores en 1993, a la inversa de lo que sucede para la mayoría de las especies que iniciaron antes su floración en 1993. Por otra parte, en las otras dos especies de *Eucalyptus* (*E. globulus* y *E. cinerea*) la apertura floral en 1993 comenzó también antes, alcanzándose ese año también mayores precipitaciones.

En los sauces, la floración se registró más de 10 días antes en 1993 aunque las sumas de las temperaturas fueron levemente menores a las de 1994. En la especie *J. regia*, la floración se registró también con más de 10 días de anticipación en 1993, pero en este caso las temperaturas previas de ese año fueron mucho mayores que las del año siguiente.

Para *F. americana* y *A. negundo*, las temperaturas previas de 1993 fueron mucho más altas que las de 1994 pero el inicio fue coincidente entre años. Las sumas de precipitaciones hasta la floración fueron menores en 1993, como en la mayoría de las especies.

DISCUSION

1. Análisis de la floración de la comunidad arbórea

Se determinó la estación de floración de 92 especies arbóreas durante dos años, confeccionándose un calendario floral detallado de la zona urbana de Mar del Plata.

La floración de la mayoría de las especies ocurre en primavera y es de duración intermedia (entre 4 y 8 semanas). Esta misma situación se registró en estudios realizados en Chile (Aljaro & Hoffmann, 1979) y en otras ciudades de la provincia de Buenos Aires y del litoral argentino (Mathov, 1972). En algunos casos, la floración dura más de 10 semanas; por ejemplo, en las especies del género *Eucalyptus*. Según Opler *et al.* (1980), el comportamiento reproductivo puede ser continuo (en Mar del Plata, la mayoría de las especies arbóreas) o discontinuo (*Callistemon*), extenso (*Eucalyptus*) o breve (*Platanus*, *Populus*), sincrónico (*Populus spp*, *Ulmus spp*) o asincrónico (*Fraxinus spp*).

La mayoría de las especies arbóreas anemófilas son alergénicas, excepto las mirtáceas, *Cryptomeria japonica*, *Casuarina cunninghamiana* y *Nothofagus sp*. Sólo las anemófilas tienen un rol importante en los estudios sobre polinosis y en el planeamiento de la forestación y poda para evitar sus efectos nocivos. Esto se debe a que su polen se registra en la atmósfera en una concentración importante como para ser causante de afecciones en el hombre (Famularo *et al.*, 1992). Este conocimiento es importante para la adopción de medidas que tiendan a evitar efectos nocivos, pero deben correlacionarse con muestreos continuos del polen en la atmósfera registrándose la abundancia relativa de cada tipo polínico.

Algunas especies arbóreas entomófilas pueden ser importantes alérgicamente como *Tilia cordata* y *Prunus spp* (Negrini, 1992). Estos dos géneros son muy abundantes en el área, pero la concentración de sus granos en la atmósfera ha sido nula y baja respectivamente (Latorre & Bianchi, 1997), con lo cual su interés queda limitado a la proximidad entre la persona sensible y la fuente emisora del polen. De todas maneras, se requiere un estudio particular

correlacionando los datos polínicos con los de vegetación para establecer las potenciales fuentes de patógenos respiratorios.

La mayoría de las especies arbóreas anemófilas florecen en primavera, produciéndose un aumento importante desde fines del invierno. Durante noviembre, estas especies finalizan sus períodos de floración mientras que las especies entomófilas comienzan a abrir sus flores. Son escasas las especies de floración otoñal.

La diferencia temporal entre especies anemófilas y zoófilas en cuanto a períodos de floración, se relaciona con la estacionalidad climática de la región. La floración de especies anemófilas se relaciona con las bajas temperaturas de invierno y de principios de primavera, mientras que la floración de especies zoófilas estaría influenciada por las altas temperaturas de fines de primavera y verano (Smith Ramirez & Armesto, 1994). Las precipitaciones parecen no influir en el tipo y número de especies que florecen, aunque deberían analizarse estas condiciones en el período previo a la floración (ver más adelante).

La aplicación de las técnicas propuestas para el muestreo de la floración, permitió una descripción cuantitativa de las fenofases florales. En principio, parece que no existe una importante variabilidad en cuanto al desarrollo de las fenofases cuando se consideran a las especies anemófilas más importantes en forma conjunta.

Las especies anemófilas consideradas en su conjunto, muestran un patrón fenológico progresivo a lo largo del tiempo, que se extiende desde julio a noviembre con una escasa variación interanual. Las primeras etapas de la floración se producen lentamente, luego siguen cambios rápidos hasta las fases finales de velocidad lenta. El desarrollo de las distintas fenofases se asocia con el progresivo aumento de la temperatura. Julio fue el mes más frío del período considerado, luego del cual la temperatura comienza a aumentar paulatinamente. La correlación altamente significativa entre las fenofases florales y la temperatura media semanal muestra la estrecha relación entre la floración y la temperatura. Las precipitaciones parecen no afectar el desarrollo fenológico floral, probablemente porque Mar del Plata presenta un clima sin déficit hídrico. Por el contrario, en ambientes áridos las especies tienden a florecer en la

estación húmeda y muestran una correlación positiva con las precipitaciones (Murali & Sukumar, 1994; Ghazanfar, 1997).

Las variaciones observadas tanto en el inicio (retraso en 1994) como en la intensidad de floración (mayores valores de los porcentajes previos a la fenofase máxima en 1994) entre los años, parecen relacionarse con las más altas temperaturas alcanzadas en 1994 durante la floración y las menores sumas de temperaturas hasta la fecha del inicio de la floración. Las especies requieren cierta suma de temperaturas diarias para que comience la emisión de polen (además de determinadas temperaturas durante el período de crecimiento vegetativo para la formación de granos de polen en las anteras). Sin embargo, estos requerimientos fisiológicos son específicos y deberían analizarse para cada especie individualmente.

Distintos autores recomiendan continuar las observaciones fenológicas durante varios años debido a que las variaciones climáticas pueden inducir variaciones en el período de floración de algunas especies (Zerboni *et al.*, 1991). Sin embargo, a pesar de que pueden existir fluctuaciones al principio y al final, en general, la duración de la estación de floración parecería ser constante para cada especie (Aljaro & Hoffmann, 1979).

La variabilidad en el desarrollo fenológico floral dentro de una misma especie es un tópico importante a tener en cuenta, especialmente desde el punto de vista de su expresión en el espectro polínico y de los factores interactuantes. A pesar de esta variabilidad, fue posible describir el comportamiento reproductivo general para cada especie.

2. Análisis de la floración de las especies arbóreas

En todas las especies más del 50% de los árboles se incluyeron dentro de la categoría de floración media para las tres fenofases. Esto estaría indicando que la mayoría de los árboles florecen sincrónicamente en un período de tiempo definido por los requerimientos fisiológicos de la especie a la cual pertenecen, siendo relativamente constante entre años. Esto último, se observa también en que sólo 1 árbol (de *U. pumila*) de los 412 árboles relevados, pasó de la

categoría de tempranos a la de tardíos de un año a otro, y sólo en su fenofase máxima. La plasticidad en el tiempo de floración es limitado, y la reversión a la media de la especie puede ocurrir frecuentemente si, un año algún árbol se adelanta o atrasa en su fenofase floral (Michaud *et al.* 1992).

El coeficiente de variación promedio de todas las especies, fue igual para el inicio y para el final de la floración (5.1) y fue menor para la fenofase máxima probablemente porque en su cálculo no se incluyeron a las Myrtaceae. Las mayores diferencias entre árboles se observaron en *E. globulus* al inicio y fin de la floración, y en *E. cinerea* al final; los coeficientes de variación de estas especies fueron mayores a 10. Si se calculan los coeficientes del inicio y final sin estas últimas especies, resultan similares al de la fase de máxima floración (cercaos al valor 2).

Comparando todas las especies, las más variables en las tres fenofases fueron los fresnos (especialmente *F. excelsior* y en el final *F. americana*), los olmos (especialmente *U. pumila*), los eucaliptos y *B. pendula* (especialmente en el máximo de floración). Dentro de los *Acer*, el más variable fue *A. pseudoplatanus* y el menos variable *A. campestris*, ambos entomófilos, con lo cual se rechazaría preliminarmente la hipótesis de homogeneidad de la floración de especies entomófilas comparadas con las anemófilas. Por otra parte, las especies de menor variación cambiaron según la fenofase; las homogéneas para el inicio no se mantuvieron así en las otras fenofases. En general, las especies menos variables en los dos años fueron *P. acerifolia*, *C. australis*, *L. styraciflua* y los *Quercus* (excepto *Q. ilex* en el inicio de 1993).

Las diferencias entre los árboles para cada fenofase fueron menores a 10 días en la mayor parte de las especies. La variabilidad más importante fue registrada en el inicio de la floración en las especies de floración temprana como *F. excelsior* y *E. globulus*. Pero no todas las especies de floración temprana mostraron tan alta variación en la fenofase inicial. Además, la dependencia lineal entre el inicio temprano de la floración y la variabilidad intraespecífica parece ser más débil de lo que sugiere Fitter *et al.* (1995).

La variabilidad de las especies en conjunto en el inicio de la floración, fue mayor en 1993 respecto a 1994, y en el final fue menor, aunque si no se

consideran a las Myrtaceae, altamente heterogéneas, podrían considerarse similares. Para la fenofase máxima fue similar en los dos años.

En ninguna fenofase se registraron diferencias significativas entre las fechas medias del evento en cuestión, y las correlaciones entre años fueron altamente significativas, aunque de menor valor el coeficiente de la fenofase final. A pesar de que pueden existir discrepancias fenológicas entre los árboles de una misma especie creciendo en un mismo lugar, generalmente, se encuentran grupos de árboles estables de un año a otro (en este caso, los denominados medios) (Fripp *et al.*, 1987; Michaud *et al.* 1992).

Las diferencias interanuales no fueron mayores a 1 semana en la mayoría de las especies para cada fenofase media. Pero se observó que en el 74% de las especies la floración se inició con anterioridad en el primer año de muestreo. Sin embargo, para el máximo y para el final, el número de especies que alcanzaron antes estas fenofases fue similar al número de especies que registró su fenofase después en cada año (40-48%).

La idea central ampliamente difundida es que la temperatura juega un rol importante en determinar la variación interanual del desarrollo fenológico de las especies vegetales. En general, los otoños cálidos retardan el inicio de la floración en la primavera siguiente (Fitter *et al.*, 1995) pero las altas temperaturas en el mes previo a la floración parecen adelantar la fecha de la apertura floral, especialmente en especies de floración temprana (Fitter *et al.*, 1995) o en casos particularmente estudiados como el de *Betula* (Spieksma *et al.*, 1995). Por otra parte, los veranos cálidos hacen que se disponga de mayores recursos para la etapa reproductiva siguiente y por ello, que la productividad polínica de los árboles aumente (Emberlin *et al.*, 1990). Este punto debe evaluarse con mayor detalle.

La relación observada entre el inicio de la apertura floral y la duración de la floración, es interpretada en relación a que las especies que florecen antes tienden a tener una floración más extensa ya que la energía asignada a la producción de flores es mayor (Murali & Sukumar, 1994). La única excepción a este comportamiento parece ser *F. ornus*, con una floración tardía y de extensa duración.

Los eucaliptos son los que presentan los períodos de floración más extensos, y también la mayor variabilidad intraespecífica. *F. ornus* y *F. excelsior* muestran una variación entre individuos relativamente alta, al igual que los olmos. En las demás especies, el período de floración fue de similar extensión entre especies y especialmente entre años. Además, se observó un patrón de floración similar entre años en cuanto a que la fase ascendente de la floración es similar en número de días a la fase descendente (2-3 semanas) para todas las especies.

La presencia de una alta variación intrapoblacional ha sido comunmente interpretada en relación a las principales características de las especies arbóreas como: período de vida muy extenso, polinización anemófila, monoecia, alogamia (Michaud *et al.*, 1992). La variabilidad en la floración entre individuos de una misma población, induce a variación temporal en el flujo polínico. Luego ésto podría reflejarse en las curvas polínicas como variaciones en la concentración dentro de una misma estación de polinización y también entre años distintos. Además, podría llevar a la diversificación y estructuración genética de las poblaciones. Ejemplos de estos patrones fueron observados anteriormente en *Eucalyptus* (Fripp *et al.*, 1987). En *Q. ilex* y en el inicio de la floración, se ha observado una importante variabilidad entre los individuos (Michaud *et al.*, 1992), al igual que en los muestreos de este estudio.

Si bien en la mayoría de las especies consideradas no se registraron diferencias demasiado importantes en la producción de flores, el año 1993 ha sido más favorable para la fase reproductiva de los árboles por el mayor número de flores producidas. Así, se puede considerar la hipótesis que durante ese año, la cantidad de polen que se registre en la atmósfera será mayor a la del año 1994, dado que existe una correlación entre el número de flores y el número de granos de polen producidos por ellas. Esta hipótesis deberá ser testeada analizando la intensidad de la polinización (Cap. 3) y apoyándose en observaciones empíricas del progreso de la apertura floral. De todos modos, es indispensable conocer las condiciones climáticas previas, ya que un mayor número de flores puede no implicar mayor número de granos, o bien que no

todas las flores se desarrollen normalmente para emitir su polen. Otros factores a tener en cuenta durante la etapa de dispersión polínica son los meteorológicos (Cap. 3).

Como apoyo a lo anterior y de acuerdo a los estudios de Michaud *et al.* (1992), un árbol "vegetativo" (con mayor proporción de ramas sin órganos reproductivos) un año, puede volverse altamente productivo (mayor proporción de ramas con flores) en los años subsiguientes. Además, dichos autores observaron una variabilidad sustancial en la repartición de los recursos a las funciones reproductivas y/o vegetativas entre los árboles que crecen en un mismo sitio y entre años consecutivos.

Si bien el inicio de la floración se registró con anterioridad en 1993, este año presentó una mayor variación intraespecífica de sus fenofases florales y una mayor producción de flores, aunque la extensión de la floración no haya sido significativamente diferente entre años a excepción de las Myrtaceae.

3. Análisis de los parámetros climáticos estacionales en relación a la fenología floral

La temperatura es uno de los factores climáticos estacionales más importantes que influye en la etapa reproductiva de las plantas (Caramiello *et al.*, 1990 y 1994; Emberlin *et al.*, 1993). En el verano los árboles producen y acumulan la mayor cantidad de fotosintatos que estarán disponibles para la reproducción en primavera (Cadman *et al.*, 1994) y hacia fines de la estación, en las anteras comienzan a formarse los granos de polen (Mandrioli, 1988; Emberlin *et al.*, 1990). El verano más cálido de 1993 podría tener influencia en la mayor producción de flores registradas y con ello, haber determinado una mayor productividad polínica en los árboles. Esto debería constatarse como diferencias interanuales en la concentración polínica atmosférica (Cap. 3).

Por otra parte, las especies arbóreas de floración invierno-primaveral, como las consideradas aquí, tienen un requerimiento de frío ya que pasan por un período de dormancia (Freguelli *et al.* 1991; Hänninen, 1990; Emberlin *et al.*, 1993). Luego de esta etapa, es necesaria la acumulación de altas temperaturas

sobre un umbral para que se inicie la descarga polínica (Seeley *et al.*, 1997; Frenguelli *et al.*, 1992). Las temperaturas en los meses previos a la antesis fueron menores en el año 1993. Las temperaturas de agosto (mes inmediatamente previo a la floración de la mayoría de las especies arbóreas) fueron levemente mayores en 1993. Esto estaría indicando mejores condiciones para el desarrollo reproductivo en ese año y explicando el adelanto de las fenofases florales.

Las altas precipitaciones del otoño de 1993 es el otro factor que favorecería la alta productividad de los árboles (Caramiello *et al.*, 1994), aunque la importancia de esta variable podría no ser determinante al no existir déficit hídrico en esta región (Burgos & Vidal, 1951). Además, las precipitaciones parecen no influir en la apertura floral como se observó en trabajos anteriores (Latorre & Bianchi, 1998) donde la máxima floración coincide con abundantes precipitaciones y mínimas concentraciones de polen. De todas maneras, y según los datos presentados aquí, la relación es contradictoria. Por otra parte, las precipitaciones sí influyen en la etapa de dispersión polínica, independientemente de la región climática (Emberlin *et al.*, 1993; Andersen, 1980 en El-Ghazaly *et al.*, 1993). En el trabajo presentado aquí, se observó que en los meses en que la mayoría de las especies están florecidas (setiembre y octubre), las precipitaciones fueron mayores en 1994. Debería entonces observarse una menor cantidad de polen en la atmósfera durante ese año. En cambio, en noviembre de ese año, las precipitaciones fueron menores y la concentración debería ser mayor respecto del año anterior en el mismo mes (Cap. 3).

Al analizar el inicio de la floración y las condiciones climáticas previas a este evento, se determinó que las especies arbóreas anemófilas parecen requerir, en principio, altas temperaturas y bajas precipitaciones previas a la etapa reproductiva para que ésta quede determinada y se inicie la apertura floral. Si las condiciones son opuestas, el inicio de la floración se retarda. Esto coincide con estudios realizados en varias ciudades europeas con largos períodos de muestreo (Spieksma *et al.*, 1995). Existen fuertes correlaciones negativas y altamente significativas entre la temperatura de los meses previos y

la fecha del inicio de la polinización. Por ello, las conclusiones son similares a las presentadas aquí, considerando a las temperaturas que anteceden la descarga polínica (y evidentemente la apertura floral) como decisivas para determinar la fecha en que se registrará el inicio del evento reproductivo. Coincidentemente Emberlin *et al.* (1993) analizando 30 años de datos de *Betula*, observaron que el comienzo más temprano del período de polinización ocurría en años donde las temperaturas de los meses previos eran significativamente mayores al promedio de los 30 años analizados.

Para *E. syedoxylon* y también *A. glutinosa*, el requerimiento térmico podría ser diferente a las demás especies ya que presentan una floración invernal. Sin embargo, resulta ambiguo el hecho de que los demás eucaliptos no hayan presentado este comportamiento de altas temperaturas previas a un inicio tardío de sus floraciones. Esto hace pensar, que las precipitaciones pueden ser más importantes que las temperaturas en estas especies de Myrtaceae. Resulta concordante para todos los eucaliptos su dependencia con las precipitaciones elevadas en el período previo a la floración para que ésta ocurra. Estudios realizados sobre distintas especies de Myrtaceae (Proença & Gibbs, 1994), han demostrado que en su mayoría comienzan a florecer en el período de transición que va de una estación húmeda a una seca, lo cual apoya lo anteriormente propuesto para esta familia.

Para el género *Salix*, la temperatura parece no ser un factor determinante del momento en que se inicia la floración. En contraposición a ello, *J. regia* podría experimentar una dependencia importante con las altas temperaturas previas a la floración dado que es una especie de floración tardía con respecto a las demás.

Finalmente, *F. americana* y *A. negundo* no tienen un requerimiento específico para florecer y éste evento ocurriría dentro de un amplio rango de temperaturas previas.

CONCLUSIONES

1. La floración de la mayoría de las especies arbóreas de Mar del Plata es de extensión media: entre 4 y 8 semanas.
2. El número de especies arbóreas en flor aumenta desde fines del invierno; las anemófilas alcanzan el máximo a principios de primavera (setiembre-octubre) y las entomófilas hacia fines de esa estación y principios del verano.
3. La alternancia de la floración entre los dos grupos de plantas con distinta estrategia reproductiva, se asocia con la estacionalidad de temperatura que existe en la región. En cambio, las precipitaciones parecen no tener influencia.
4. Las 25 especies anemófilas más importantes, muestran un patrón sigmoideo de floración entre julio y noviembre, en el cual las fenofases iniciales y finales son lentas y las ocurridas cerca del máximo de floración evolucionan rápidamente. Este patrón de desarrollo floral fue similar cada año.
5. El progreso de la floración de la "comunidad anemófila" está correlacionado significativamente con el aumento de temperatura a lo largo del período.
6. En más de la mitad de los árboles el inicio, máximo y final de la floración ocurre simultáneamente dentro del período medio de la especie. La variación interanual de cada fenofase es en general, menor a 1 semana.
7. Los taxones cuyos árboles presentaron la más alta variabilidad fueron principalmente los eucaliptos, pero también los fresnos y los olmos; todos ellos pertenecen a especies de floración temprana. Por el contrario, los árboles más homogéneos en cuanto a su comportamiento reproductivo pertenecen a los taxones *Platanus*, *Celtis*, *Liquidambar* y *Quercus*.
8. En la mayoría de las especies la floración se inicia antes en 1993 y es más variable entre especies. En general, el período de floración ese año fue más extenso, probablemente por la mayor energía asignada a esta etapa reproductiva del ciclo anual.
9. Existe una relación directa entre la duración de la floración y la variabilidad intraespecífica de las fenofases florales, especialmente en especies de floración temprana como los eucaliptos y los fresnos.
10. La mayor variabilidad intraespecífica de la floración podría estar relacionada con la estrategia reproductiva. Sin embargo, en el caso de *Acer* no se cumple

que la especie más variable sea la anemófila. El período muy extenso de vida de los árboles y la monoecia parece influir también, en la simultaneidad entre individuos durante su ciclo floral.

- 11.**La fase ascendente de la floración (desde el inicio hasta el máximo) tiene aproximadamente la misma duración que la fase descendente (desde el máximo al final): entre 2 y 3 semanas, repitiéndose año a año esta misma situación.
- 12.**En el año 1993 se registró un mayor número de flores por árbol que en 1994. Esto debería asociarse con una mayor productividad polínica durante el primer año.
- 13.**El verano de 1993 fue más cálido, con una probable mayor acumulación de fotosintatos. Los meses previos a la floración fueron más fríos, cumpliéndose el requerimiento térmico de los árboles que determina la formación de yemas florales. Justo antes de la floración, las temperaturas fueron más cálidas en 1993, condiciones favorables para la antesis. Todo esto estaría explicando el adelanto de la floración y el mayor número de flores en 1993 representando así, el año más favorable para la reproducción de los árboles.
- 14.**La suma de temperaturas desde el inicio del año hasta el inicio de la floración fue mayor en 1993, año en el cual se adelantaron las fenofases iniciales de las especies arbóreas anemófilas.
- 15.**Las precipitaciones no afectarían la floración de los árboles ni en la etapa previa ni durante su desarrollo floral.
- 16.**Sólo en el caso particular de Myrtaceae, las precipitaciones altas previas a la floración, y no las temperaturas altas previas, parecen ser importantes en determinar el inicio de la floración.
- 17.**Durante la floración de 1993, se registraron menores precipitaciones que en 1994, a excepción del mes de noviembre. Si bien esta variable no afecta la floración, sí estaría afectando la dispersión de polen una vez emitido por su efecto instantáneo sobre las partículas en suspensión. Las concentraciones de polen deberían ser mayores cuando las lluvias son menores.

Tabla 2.1: Especies arbóreas analizadas en 1993 y 1994. Se indica el número de individuos muestreados cada año y el número de individuos para los cuales se tienen registros en los dos años.

ESPECIE	1993	1994	1993-1994
<i>Acer campestre</i>	3	3	3
<i>A. negundo</i>	11	10	9
<i>A. pseudoplatanus</i>	3	3	2
<i>Alnus glutinosa</i>	1	1	1
<i>Betula pendula</i>	5	6	5
<i>Callistemon lanceolatus</i>	11	7	7
<i>Celtis australis</i>	2	2	2
<i>Corylus avellana</i>	1	3	1
<i>E. cinerea</i>	3	2	2
<i>E. globulus</i>	24	10	10
<i>E. siredoxylon</i>	1	2	1
<i>Fraxinus americana</i>	19	17	17
<i>F. excelsior</i>	20	18	17
<i>F. excelsior</i> var. <i>aurea</i>	8	6	6
<i>F. ornus</i>	6	6	6
<i>Juglans regia</i>	7	5	5
<i>Liquidambar styraciflua</i>	3	5	3
<i>Olea europaea</i>	8	4	4
<i>Platanus acerifolia</i>	7	7	7
<i>Populus x canadensis</i>	5	4	4
<i>P. canescens</i>	6	6	5
<i>Quercus ilex</i>	8	4	2
<i>Q. robur</i>	4	4	2
<i>Salix alba</i>	1	3	1
<i>S. caprea</i>	4	4	3
<i>Ulmus procera</i>	5	7	5
<i>U. pumila</i>	14	13	8

Tabla 2.2: Número de árboles para cada especie en cada una de las tres clases definidas para el **inicio** de la floración (tempranos: Te, medios: Me y tardíos: Ta), coeficiente de variación (CV), fecha más temprana (fecha Te) y más tardía (fecha Ta) en que un árbol floreció y la media de la especie (fecha Me).

ESPECIE	Te	Me* (%)	Ta	CV	Fecha Te	Fecha Ta	Fecha Me
F excelsior	93 5	9 (53)	3	7.5	30/6	10/8	18/7
	94 5	11 (65)	1	6	7/7	9/8	20/7
F americana ¹	93 4	13 (76)	4	1.6	31/8	13/9	4/9
	94 4	12 (71)	1	2.8	1/9	21/9	10/9
F aurea	93 1	6 (100)		0	12/10		12/10
	94 1	5 (83)		1.7	11/10	25/10	11/10
F ornus	93 2	5 (83)	1	1	12/10	21/10	14/10
	94 2	4 (67)		3	4/10	25/10	15/10
U pumila	93 2	8 (100)		3	3/7	19/7	5/7
	94 2	6 (75)		6	7/7	5/8	24/7
U procera ²	93 1	5 (100)		5.1	19/7	10/8	31/7
	94 1	3 (60)	1	3.1	26/7	12/8	4/8
C avellana	93						20/7
	94						23/7
A glutinosa	93						10/8
	94						11/7
S alba	93						12/8
	94						1/9
S caprea	93 1	2 (67)		1.7	16/8	23/8	21/8
	94 1	3 (100)		0	1/9		1/9
A negundo	93 2	7 (78)	2	2.3	26/8	8/9	31/8
	94 3	6 (67)	3	2.7	2/9	16/9	7/9
A campestris	93 0.5	3 (100)		0.5	14/9	20/9	19/9
	94 0	3 (100)		0			19/9
A pseudoplatanus	93 4.4	2 (100)		4.4	14/9	5/10	23/9
	94 1.9	2 (100)		1.9	19/9	26/9	23/9
P canadensis ³	93 0	4 (100)		0	3/9		3/9
	94 2	2 (50)		2.8	1/9	16/9	10/9
P canescens	93 1	4 (80)	1	2.2	31/8	13/9	5/9
	94 2	3 (60)	2	3.3	1/9	16/9	7/9
B pendula	93 1	4 (80)	1	2.7	8/9	27/9	15/9
	94 1	3 (60)	1	3.6	5/9	21/9	18/9
P acerifolia	93 0	7 (100)		0			16/9
	94 0	7 (100)		0			14/9
J regia	93 1	4 (80)		4.2	8/9	5/10	26/9
	94 1	4 (80)	1	2	19/9	1/10	23/9
C australis	93 2.3	2 (100)		2.3	13/9	21/9	17/9
	94 0	2 (100)		0			14/9
L styracifua	93 1.8	3 (100)		1.8	27/9	5/10	2/10
	94 1.1	3 (100)		1.1	21/9	26/9	23/9
Q robur	93 0	2 (100)		0			13/9
	94 0	2 (100)		0			14/9
Q ilex	93 5.1	2 (100)		5.1	29/10	8/11	3/11
	94 0	2 (100)		0			31/10
O europaea	93 2.2	3 (75)	1	2.2	1/11	19/11	10/11
	94 1.3	3 (75)	1	1.3	2/11	10/11	4/11
E. globulus	93 1	5 (71)	1	12.3	17/5	22/7	13/6
	94 2	4 (57)	1	5.2	9/6	4/7	19/6
E. cinerea	93 7.4	2 (100)		7.4	24/5	10/6	1/6
	94 0	2 (100)		0			9/6
E. syredoxyton	93						22/7
	94						16/6
C. lanceolatus	93 1.1	4 (80)	1	1.1	14/10	21/10	15/10
	94 1.3	5 (100)		1.3	25/10	1/11	28/10

* entre paréntesis se indica el porcentaje de árboles de esa categoría, respecto del total.

¹ 26/8 es la fecha más temprana de un árbol sólo muestreado en 1993

² 23/7 es la fecha más temprana de un árbol sólo muestreado en 1994

³ 31/8 es la fecha más temprana de un árbol sólo muestreado en 1993

Tabla 2.3: Número de árboles para cada especie en cada una de las tres clases definidas para el **máximo** de la floración (tempranos: Te, medios: Me y tardíos: Ta), coeficiente de variación (CV), fecha más temprana (fecha Te) y más tardía (fecha Ta) en que un árbol alcanzó el máximo y la media de la especie (fecha Me).

ESPECIE		Te	Me* (%)	Ta	CV	Fecha Te	Fecha Ta	Fecha Me
F. excelsior	93	2	13 (76)	2	3.4	29/7	31/8	16/8
	94	2	12 (71)	3	4.5	26/7	26/8	9/8
F. americana	93		13 (76)	4	1.9	13/9	27/9	17/9
	94		15 (88)	2	2.3	16/9	1/10	22/9
F. aurea	93	1	4 (67)	1	1.3	21/10	2/11	27/10
	94	2	4 (67)		1.3	1/11	10/11	6/11
F. ornus	93	1	4 (67)	1	6.1	21/10	8/12	15/11
	94		5 (83)	1	2.2	25/10	10/11	1/11
U. pumila	93	2	4 (50)	2	7.8	19/7	31/8	12/8
	94	2	5 (63)	1	1.5	12/8	23/8	17/8
U. procera	93	1	4 (80)		1.4	18/8	26/8	23/8
	94	1	4 (80)		2.2	12/8	23/8	20/8
C. avellana	93							24/8
	94							12/8
A. glutinosa	93							26/8
	94							2/9
S. alba	93							23/9
	94							16/9
S. caprea	93		2 (67)	1	3.5	3/9	18/9	8/9
	94		3 (100)		0			12/9
A. negundo	93	4	5 (56)		1.8	13/9	27/9	22/9
	94	2	6 (67)	1	1.9	16/9	1/10	23/9
A. campestris	93		2 (67)	1	1.8	2/10	12/10	2/10
	94		3 (100)		0			29/9
A. pseudoplatanus	93		2 (100)		1.5	12/10	18/10	15/10
	94		2 (100)		3.2	11/10	24/10	18/10
P. x canadensis	93		3 (75)	1	2.4	13/9	27/9	18/9
	94		4 (100)		0			21/9
P. canescens	93		4 (80)	1	3.4	13/9	5/10	19/9
	94	1	4 (80)		0.9	16/9	21/10	20/9
B. pendula	93	1	3 (60)	1	4.1	16/9	18/10	4/10
	94		4 (80)	1	3.7	21/9	18/10	1/10
P. acerifolia	93	1	6 (86)		0.7	27/9	5/10	3/10
	94	2	5 (71)		0.9	26/9	1/10	30/9
J. regia	93	1	4 (80)		1.7	1/10	12/10	10/10
	94	1	3 (60)	1	2.5	1/10	21/10	12/10
C. australis	93		2 (100)		0			27/9
	94		2 (100)		0			26/9
L. styracifua	93		3 (100)		1.4	5/10	12/10	10/10
	94		3 (100)		0			11/10
Q. robur	93		2 (100)		1	1/10	5/10	3/10
	94		2 (100)		0.8	26/9	29/9	28/9
Q. ilex	93		2 (100)		1.5	12/11	19/11	16/11
	94		2 (100)		0.8	10/11	17/11	14/11
O. europaea	93	1	3 (75)		1.3	19/11	29/11	25/11
	94		4 (100)		1.1	10/11	17/11	15/11

*entre paréntesis se indica el porcentaje de árboles de esa categoría, respecto del total

Tabla 2.4: Número de árboles para cada especie en cada una de las tres clases definidas para el **final** de la floración (tempranos: Te, medios: Me y tardíos: Ta), coeficiente de variación (CV), fecha más temprana (fecha Te) y más tardía (fecha Ta) en que un árbol finalizó de florecer y la media de la especie (fecha Me).

ESPECIE		Te	Me [*] (%)	Ta	CV	Fecha Te	Fecha Ta	Fecha Me
F excelsior	93	3	10 (59)	4	2.9	14/8	8/9	30/8
	94	3	11 (65)	3	4.5	9/8	12/9	23/8
F americana	93	4	9 (53)	4	3.3	18/9	12/10	29/9
	94	4	9 (53)	4	3.5	14/10	14/10	6/10
F aurea	93		4 (67)	2	0.6	8/11	12/11	8/11
	94		5 (83)	1	0.6	17/11	21/11	18/11
F ornus	93	1	5 (83)		2	27/12	15/1	12/1
	94	2	4 (67)		2	30/12	12/1	8/1
U pumila	93	1	7 (88)		3.9	10/8	8/9	2/9
	94		7 (88)	1	1.9	23/8	5/9	26/8
U procera	93	1	4 (80)		2.2	26/8	8/9	3/9
	94	1	4 (80)		2.6	23/8	5/9	31/8
C avellana	93							9/9
	94							5/9
A glutinosa	93							22/9
	94							26/9
S alba ¹	93							22/10
	94							1/10
S caprea	93		2 (67)	1	4.5	18/9	12/10	29/9
	94		2 (67)	1	3.9	18/10	7/11	25/10
A negundo	93		7 (78)	2	2.8	23/9	12/10	1/10
	94	3	4 (44)	2	3.3	26/9	18/10	6/10
A campestris ²	93		3 (100)		0			18/10
	94		3 (100)		0.6			22/10
A pseudoplatanus	93		2 (100)		3.6	26/10	12/11	3/11
	94		2 (100)		3.5	1/11	17/11	10/11
P.x canadensis	93	1	2 (50)	1	2.1	21/9	5/10	28/9
	94		4 (100)		0.6	26/9	29/9	27/9
P canescens	93	1	4 (80)		2.4	27/9	12/10	5/10
	94		3 (60)	2	3	29/9	14/10	5/10
B pendula ³	93	1	3 (60)	1	3.7	27/9	26/10	13/10
	94	1	3 (60)	1	4.5	26/9	18/10	14/10
P acerifolia	93		7 (100)		1.1	12/10	21/10	15/10
	94	1	6 (86)		0.9	12/10	18/10	15/10
J regia	93		3 (60)	2	2	18/10	29/10	22/10
	94		4 (80)	1	3.7	14/10	10/11	21/10
C australis	93		2 (100)		1	1/10	5/10	3/10
	94		2 (100)		0			11/10
L styracifua ⁴	93		3 (100)		0			19/10
	94		3 (100)		0			18/10
Q robur	93		2 (100)		0			18/10
	94		2 (100)		1.7	11/10	18/10	21/10
Q ilex	93		2 (100)		0			29/11
	94		2 (100)		0			7/12
O europaea	93	1	3 (75)		0.7	3/12	8/12	7/12
	94	1	3 (75)		0.9	29/11	5/12	4/12
E. globulus ⁵	93	1	6 (86)		4.8	1/10	8/11	30/10
	94	1	5 (71)	1	1.3	1/8	17/11	10/10
E. cinerea	93		2 (100)		10.8	16/9	29/10	8/10
	94		2 (100)		5.3	18/8	5/9	27/8
E. syreodoxylon	93							29/10
	94							18/10
C. lanceolatus	93	1	4 (80)		2.7	14/12	15/1	1/1
	94	1	4 (80)		1.4	29/10	10/12	8/12

* entre paréntesis se indica el porcentaje de árboles de esa categoría, respecto del total

¹ 14/10 fecha más tardía de un árbol muestreado sólo en 1994

² 24/10 fecha más tardía de un árbol muestreado sólo en 1994

³ 1/11 fecha más tardía de un árbol muestreado sólo en 1994

⁴ 18/10 y 24/10 fechas más tardías correspondientes a 1993 y 1994, respectivamente

⁵ 10/12 fecha más tardía de un árbol muestreado sólo en 1993

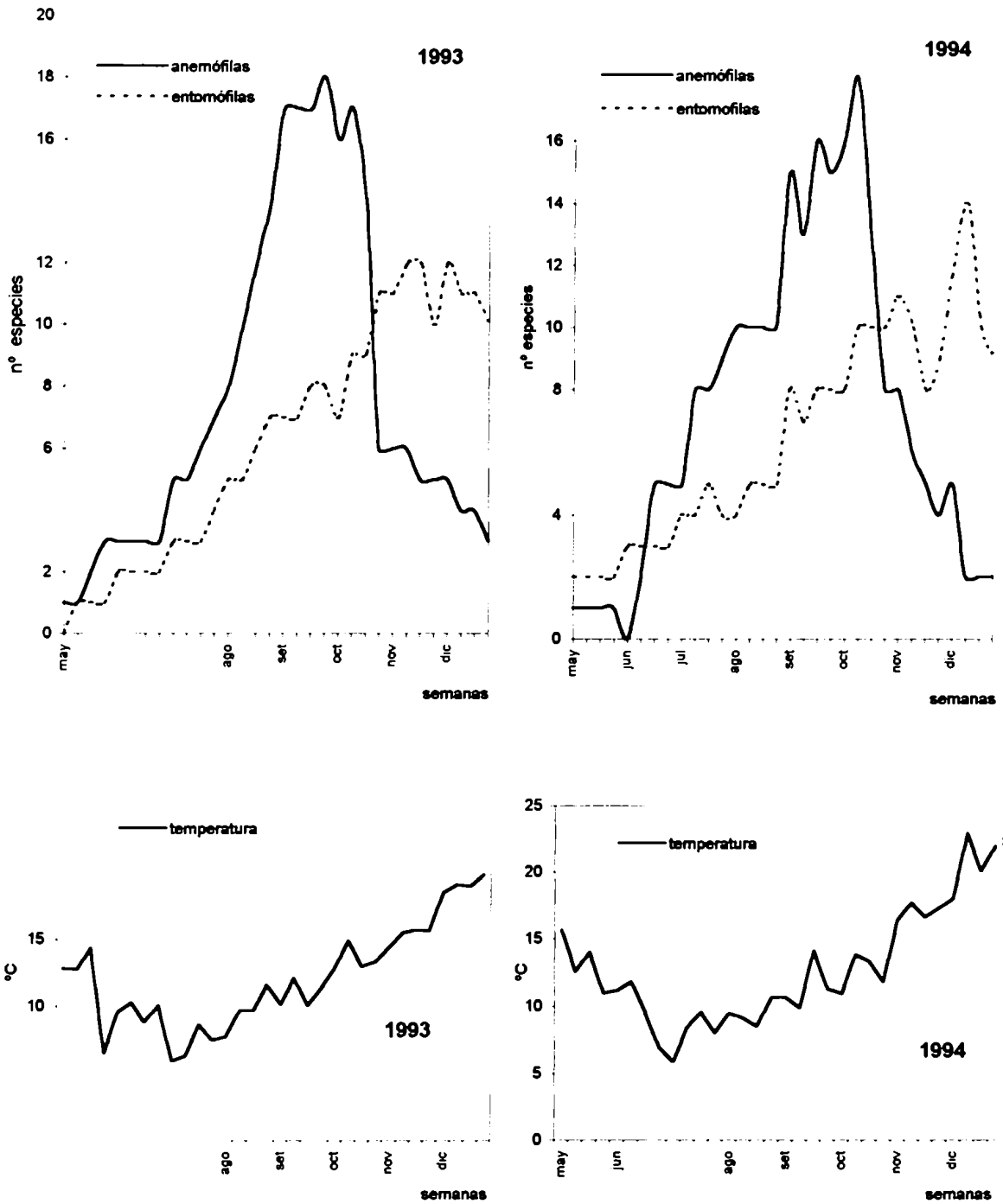


Figura 2.1: Número de especies en flor y temperaturas medias semanales durante el período mayo-diciembre.

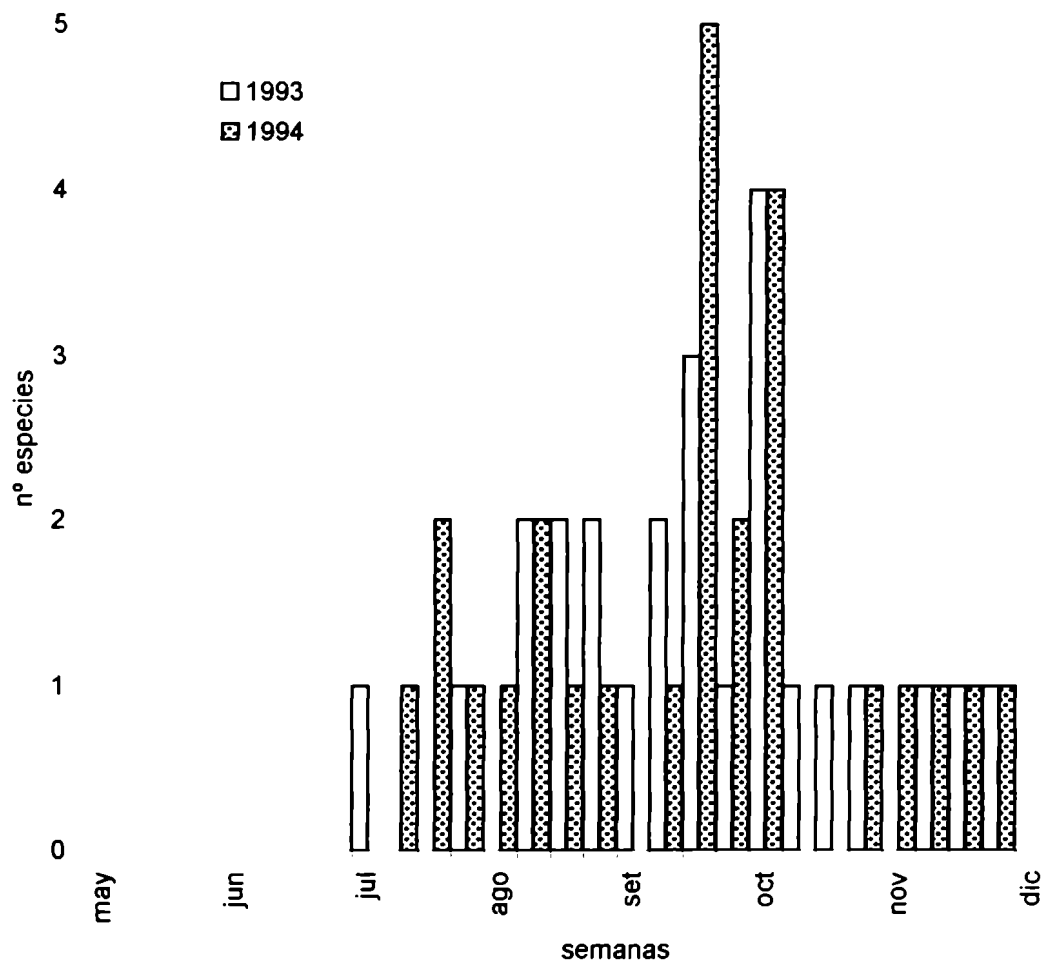


Figura 2.2: Número de especies anemófilas en su máxima floración.

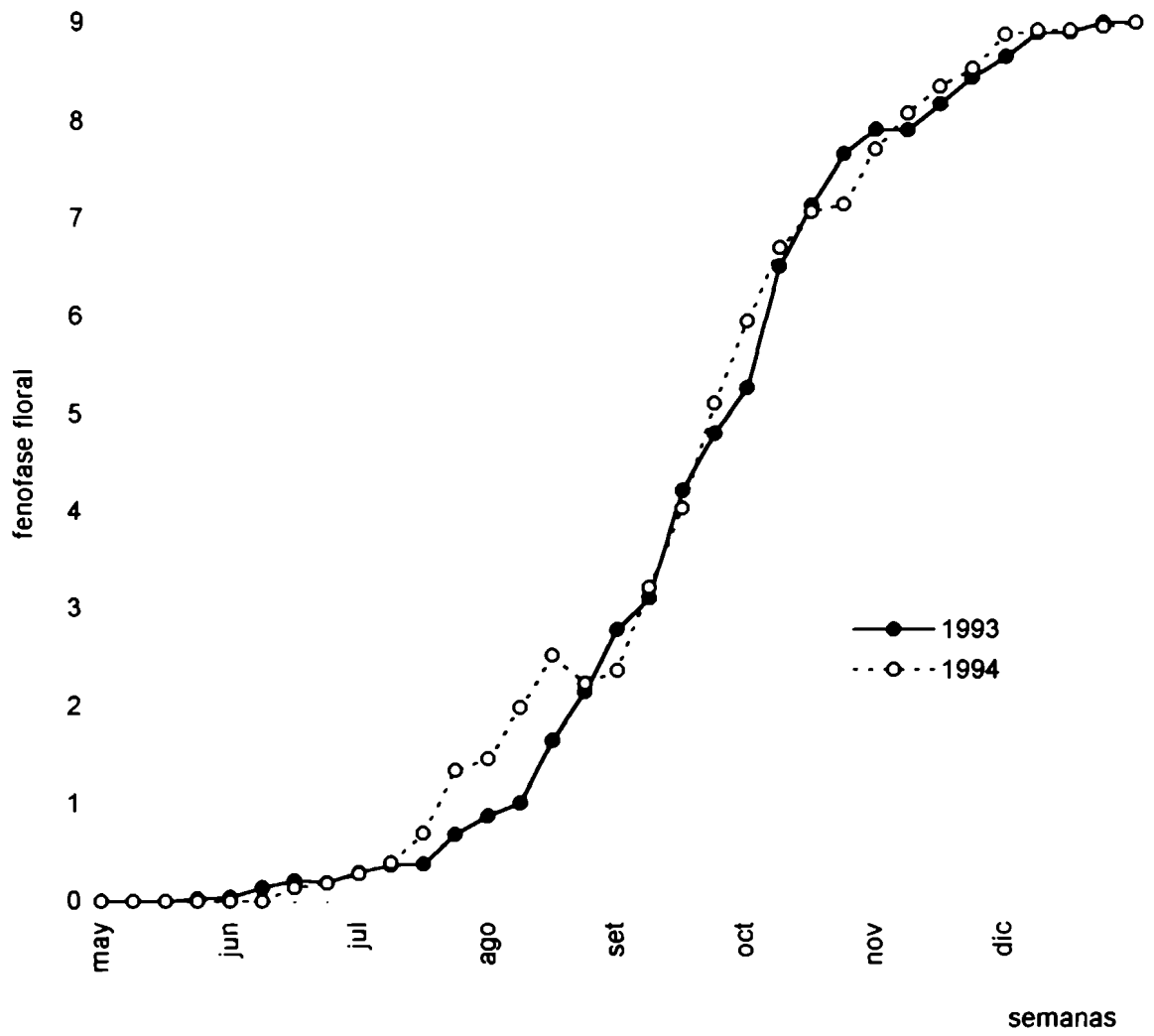


Figura 2.3: Desarrollo fenológico floral de las 25 especies anemófilas más importantes.



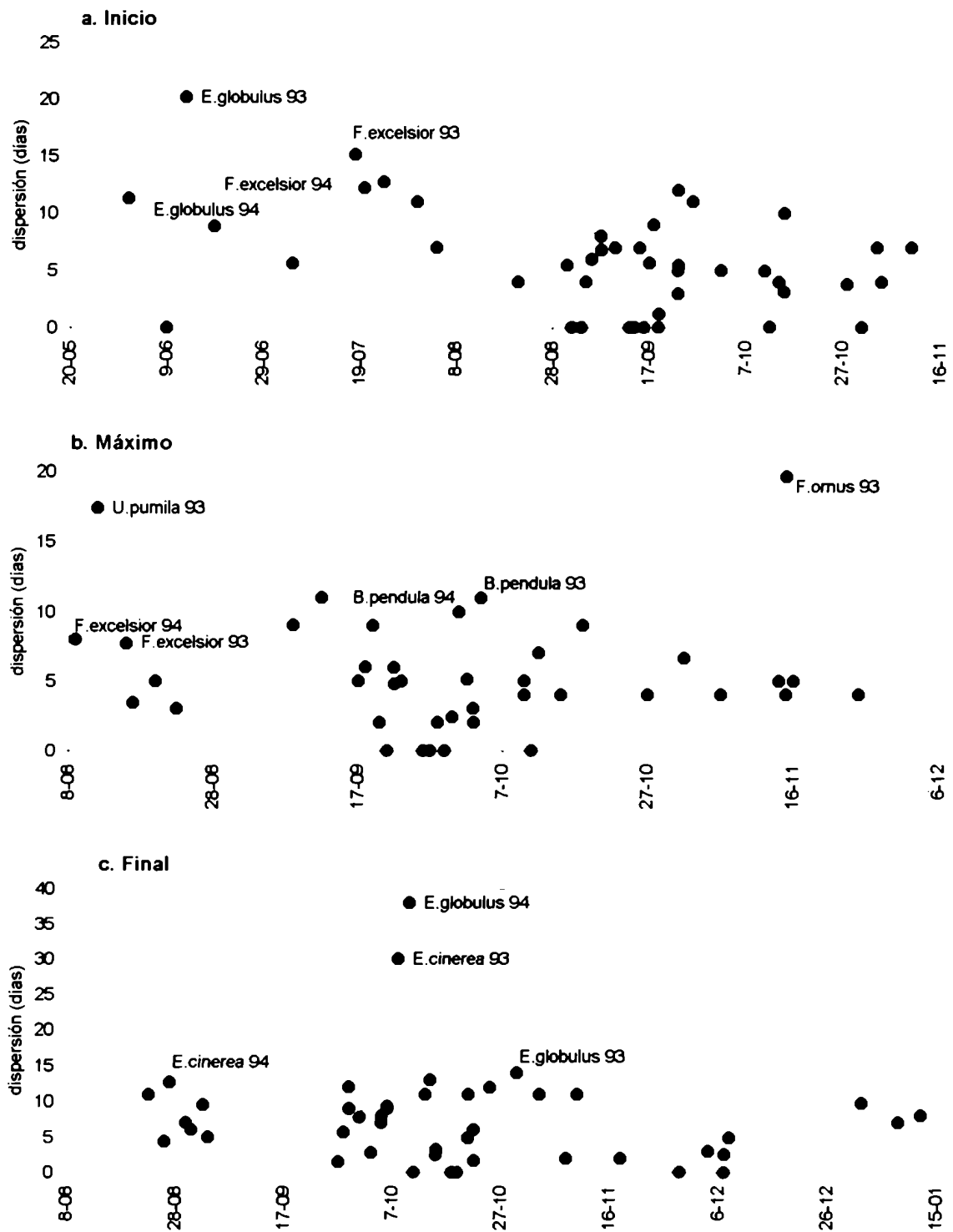


Figura 2.5: Diferencia de días entre los árboles para el inicio, máximo y final de la floración en relación a la fecha media de cada fenofase, para cada especie durante 1993 y 1994.

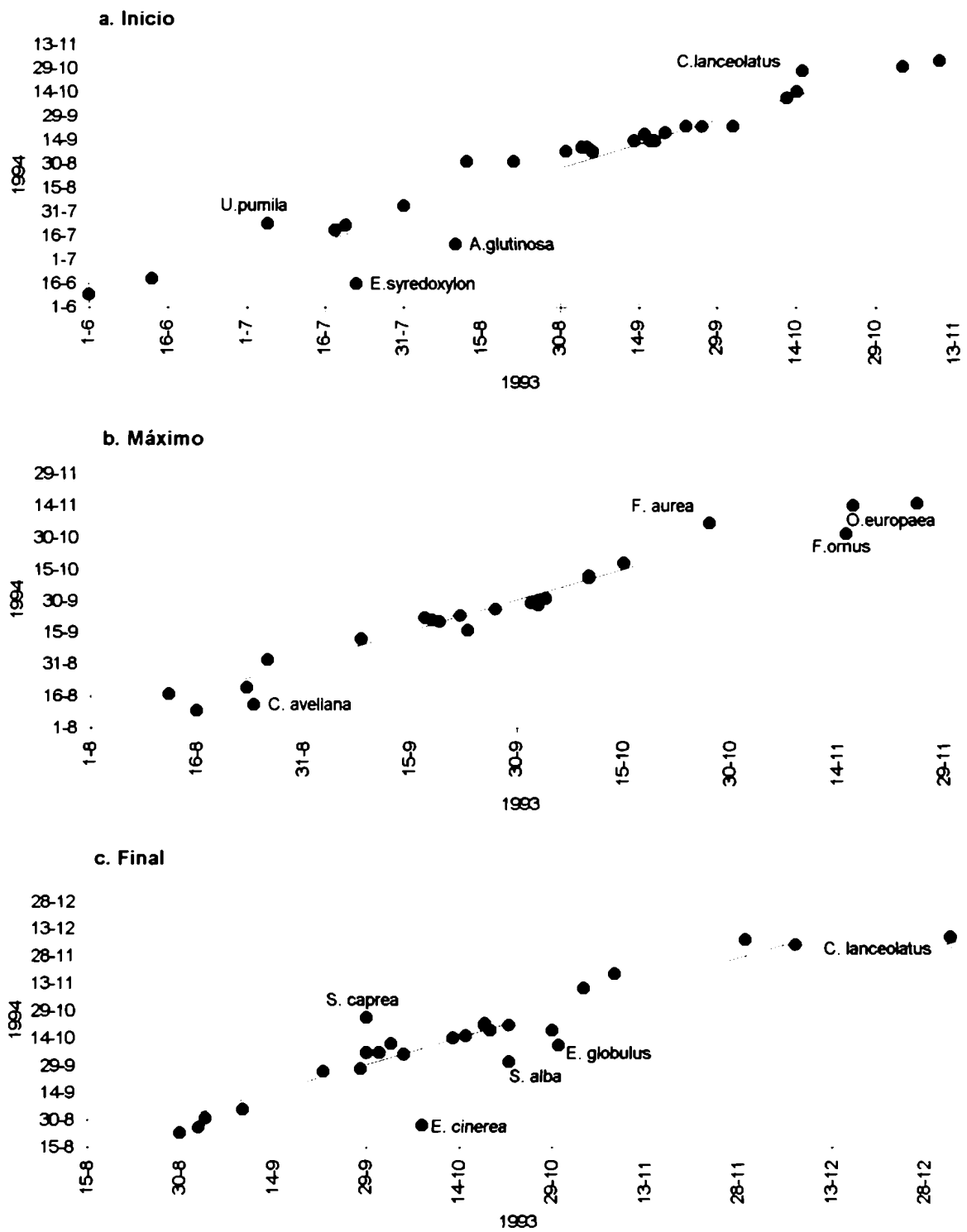


Figura 2.6: Fecha promedio del inicio, máximo y final de cada fenofase en cada año.

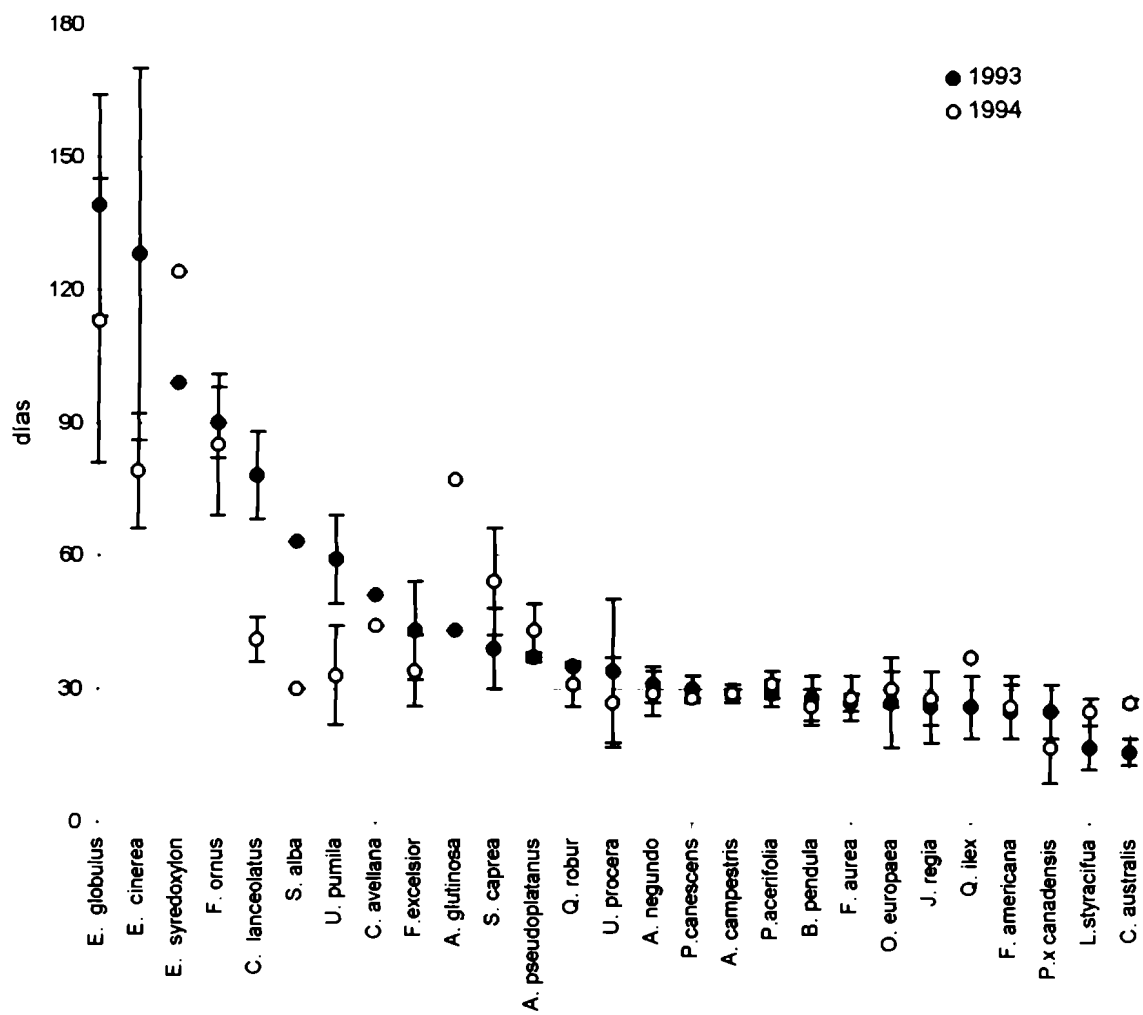


Figura 2.7: Duración promedio de la floración de cada especie en 1993 y 1994. Se indica la variación entre árboles.

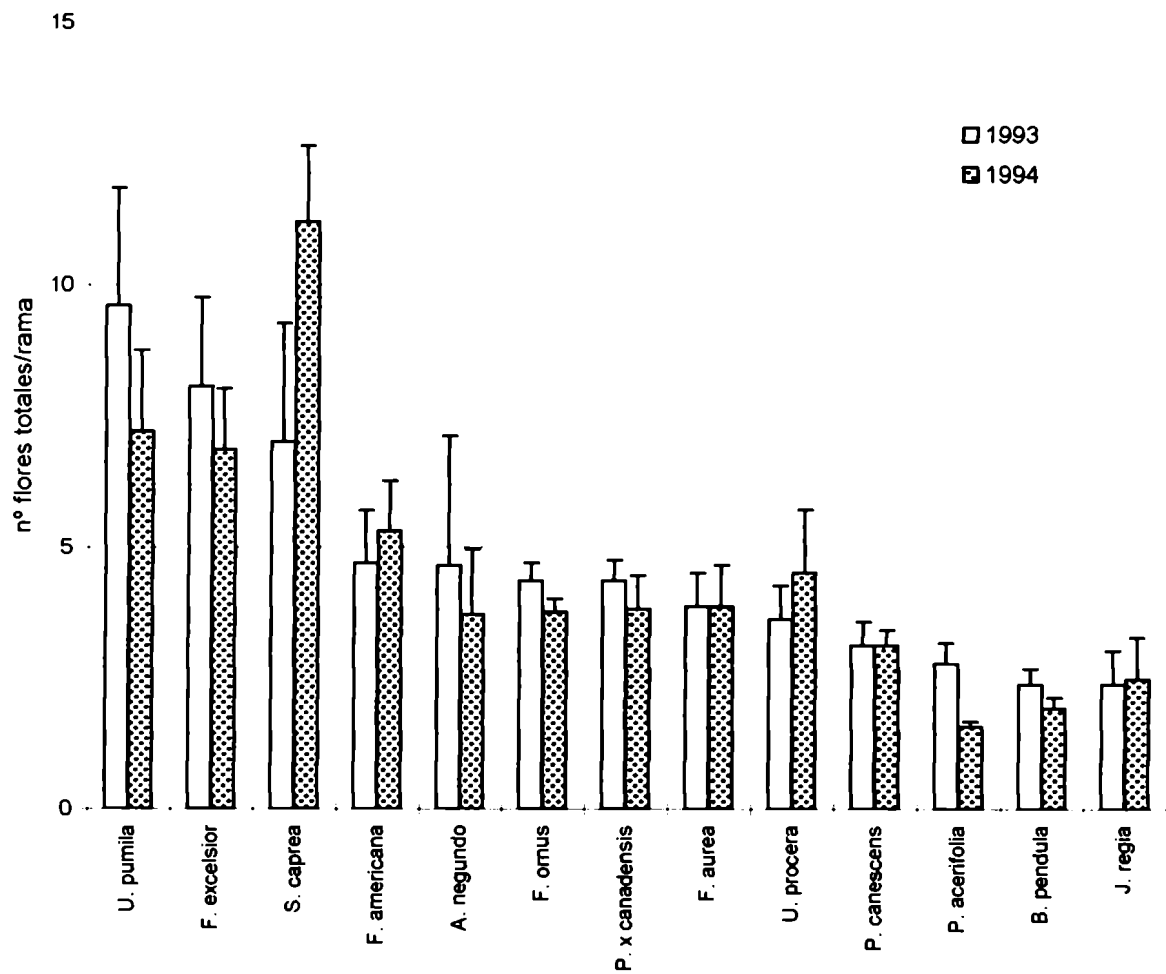


Figura 2.8: Número promedio de flores/inflorescencias totales producidas por rama en cada árbol durante el período de floración. Se indica la media de la especie y la dispersión.

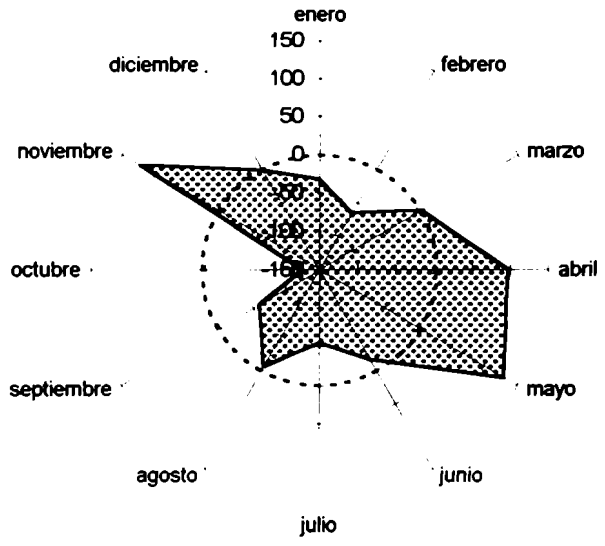
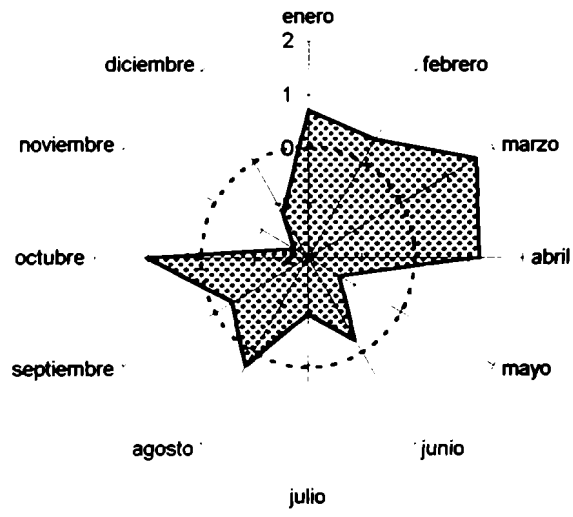


Figura 2.9: Diferencias de temperatura y precipitaciones entre 1993 y 1994. Los datos positivos indican mayores valores en 1993.

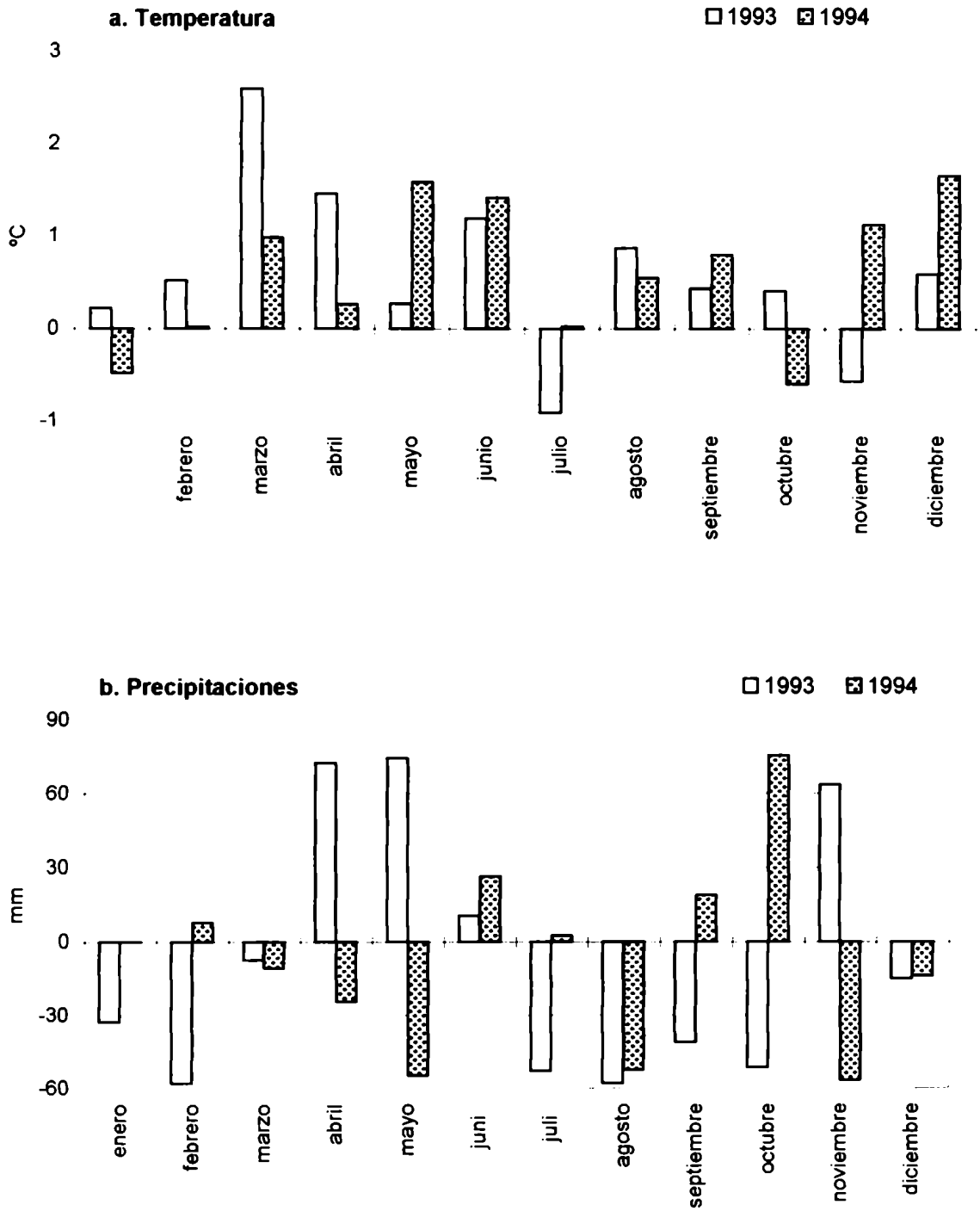


Figura 2.10: Diferencias de temperatura y precipitaciones de 1993 y 1994 respecto de las estadísticas del período 1960-1980. Los datos positivos indican mayores valores en el año analizado respecto de los últimos 30 años.

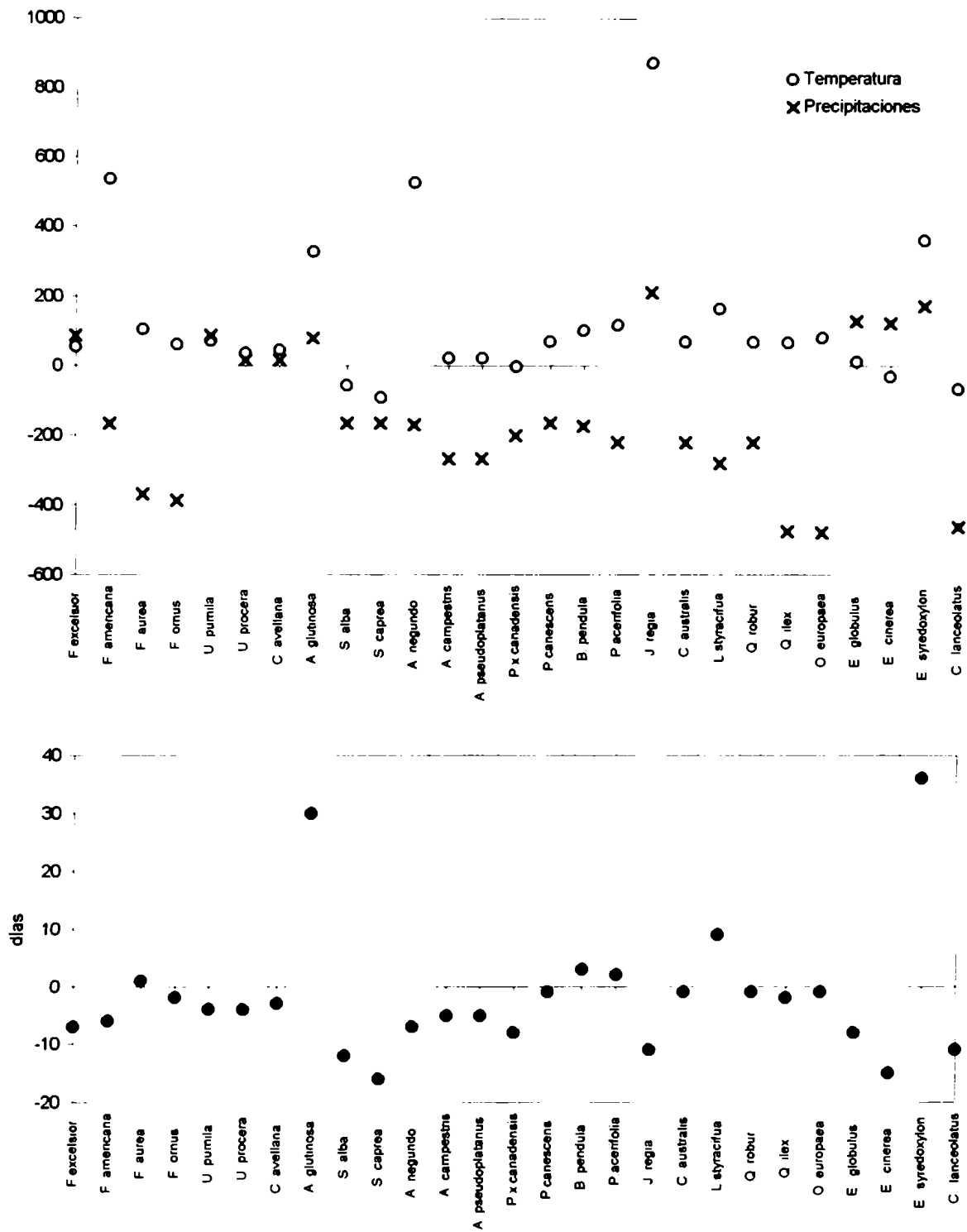
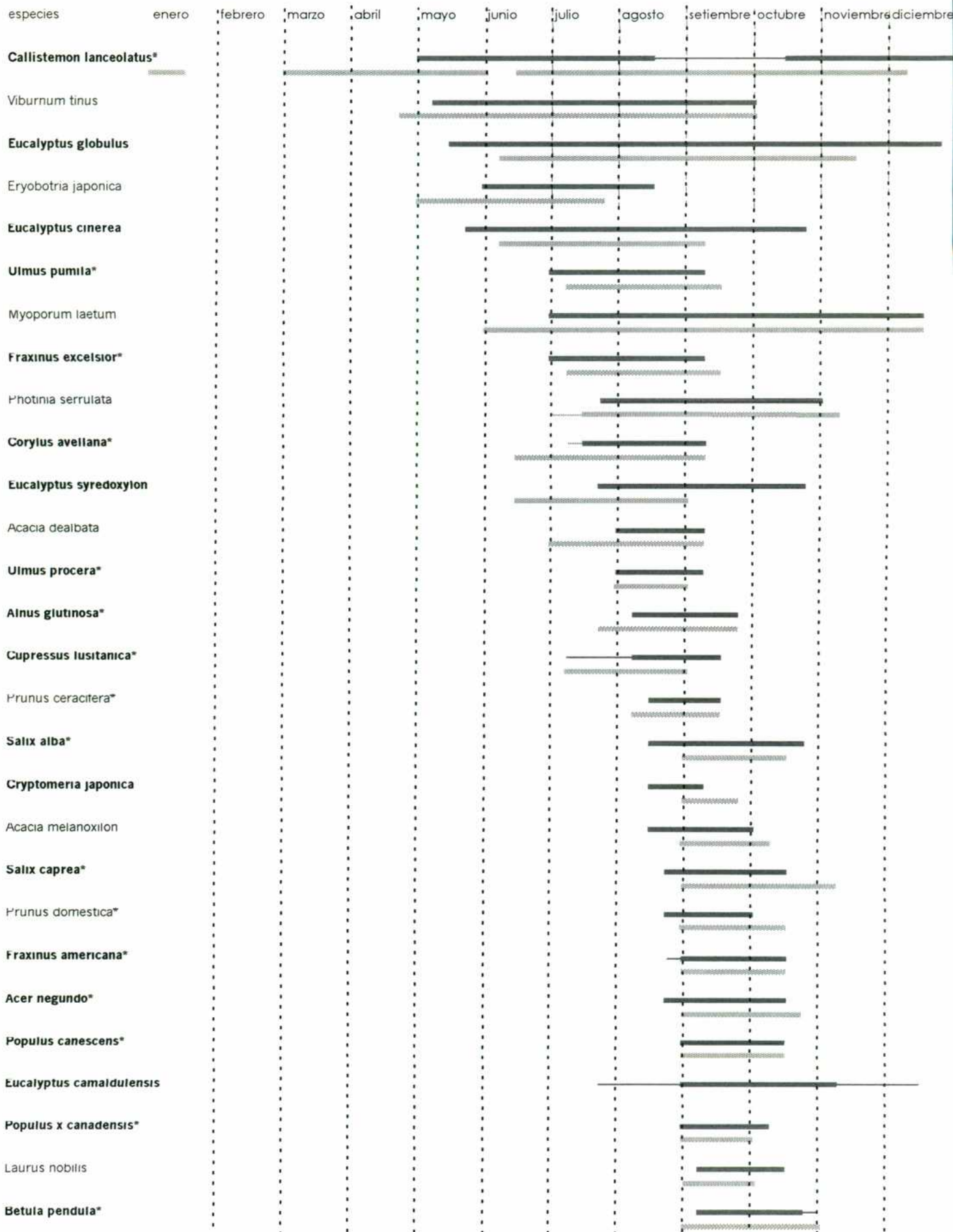
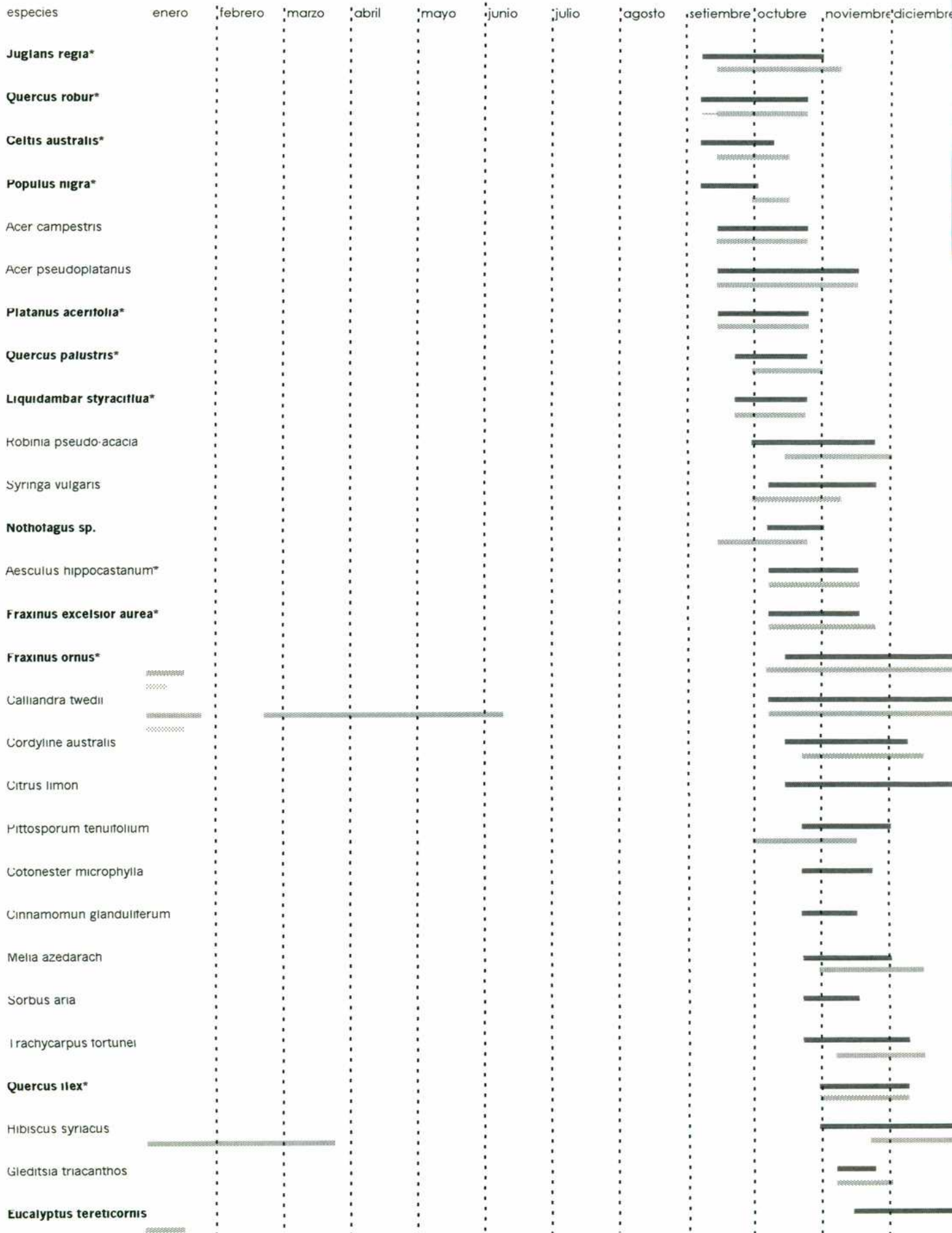


Figura 2.11: Diferencia entre años de la suma de temperaturas y precipitaciones desde 1/1 hasta el inicio de la floración de cada especie, y diferencia interanual del inicio entre 1993 y 1994. Los datos negativos indican valores menores en 1993.

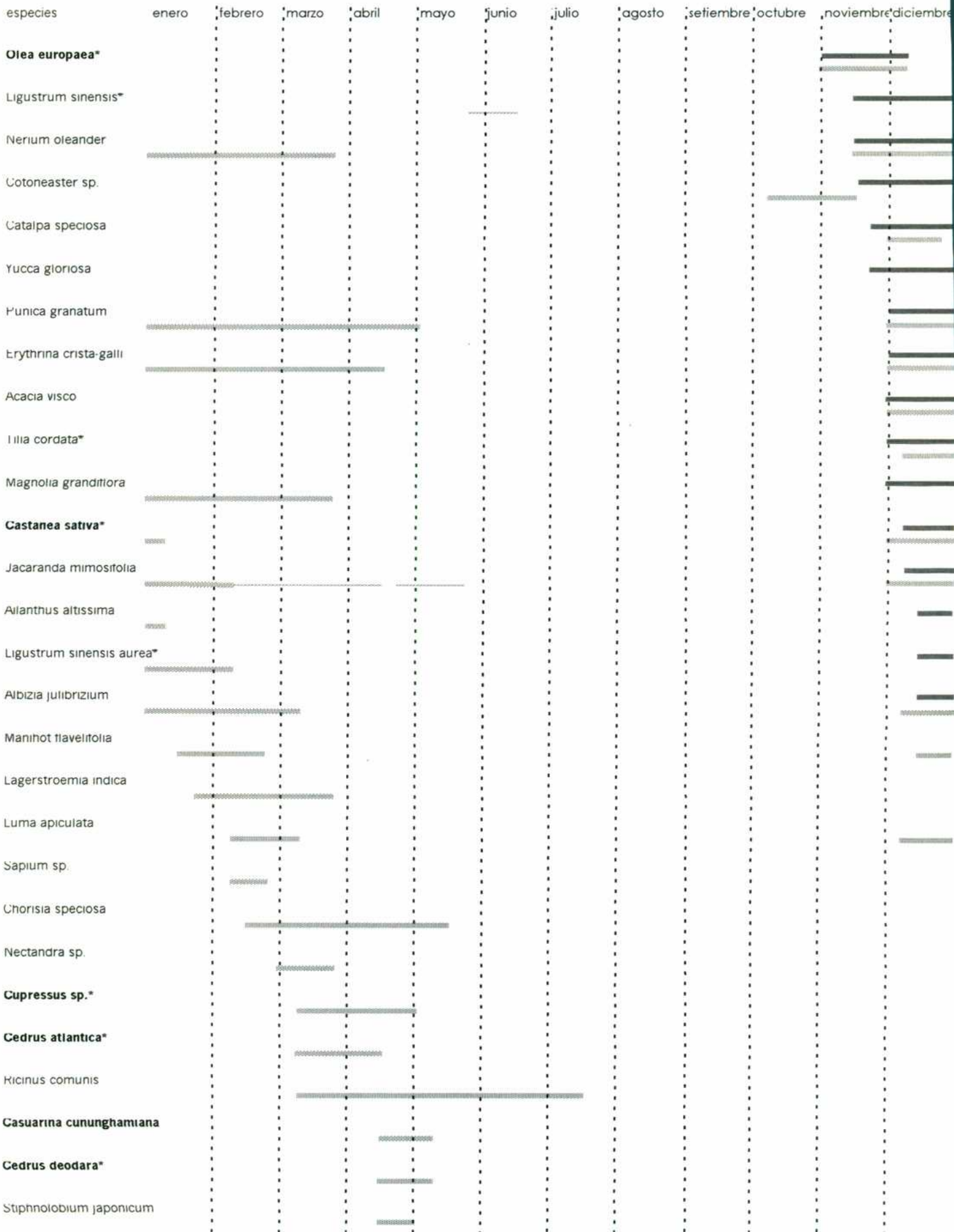
Calendario 2.1: Calendario de floración 1993-1994 de las especies arbóreas/arbustivas de Mar del Plata.
 Barras negras: 1993 y barras grises: 1994. Las especies anemófilas en negrita y las alergénicas con asterisco.



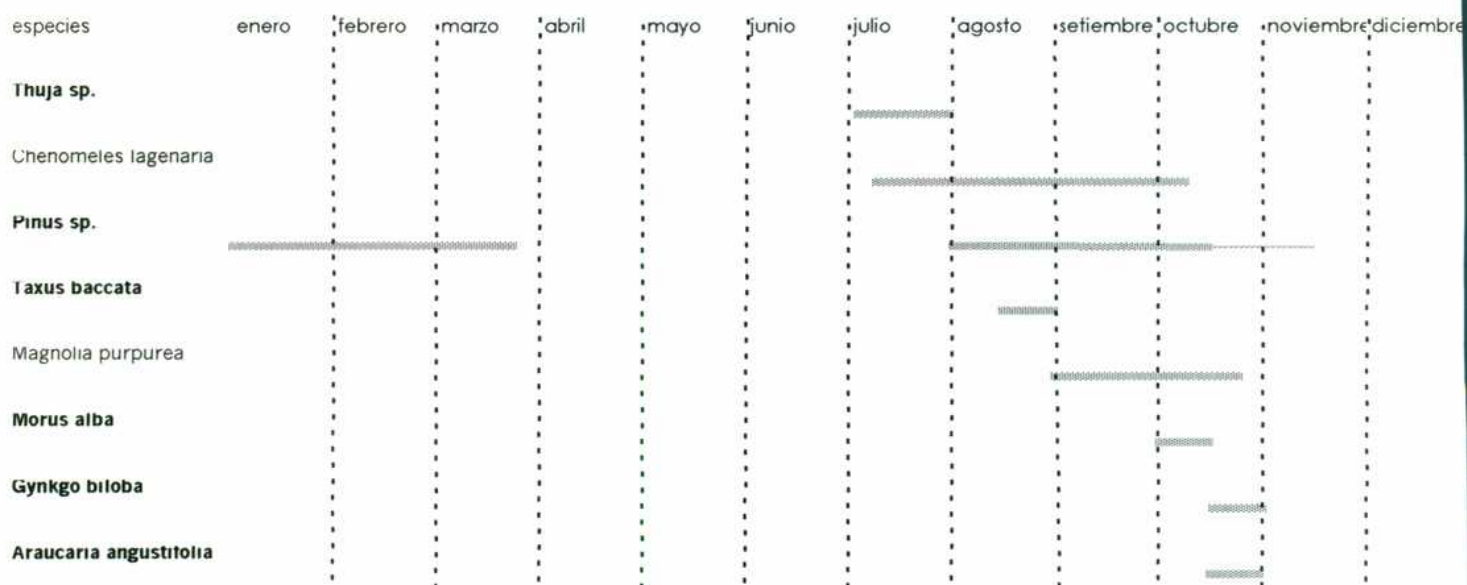
Calendario 2.1 (continuación)



Calendario 2.1 (continuación)



Calendario 2.1 (continuación)



CAPITULO 3

ANALISIS DE LA CONCENTRACION DE POLEN EN LA ATMOSFERA. RELACION CON VARIABLES METEOROLOGICAS

INTRODUCCION

Las emisiones de polen son los eventos fenológicos más importantes del reino vegetal, en el sentido de que generan y conservan la información de gran parte de la diversidad orgánica (Comtois & Sherknies, 1987). El análisis polínico resulta entonces, una herramienta adecuada para estudiar la vegetación (Prentice, 1985). Dentro de este marco, el análisis aerobiológico da una nueva perspectiva a las interrelaciones existentes entre los organismos vegetales y su ambiente, ya que refleja los cambios estructurales y fenológicos de la vegetación que lo emite. El problema es determinar cómo se expresa esta dinámica en el espectro polínico teniendo en cuenta las numerosas variables que interactúan.

La vegetación de un área presenta una enorme variabilidad en el espacio y en el tiempo, como resultado de su interdependencia con procesos ecológicos y climáticos. Por ello, los resultados del análisis aerobiológico pueden ser considerados a una escala espacial como diferencias de concentración de polen entre distintas áreas geográficas, o a una escala temporal como cambios en la concentración polínica en un punto específico a lo largo del tiempo. El componente temporal, puede analizarse en términos anuales o estacionales o períodos menores (Hicks, 1992) y será el tema central de este capítulo.

La concentración de polen en la atmósfera en cualquier momento dado, está influenciada por los factores involucrados en su producción, descarga y depositación (Li & Kendrick, 1995). Edmonds (1979) resume el proceso aerobiológico ("aerobiological pathway") en esos tres pasos secuenciales desde las fuentes hasta el impacto como: producción-emisión, dispersión y depositación. Cada paso del proceso está ligado a distintos fenómenos biológicos (microsporogénesis, floración, antesis, polinización, fertilización) los

cuales están gobernados por distintos factores meteorológicos tales como radiación solar, suma de temperaturas diarias, velocidad del viento (Comtois & Sherknies, 1987). Debe notarse que los factores atmosféricos pueden tener diferentes efectos. Por ejemplo, fuertes vientos aumentan la emisión polínica pero diluyen la concentración de polen en el aire (O'Rourke, 1989); bajas temperaturas inducen una alta producción de polen en árboles de floración temprana, y sin embargo no es una condición favorable ni para la antesis (apertura de anteras) ni para el mantenimiento de polen en suspensión.

Por un lado, la antesis está influenciada por los patrones circadianos asociados a la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. En cambio, el transporte polínico se ve afectado por fenómenos meteorológicos, rasgos aerodinámicos de los granos, características de la vegetación emisora como su distribución territorial (cercanía a la fuente colectora), y por condiciones propias del lugar como presencia de filtros (Tauber, 1967; Moseholm *et al.*, 1987).

Si se comparan los distintos estudios relacionados con el efecto de las variables atmosféricas sobre la concentración de polen en el aire, a menudo surge una aparente contradicción en los resultados obtenidos (Kawashima & Takahashi, 1995). Por ejemplo, algunos autores suponen que existe un patrón básico y regular de polen debido a la producción por parte de las plantas, mientras que otros investigadores suponen que las fluctuaciones son causadas por factores meteorológicos (Spieksma & Tonkelaar, 1986). Esta situación particular obliga a considerar separadamente el proceso de producción y el de dispersión para una interpretación correcta del proceso aerobiológico.

Existen entonces, dos tipos básicos de estudios desde los cuales puede abordarse la relación entre el polen aerotransportado y las condiciones de la atmósfera: 1) analizando el número de granos de polen producidos en un año y las condiciones climáticas del período previo a la floración y al inicio de ésta (producción-emisión), y 2) analizando el número de granos de polen diarios u horarios y las condiciones meteorológicas de ese momento (dispersión). Ambos tipos de análisis son importantes en los modelos predictivos.

La importancia de las observaciones aerobiológicas para el estudio de la etiología de las enfermedades respiratorias alérgicas (Spieksma, 1990), se debe

a que proveen los únicos indicadores útiles sobre el riesgo de exposición a los pacientes afectados por polinosis: asma y rinitis alérgica (Solomon & Mathews, 1978; Comtois *et al.*, 1989). Según las estadísticas mundiales, el polen de numerosas especies induce reacciones alérgicas en aproximadamente el 15 % de la población mundial (Zawisza *et al.*, 1993). La identificación de las especies presentes en la atmósfera y el conocimiento de sus períodos de polinización resulta útil para el estudio de la polinosis estableciendo correlaciones con los síntomas alérgicos. La severidad de estos síntomas depende de la frecuencia de la exposición y también de la concentración de polen en la atmósfera a lo largo del período de exposición (Famularo *et al.*, 1992). Por ello, la prevención de la polinosis tiene mayor eficacia si se comparan los datos clínicos, aeropolínicos y fenológicos conjuntamente. Esto puede resultar decisivo no sólo para instituir medidas terapéuticas, sino también para elaborar medidas preventivas (Ickovic *et al.*, 1989, Spieksma, 1990). Además, los datos ayudan a los inmunólogos y alergistas a desarrollar "kits" de diagnóstico. Los extractos usados para testear sujetos alérgicos deberían contener a las especies registradas a partir del muestreo del aire de la región (Hurtado & Alson, 1990). La confección de calendarios polínicos con la información retrospectiva y el pronóstico de la aparición en la atmósfera de los potenciales alérgenos son indispensables para el estudio y tratamiento terapéutico y preventivo de los pacientes afectados por polinosis.

La predicción a corto plazo de los futuros períodos de emisión polínica y de esporas es posible utilizando una metodología aerobiológica (Bianchi *et al.*, 1992). Sin embargo, para comprender el significado y ser capaz de predecir la ocurrencia de polen en la atmósfera, es crítico elucidar la relación entre el polen y los factores meteorológicos (este capítulo). Además, es necesario obtener información detallada de 1) la actividad de las fuentes emisoras y 2) la distribución de las fuentes emisoras (Puppi Branzi & Zanotti, 1989). El primer punto se desarrolló en el capítulo 2 y el segundo en el capítulo 1; determinar su representatividad en el espectro de polen atmosférico se desarrollará en el próximo capítulo.

La dispersión polínica está afectada por factores atmosféricos (Mandrioli *et al.*, 1980; Pessi & Pulkkinen, 1994). Por ello, es indispensable en principio,

conocer cómo es la influencia sobre el espectro polínico general, para poner a prueba posteriormente las siguientes hipótesis: por un lado que las condiciones de la atmósfera durante el tiempo en que los granos están en suspensión, modifican la representatividad de la vegetación de las especies emisoras en el espectro de polen atmosférico, y por otro que la falta de coincidencia entre la floración y la concentración de polen se debe a factores meteorológicos (humedad, precipitaciones, vientos) que modifican la expresión del ritmo reproductivo fenológico.

En este Capítulo se propone entonces, estudiar una de las tres etapas fundamentales de la investigación aerobiológica: el transporte de partículas biológicas (granos de polen) por las masas de aire (dispersión) desde su lugar de origen en las fuentes emisoras (vegetación). Esto permitirá conocer los cambios en la concentración de polen en la atmósfera a distintas escalas y determinar la influencia de los factores meteorológicos.

Los parámetros fundamentales para analizar este primer componente aerobiológico son las variables que gobiernan la atmósfera y que modifican la concentración del polen respecto de la cantidad emitida (temperatura, humedad relativa, vientos y precipitaciones). Ellos serán evaluados respecto del contenido de polen de la atmósfera de Mar del Plata registrado durante dos ciclos reproductivos.

Las hipótesis generales son:

La concentración de polen en la atmósfera depende de la floración de sus especies emisoras por lo cual, los rasgos que caracterizan el espectro polínico son similares a aquellos relacionados con el progreso e intensidad de la floración.

- Las variables meteorológicas influyen directamente sobre la cantidad de polen presente en la atmósfera.

En primer lugar, se caracterizará el espectro de polen de la ciudad de Mar del Plata, identificando los principales tipos polínicos presentes en la atmósfera; se analizarán las productividades polínicas expresadas como las concentraciones totales registradas en distintos años reproductivos y su variación estacional, y se investigarán las tendencias de las concentraciones de polen a lo largo del tiempo.

Se incluirá el análisis de las variaciones de concentración dentro de una misma estación y entre distintas estaciones de polinización para cada taxón, la confección del calendario polínico de la zona urbana, y la identificación de los factores atmosféricos involucrados y su efecto sobre los granos en suspensión. También, se analizarán las estaciones de polinización y el período principal para cada taxón, comparándose la duración relativa y los días de desfasaje entre un año y otro. Estas variaciones interanuales se explican en parte, analizando las condiciones meteorológico-climáticas antes y durante la emisión de polen.

MATERIALES Y METODOS

Sitio de muestreo polínico

El registro polínico atmosférico de la ciudad de Mar del Plata, Argentina (Lat. 38°03'S Long. 57°33'O), se obtuvo por medio de un muestreador aerobiológico, ubicado a 15 metros de altura, instalado en una de las terrazas del edificio correspondiente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Complejo Universitario de la Universidad Nacional de Mar del Plata). Este sitio de muestreo polínico se ubica en el centro del área donde fue analizada detalladamente la vegetación urbana (Cap. 1).

Características del muestreador

El aparato captador de partículas aerobiológicas utilizado es de tipo continuo, volumétrico e isocinético (Foto 3.1). Este muestreador fabricado por Burkard Ltd. (1984), realiza un muestreo continuo ya que captura partículas ininterrumpidamente; es volumétrico porque las partículas que impactan están contenidas en un volumen de aire conocido; además, es isocinético ya que la abertura del muestreador por donde se aspira el aire se orienta de acuerdo a la dirección del viento que esté soplando por medio de una veleta. Se basa en la técnica de Hirst (1952), la cual es usada desde hace más de 20 años por médicos alergistas en Suiza, Italia, Austria, Holanda y Estados Unidos, para el diagnóstico y tratamiento de la polinosis. Provee el marco experimental adecuado para abordar el estudio de los procesos de emisión - dispersión - depositación polínica. Además, puede ser utilizado para cualquier otro tipo de estudio que requiera el conocimiento del comportamiento de partículas (tanto

orgánicas como inorgánicas) en suspensión, ya que todas ellas quedan adheridas a la cinta captadora de este muestreador. Según experimentos realizados en túnel de viento a velocidades de viento normales, la eficiencia colectora del muestreador Burkard varía entre 60% (para partículas de polvo) y 100% (para partículas de entre 10 y 40 μ de tamaño, que es rango en el cual se encuentran los granos de polen más comunmente hallados en suspensión).

El muestreador consta básicamente de una bomba aspirante que genera un flujo de aire de 10 litros por minuto que impacta sobre una cinta con propiedades adhesivas, sujeta a un tambor que gira a una velocidad constante, dando una vuelta completa por semana. La rotación de la superficie adherente a velocidad constante (2 mm por hora), permite detectar el momento de captura del material colectado. Las propiedades adhesivas de la cinta se obtienen mediante una mezcla de parafina, vaselina y tolueno. La cinta es extraída del tambor y fraccionada en tramos de 48 mm, que corresponden a intervalos de 24 horas. Cada tramo es montado sobre un portaobjetos en una solución fenicada de alcohol polivinílico (gelvatol) y glicerol coloreado con fucsina para su posterior análisis microscópico (Bianchi, 1992).

Obtención de las muestras

Previa tinción y montaje, las muestras se observan directamente al microscopio óptico. Así, todos los granos que se determinan y recuentan, tienen contenido celular y están fijos en los preparados. La particularidad de este tipo de muestreo, hace que la identificación de las especies o aún géneros resulte más dificultosa que si los granos estuvieran acetolizados. Por ello, en muchos de los casos los granos se agrupan según su tipo morfológico en familias o en géneros. En los casos en que se ha determinado a nivel de especie se debió a la comparación confirmativa con los preparados de referencia de las especies emisoras.

Los tipos polínicos también pueden agruparse según la forma de vida de sus plantas. En el caso del taxón Papilionoideae (Fam. Fabaceae) se consideró como herbáceo sólo a los fines prácticos, teniendo en cuenta que su presencia en la vegetación es más abundante en los terrenos linderos a la vía del ferrocarril próximos al muestreador, como malezas o vegetación espontánea, que en las calles o parques de la ciudad como árboles ornamentales (Cap. 1). De todas

formas, debe contemplarse la posibilidad de que puede haber representación de *Stiphnolobium japonica* y de *Gleditsia triacanthos* que son árboles. Por otra parte, *Corylus* y *Casuarina* se unificaron como un taxón debido a la dificultad de diferenciar ambos tipos polínicos. Sin embargo, sus períodos de floración no se superponen (Cap. 2), por lo que es posible atribuir a uno u otro el polen registrado.

Palinoteca de referencia

Se confeccionaron preparados de referencia de granos polen con contenido celular, aplicando básicamente la técnica de Woodehouse (1972) para disponer de material comparable al captado por el muestreador. El material fresco para la obtención de dichos preparados, fue recolectado directamente de la vegetación urbana.

Recuento microscópico

Se realizaron recuentos horarios, sobre transectas perpendiculares a la dirección de giro del tambor (en los preparados: siguiendo el eje menor del portaobjetos). Cada transecta tiene la extensión del ancho de la cinta de muestreo y la amplitud del campo visual. Se considera que el material contenido en ella es depositado sincrónicamente. El recuento microscópico se realizó con una magnificación final de 200x, o sea, que el ancho de la transecta es de 0.9 mm, con lo cual el muestreo efectivo por transecta es de 27 minutos.

Se analizaron 12 transectas por día (una cada dos horas pares), las que se denominaron: H2, H4, H6, H8, H10, H12, H14, H16, H18, H20, H22 y H24. Con esta intensidad de muestreo, se obtiene una estimación insesgada de la media diaria y da un patrón general de la variación diaria (Käpylä y Pentinen, 1981).

La identificación de los tipos polínicos se realizó consultando bibliografía específica (Kapp, 1969; Erdtman, 1971; Heusser, 1971; Bassett *et al.*, 1978; Markgraf y D'Antoni, 1978; Moore y Webb, 1978; Moore *et al.*, 1991) y material de referencia.

Tratamiento numérico de los recuentos

Los resultados del análisis polínico se expresan en función del volumen de aire aspirado por el muestreador. El cálculo del número de granos de polen registrados por unidad de tiempo y de volumen de aire, se realizó según el modelo propuesto por O'Rourke (1986):

$$C_p = \frac{\text{\# granos de polen recontados}}{(\text{\# transectas} \times \text{tasa de flujo} \times \text{\# min/transecta})}$$

C_p es la concentración de polen (granos por metro cúbico de aire) obtenida a una tasa de flujo de 10 litros por minuto, y a una velocidad de giro del tambor (velocidad de muestreo) de 2 mm por hora.

Las concentraciones polínicas se estimaron para distintos intervalos:

a. Concentración horaria:

$$C_h = k \times S_p$$

k es una constante que tiene un valor de 3.7, S_p (suma polínica) es el número de granos de polen recontados en una transecta.

b. Concentración diaria:

$$h=12 \\ C_d = \sum_{h=1} C_h$$

h es cada una de las horas en que se contaron granos de polen.

c. Concentración media diaria:

$$C_{md} = 1/12 \times C_d$$

d. Concentración anual:

$$C_a = \sum_{d=1}^n C_{md}$$

d son los días en los que se registran granos de polen durante el año.

Estos datos pueden expresarse en función del polen total, sin discriminar taxones o tipos polínicos, en función de grupos de taxones o de taxones, de acuerdo con los análisis realizados. Los datos son almacenados en bases de datos para el tratamiento estadístico posterior.

Período de muestreo

El polen presente en la atmósfera de la ciudad de Mar del Plata, se analizó durante 2 años, entre diciembre de 1992 y noviembre de 1993, y entre marzo de 1994 y febrero de 1995. Los meses de diciembre 1993 a febrero de 1994 no

fueron monitoreados debido a fallas en el motor del muestreador de polen. Es por ello que sólo los veranos no son consecutivos. Además, existen unos pocos días en que no se registró polen, debido también a problemas mecánicos en el muestreador y que corresponden a la última semana de julio de 1993, los últimos 5 días de noviembre de 1993, y la primera semana de agosto en 1994.

Análisis de los datos de polen

Se analizaron las variaciones interanuales en diversidad y concentración de los tipos polínicos, mediante distintas técnicas de estadística básica. También, se describió la variación del polen a lo largo del tiempo y se evaluaron las tendencias de las curvas polínicas individuales y del espectro en general.

Se confeccionó un calendario polínico con los datos medios de concentración de los dos años, con lo cual la precisión en la caracterización de la aeroflora y su dinámica, aumenta considerablemente. Los tipos polínicos considerados fueron los más importantes del espectro general y los que tuvieron un interés especial fueron los que poseen características alergénicas. Se utilizó como dato básico para su construcción, la suma semanal de la concentración media diaria.

Se analizaron las estaciones polínicas (o períodos de polinización) y el período principal de polen. El inicio y el final de la estación polínica para cada taxón, fue considerado como el primer y el último día en que se registró al menos un grano de polen (Cadman, 1990); el período principal de polen se definió como el período en el cual se registró entre el 5% y el 95% del polen anual (Nilsson & Persson, 1981). Además, se comparó la duración del polen en la atmósfera, la abundancia de granos por metro cúbico de aire de cada taxón y los días en que comienza y finaliza el registro de polen (desfasaje) entre años.

Para analizar la distribución de polen a lo largo del día, se utilizó el índice de distribución intradiurna (IDI) propuesto por Trigo *et al.* (1997). Este índice hace posible las comparaciones independientemente de la escala de tiempo usada, pudiéndose aplicar a distintos tipos polínicos, en distintos años, y en distintas áreas. El IDI se calcula de la siguiente manera:

$$IDI=(M-m)/T$$

donde M es el valor máximo obtenido en un cierto intervalo (en este caso horario), m es el mínimo y T el total. De esta manera, valores altos (>0.20)

indican un pico de concentración máxima muy pronunciado, valores entre 0.10 y 0.20 corresponden a polen con un pico no muy pronunciado, y por debajo de 0.10, indica curvas muy aplastadas. Este último caso, y cuando se analiza el IDI para cada taxón en particular, puede ser indicativo de polen transportado desde largas distancias o de un taxón que incluye a varias especies.

Se calcularon coeficientes de correlación no paramétrica (Spearman) y test de Student para evaluar diferencias entre medias muestrales (Sokal & Rohlf, 1979).

Variables meteorológicas

Los datos meteorológicos corresponden al período de muestreo de los dos años de polen, se obtuvieron con la estación meteorológica semiautomática propia ubicada junto al muestreador aerobiológico (UNMDP) (Foto 3.2). Con ella, se obtuvo un registro horario de las siguientes variables meteorológicas: temperatura de termómetro seco, humedad relativa y velocidad y dirección de vientos. Las precipitaciones fueron proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional a partir de los datos de la estación Mar del Plata Aero ubicada en el aeropuerto local. Se utilizaron datos estadísticos del período 1960-1980 obtenidos también por el SMN. Los datos fueron almacenados en bases de datos para su posterior tratamiento y análisis.

La clasificación climática de la región es tipo subhúmedo-húmedo mesotermal con escasa o nula deficiencia de agua (Burgos & Vidal, 1951). Sin embargo, la urbanización genera un microclima local que determina modificaciones tanto en los períodos de floración como en la forma de las curvas aerobiológicas (Rizzi Longo y Cristofolini, 1987). Es muy conocido el efecto de isla de calor que ocurre dentro de las ciudades y las modificaciones en la velocidad y dirección de los vientos debido a la "rugosidad" de las ciudades por su edificación. Esto hace de suma importancia el contar con datos precisos del sitio exacto donde se realiza el muestreo de polen como los utilizados en este trabajo.

Los datos de los últimos 50 años, indican que para la zona, la temperatura media anual es de 13.7°C, la velocidad del viento de 13 km/h, la humedad relativa de 78% y las precipitaciones de 784 mm por año. No se observa predominio considerable de ninguno de los puntos cardinales en la

dirección del viento; la rosa de los vientos es bastante homogénea aunque podrían existir diferencias estacionales.

Análisis de los datos polínicos y meteorológicos conjuntamente

En principio, se propuso detectar si las diferencias en los parámetros atmosféricos en las distintas escalas de análisis (diaria, estacional e interanual) se correlacionan con las variaciones de la concentración de polen en la atmósfera. Se utilizaron técnicas estadísticas básica y univariada: tests de comparación de medias y de varianzas, análisis de correlación lineal; y multivariadas: análisis de regresión lineal múltiple en la modalidad "stepwise" (Sokal y Rohlf, 1979) y análisis de agrupamiento (método Ward y distancia euclídea al cuadrado), aplicadas a los datos de polen y datos meteorológicos conjuntamente. Con ello se analizó el comportamiento, las interrelaciones y la variabilidad a lo largo del año, del polen y de los factores que influyen en su transporte por la atmósfera.

RESULTADOS

Características generales del polen atmosférico

Durante el período de 2 años de muestreo atmosférico de la ciudad de Mar del Plata, se registraron 85 tipos polínicos (53 pertenecientes a árboles y 32 a hierbas) de los cuales 60 se encontraron en los dos años (Tabla 3.1). En 1992/93 se determinaron además, 9 tipos polínicos exclusivos y en 1994/95: 16. Con excepción de *Gynkgo* (con un total de 12 gr/m³ registrados en 16 días), todos los demás tipos exclusivos de un año se encontraron en muy baja concentración y frecuencia (en la mayoría se observó un sólo grano).

La concentración polínica total fue mayor durante el período 1992/93 con 27563 gr/m³ respecto del período 1994/95, en el cual se registraron 13676 gr/m³. Sin embargo, el 75% y el 54% en cada año pertenece al taxón Cupresaceae y está presente en el 64% y en el 44% de los días del año. El máximo anual de la concentración total se corresponde con el máximo de Cupresaceae que ocurrió el 22/8/93 con 4968 gr/m³ y el 21/8/94 con 1095 gr/m³. En el mes de agosto la proporción de Cupresaceae representó el 96% y

el 94% del PT mensual en 1993 y 1994, respectivamente. Esta extremadamente alta concentración de Cupresaceae (especialmente en 1993) oscurece la descripción del patrón polínico general de la atmósfera de Mar del Plata (Latorre, 1993) y por ello, se lo excluyó de los análisis.

De la concentración total de polen (sin sumar a Cupresaceae), sólo el 1.5% en el primer período y 1% en el segundo correspondió a tipos polínicos que no pudieron ser identificados (indeterminados) o que fue imposible identificar (indeterminables), y que tampoco se incluyeron en los análisis.

De acuerdo con dichos ajustes, la concentración del polen total (PT) disminuye notoriamente y además, se reduce la variación interanual que resulta ahora en sólo 11% menos en 1994/95 respecto a la concentración de 1992/93. Los valores finales del PT en cada año son: 6927 gr/m³ y 6149 gr/m³ en 1992/93 y 1994/95, respectivamente.

Patrón anual del polen atmosférico

El patrón anual del PT fue similar a lo largo de los dos años, observándose una correlación significativa entre los totales mensuales ($r_s=0.80$, $p=0.0016$). Las menores concentraciones ocurren entre mayo y julio (menos del 5% del total anual), aunque entre enero y abril el porcentaje de polen registrado no supera el 25%. Las máximas concentraciones ocurren en los dos años entre agosto y diciembre (con más del 70% del polen anual), habiéndose registrado el máximo de 1993 en setiembre y el de 1994 en noviembre (con 25% del PT anual en cada uno de estos meses) (Fig. 3.1).

Se observaron algunas diferencias entre años en la concentración durante el período agosto-noviembre. Sin embargo, la diferencia más importante (fuera del intervalo de confianza del 95%) se registró en noviembre siendo la concentración de 1994, 4 veces mayor a la concentración del mismo mes en 1993. Además, debe notarse que la diferencia en noviembre es de sentido opuesto a la diferencia entre años de los meses agosto, setiembre y octubre en los cuales la concentración de 1993 fue mayor a la de 1994 (Fig. 3.1).

El espectro de polen puede dividirse de acuerdo a su composición en los dos grandes grupos de tipos polínicos: polen arbóreo (PA) y polen herbáceo o no

arbóreo (PNA), considerando que los requerimientos fisiológicos de ambas formas de vida son diferentes y que la diferencia relativa de la altura de la fuente emisora está relacionada con la dispersión de los granos emitidos. El 61% del PT anual en 1992/93 y el 49% en 1994/95 correspondió a PA. Los porcentajes de cada grupo polínico indican que el espectro anual es compartido por ambos, en proporciones relativamente similares en los dos años. A pesar de ello, debe notarse que durante 1992/93 se registraron 1200 gr/m³ más de PA que en 1994/95; contrariamente la diferencia entre años del PNA, aunque menor, fue de sentido opuesto ya que se registró 412 gr/m³ más en 1994/95. En general, el PA domina la atmósfera en primavera y el PNA en verano (Tabla 3.2).

Si bien la concentración de PT alcanzó su máximo valor entre agosto y diciembre, la composición de tipos polínicos en este período muestra un patrón sucesivo de dominancia entre PA y PNA. De agosto a noviembre se registró en los dos años alrededor del 80% del PA anual, y entre noviembre y marzo alrededor de 90% del PNA total del año. Durante los meses de bajo aporte de PA (diciembre a julio), sólo se observó un pequeño aumento en el mes de abril (Fig. 3.2).

Las diferencias mayores que fueron registradas para el mes de noviembre, son atribuibles tanto al PA como al PNA. La concentración de este mes fue mayor en 1994 (500 gr/m³ más de PA y 600 gr/m³ más de PNA). Las diferencias de sentido contrario (mayores concentraciones en 1993) que ocurrieron entre agosto y octubre, son atribuibles sólo al PA del cual se registraron únicamente en setiembre 736 gr/m³ más en el primer año analizado (Fig. 3.2).

Patrón diario del polen atmosférico

El patrón diario del PT también fue similar cada año con una correlación altamente positiva y significativa entre las concentraciones registradas entre años en cada intervalo de dos horas ($r_s=0.94$, $p=0.000007$). El máximo ocurre a la H10, reuniendo el 13% y 14% del total diario de cada período analizado. La mayor cantidad de polen en la atmósfera se concentra entre la H10 y la H16 (50% del total diario a lo largo del año) (Fig. 3.3). El índice de distribución diaria (IDI) promedio fue de 0.122 (entre 0.098 y 0.146), indicando que no existe un

máximo de concentración muy pronunciado a lo largo del día. Por otra parte, como la concentración máxima de Cupresaceae se registra a la H12 con un pico muy pronunciado ($IDI > 0.2$), la diferencia entre esta hora y las demás se hace más notoria si se lo incluye dentro del PT enmascarando así, la tendencia diaria del PT. Las mínimas concentraciones de PT se registran entre la H20 de un día y la H6 del día siguiente. En la H8 y la H18, cambia la tendencia diaria del PT (punto de inflexión). Estas son las horas con concentraciones intermedias. El estado de la atmósfera probablemente sea diferente a lo largo del día, posibilitando que los granos estén en suspensión en mayor proporción durante las horas del día (Fig. 3.3).

En relación a lo anterior, el estado de la atmósfera también parece variar a lo largo del año. Analizando la concentración horaria en los distintos meses puede observarse que la máxima concentración se registra en horas diferentes. En los dos años, las mayores concentraciones de la primavera y del verano se observaron a la H10, siendo relativamente importante el intervalo H8-H16; febrero es el mes con mayor IDI. En cambio, en otoño el máximo fue a la H12 y en invierno a la H14 aunque estos máximos no fueron tan pronunciados como en primavera y verano ya que entre la H10 y H16 hay relativamente altas concentraciones del PT. A pesar de ello, en todos los meses el valor del índice de distribución intradiurna se mantuvo dentro del intervalo 0.1-0.2, lo cual es indicativo de que no existe una hora determinada donde se concentra casi todo el polen emitido.

Composición de la nube de polen

A pesar de ser muy diverso el espectro polínico de Mar del Plata (más de 60 taxones representados), sólo 18 tipos arbóreos y 12 herbáceos son los que aportan mayor número de granos a la atmósfera reuniendo el 98% y 97% del PT en 1992/93 y 1994/95, respectivamente. La concentración de estos taxones fue superior a 20 gr/m³ anuales al menos en uno de los dos años. Solamente 7 arbóreos y 5 herbáceos de los anteriores presentaron más de 200 gr/m³ al menos en uno de los períodos, concentración considerada alta (Noetinger y Romero, 1997). En orden decreciente de importancia promedio ellos son: Poaceae, *Platanus*, *Ulmus*, *Q. robur*, *Plantago*, Myrtaceae, Pinaceae, Cyperaceae,

Fraxinus, *Q. ilex*, Chenopodiineae (que incluye a especies de las familias: Chenopodiaceae y Amaranthaceae) y *Ambrosia*. Los demás taxones presentaron entre 20 y 200 gr/m³ correspondiendo a una incidencia moderada (Calendario 3.1, explicación más abajo).

En la Figura 3.4 se graficaron los taxones con más del 5% del PT anual ya que dan un panorama general del espectro anual, reuniendo más del 50% del mismo. Sólo Poaceae, *Platanus* y *Ulmus* se registraron en los dos años como muy abundantes. El taxón *Quercus* está representado por una especie diferente cada año (*Q. robur* en el primer período y *Q. ilex* en el segundo), aunque como género el aporte relativo fue similar (8.6% y 9.3% del PT cada año).

Considerando sólo los taxones con moderada y alta concentración (mayor a 20 gr/m³) se observa que, en general, los taxones arbóreos presentaron mayor número de granos en el primer año analizado y los herbáceos en el segundo (Fig. 3.5). En esta figura se evidencia la diferencia de concentración, independientemente de su importancia en el espectro. Dentro de las excepciones correspondientes al PA, debe destacarse *Q. ilex* con 383 gr/m³ más en 1994, además de *Corylus/Casuarina*, *Betula*, Pinaceae y *Celtis*, aunque la diferencia de éstos no supere los 100 gr/m³. Si bien la proporción de *Liquidambar* es 5 veces mayor en 1993 respecto a la de 1994, la concentración relativamente baja de este taxón hace que no sea tan relevante la diferencia interanual. Las diferencias interanuales en *Q. robur*, *Platanus* y *Ulmus* son mayores a 400 gr/m³ representando el doble de cantidad de polen en 1993 respecto a 1994 (Tabla 3.3).

De los taxones herbáceos con moderada y alta concentración, sólo Brassicaceae y Urticaceae presentaron mayores concentraciones en 1992/93 respecto a la concentración del año siguiente (Fig. 3.5). Sin embargo, la diferencia es de 24 gr/m³ para el primer taxón y 2 gr/m³ para el segundo. En Poaceae, que es el taxón con mayor concentración del PNA, no se registraron diferencias entre años (menos de 20 gr/m³). Para los taxones con mayor concentración en 1994/95, las mayores diferencias (mayores a 20 gr/m³) se registraron en *Ambrosia*, *Plantago*, Cyperaceae, Asteraceae Asteroideae, *Artemisia* y Apiaceae (Tabla 3.4).

Calendario polínico (Calendario 3.1)

Los taxones representados son los considerados más importantes del espectro polínico de Mar del Plata. Con algunas excepciones sólo dentro de las herbáceas (Asteraceae Asteroideae, Apiaceae, Brassicaceae y Fabaceae Papilionoideae), los demás taxones representan a especies con polinización anemófila. Por ello, producen más granos que las plantas entomófilas, con lo cual su concentración en la atmósfera es mayor. La presencia de herbáceas entomófilas con altas concentraciones, se debe a la abundancia en la vegetación que tienen estas especies anuales. En su mayoría son malezas invasoras y adventicias en la Argentina, algunas de ellas subespontáneas. En este sentido, cabe mencionar a: *Senecio spp.*, *Taraxacum officinalis*, *Matricaria chamomilla*, *Conium maculatum*, *Diplotaxis spp.*, *Sinapsis arvensis*, *Medicago spp.*, *Trifolium repens* (Cap. 1).

La característica de ser anemófila es una condición importante, aunque no excluyente, para que el polen sea alergénico. Este es uno de los requisitos de los postulados de Thommen (1931) que se cumple ampliamente para estos taxones; el otro requisito importante es que el grano contenga un compuesto antigénico. Por ello, la información del calendario polínico es sumamente útil en las aplicaciones médicas.

Sólo Poaceae y Myrtaceae están presentes en todas las semanas del año. En los dos casos se debe a la floración sucesiva de varias especies que conforman cada familia. Dentro de Poaceae, que es la de mayor aporte polínico, las plantas de distintas especies aumentan su número en vegetación y además están en flor desde fines de la primavera (Cap. 1). Esto coincide con las altas concentraciones en noviembre y diciembre, aunque extendiéndose hasta marzo una presencia en la atmósfera considerable. En el caso de Myrtaceae, la mayor concentración se registra cuando florecen conjuntamente los *Eucalyptus* y *Callistemon*, en invierno y primavera. El polen que se registra durante diciembre y enero corresponde a la última especie, que es la más abundante en la vegetación (Cap. 1 y 2). Por otra parte, el polen de Asteraceae Asteroideae está en todas las semanas del año menos en la primera de junio; su aporte es de mediana importancia ya que las especies que crecen y florecen en forma sucesiva, presentan en su mayoría una estrategia de polinización entomófila.

Otros ejemplos del aporte polínico sucesivo de varias especies que no florecen simultáneamente son: Pinaceae, *Fraxinus* y *Celtis*, dentro de los taxones arbóreos importantes. Pinaceae se registra primeramente en marzo y abril, y luego en agosto y setiembre. El primero de estos períodos con polen de Pinaceae corresponde a la floración de *Cedrus atlantica* y luego a la de *C. deodara* (Cap. 2). Si bien la primera especie es más abundante en vegetación (Cap. 1), la presencia próxima (dentro del parque del Complejo Universitario) de varios ejemplares de gran porte de *C. deodara*, hace que su aporte polínico sea mayor. La floración de otro género importante dentro de la familia (*Pinus*) coincide con la presencia de polen en la atmósfera durante los meses mencionados del invierno. En *Fraxinus* la floración de *F. excelsior* comienza en julio hasta agosto, luego florece *F. americana* que es la especie más abundante en vegetación, y posteriormente *F. excelsior* var. *aurea* y *F. ornus*, aunque esta última por su baja densidad puede no ser relevante. La comparación entre las curvas de floración y las de polen aumenta la resolución de esta compleja situación (ver capítulos siguientes). Por último, el polen de *Celtis* está representando a dos especies: *C. australis* y *C. tala*. La primera florece en setiembre-octubre (Cap. 2) y su presencia en la vegetación local-extralocal es escasa (Cap. 1); la segunda florece en diciembre (Pérez *et al.*, 1996) y es la especie presente a más de 50 km del sitio de muestreo polínico (regional) (Cap. 1). Especialmente en 1994, la concentración de *C. tala* fue más importante que la de *C. australis*. En este caso, parece que la influencia de un gran número de plantas reunidas en bosques aunque estén relativamente alejados es más importante que la cercanía de escasos ejemplares aislados. Sería importante evaluar aquí, la velocidad de los vientos y principalmente, la dirección de los mismos durante su polinización ya que estas variables estarían determinando, en parte, la posibilidad del transporte de media-larga distancia.

El tipo polínico denominado *Casuarina/Corylus* puede discriminarse en base a los períodos de floración de esas especies (Cap. 2). Así, el polen registrado en marzo y abril corresponde a la primera especie y el registrado en invierno a *Corylus*. El aporte relativo mayor de *Casuarina* estaría determinado por el mayor número de plantas respecto a los ejemplares de *Corylus* (Cap. 1).

El polen que se registra en primavera corresponde principalmente a géneros arbóreos. En agosto hay un aporte muy importante de *Ulmus*, pero es en

el mes de setiembre cuando los individuos de *Platanus*, *Q. robur*, *Fraxinus*, *Acer*, *Populus* y *Betula* están en su fase de máxima floración (Cap. 2). Tanto la floración de las especies como la presencia de su polen en la atmósfera no duran más de 2 meses (en general 1 mes). En el caso de *Populus*, dos especies aportan al espectro pero sus floraciones son simultáneas. La presencia de polen en octubre-noviembre probablemente se deba a granos rebotados o que permanecen en suspensión largo tiempo ya que sus características aerodinámicas son favorables para que tales eventos ocurran. También debe considerarse si luego de la floración los vientos soplaron de las direcciones Oeste y Sudoeste, donde se concentra la mayor cantidad de ejemplares (Cap. 1).

Es importante destacar que las especies cuyas concentraciones polínicas fueron mucho más altas en 1994, polinizaron a fines de la primavera, o sea que son especies de floración tardía. Estos son los casos de *Q. ilex* y *C. tala* (en noviembre), además de *Betula pendula*. También Pinaceae y *Casuarina/Corylus* presentaron mayores concentraciones en el segundo año de monitoreo y en estos casos, el aporte lo realizaron especies de floración a fines del verano-principios del otoño: cedros y casuarinas.

Si bien el ejemplar local de *Nothofagus* florece en noviembre (Cap. 2), coincidiendo con el mes de mayor polen en el aire, se observa una cantidad de polen importante en diciembre, especialmente durante 1994. Los vientos serían también importantes en este caso, ya que de provenir del Sud-Sudoeste podrían estar cargados de este tipo polínico cuyas fuentes emisoras serían los bosques de lengas subantárticos. Apoyando lo anterior, es probable que los *Nothofagus* del sur argentino florezcan posteriormente respecto del ejemplar local ya que las temperaturas requeridas para su floración y anthesis se alcanzan más tarde en latitudes mayores.

Además de las Myrtaceae (*Callistemon spp.*), *Castanea sativa* es la única especie arbórea anemófila que florece en diciembre.

El polen de herbáceas se registra entre noviembre y marzo, y los taxones que más aportan son aquellos con representantes anemófilos. Para Cyperaceae y *Plantago*, además de Poaceae, el máximo se observa en diciembre; en cambio para *Ambrosia*, *Artemisia* y Chenopodiaceae, el máximo ocurre en marzo. Parte del polen de Cyperaceae y de *Ambrosia* probablemente sea de aporte regional, de especies autóctonas de la región, ya que, en los alrededores del muestreador

son escasas estas plantas. Las especies de Cyperaceae son muy abundantes en suelos húmedos y encharcados como los terrenos y lagunas de la zona, y las plantas de *Ambrosia* son abundantes en los suelos arenosos de la región. Este género es especialmente alergénico en el Hemisferio Norte, aunque aquí se desconoce su patogenicidad. Si bien Chenopodiineae tiene representantes en la vegetación local con abundantes plantas creciendo en los terrenos abandonados, no debe descartarse que parte del polen provenga de *Salicornia ambigua*, que es una especie altamente difundida en los suelos salobres de la marisma de Mar Chiquita distante 50 km de Mar del Plata y que se dispersa ampliamente (Pérez *et al.*, 1996).

Análisis de los períodos de polinización de los principales taxones arbóreos

En la Tabla 3.3 se indican las características más importantes de los períodos de polinización de los taxones arbóreos con moderada y alta concentración, que coincide con un aporte de más del 1% del PA. Los taxones que reunían estas características y no fueron incluidos se debe a que el objetivo aquí es tener datos comparables con los de floración (Cap. 2: Tabla 2.2, 2.3 y 2.4) para evaluar luego conjuntamente, la evolución de las fenofases florales y las concentraciones polínicas de las 25 especies que representan a la “comunidad” anemófila de la ciudad. Por esta misma razón se incluyó a *Alnus*, aunque su concentración anual fue baja. No se incluyeron *Castanea*, *Moraceae* y *Notothagus* porque no son representantes importantes en la vegetación de la “comunidad arbórea anemófila” del área de estudio. Tampoco se incluyó a *Pinaceae* ya que representa a la polinización de dos géneros de coníferas no consideradas anteriormente.

En 11 de los 14 taxones, el polen comenzó a registrarse antes en 1993 respecto al inicio de la polinización de 1994. Sólo para *Alnus*, *Celtis* y *Platanus* el inicio de 1993 ocurrió en fechas posteriores a las de 1994. Las diferencias interanuales en el inicio no fueron mayores a 15 días, excepto para *Acer*, *Corylus* y *Fraxinus* aunque no superan los 24 días de diferencia. En promedio, el inicio de la polinización ocurrió 4 días antes en 1993, con una dispersión de 14 días (Tabla 3.3).

En 8 de los 14 taxones analizados el registro de polen de 1993 finalizó en días posteriores a los de 1994. Las diferencias entre años mayores a 2 semanas en el final de la polinización se observó en 6 especies, sólo en *Fraxinus* y *Corylus* la diferencia es de alrededor de 1 mes. En promedio, el final se registró 2 días después en 1993 pero con una dispersión de 18 días (Tabla 3.3). En general, el inicio de la polinización con anterioridad en 1993 no se corresponde con una finalización anterior ese año; ésto sólo ocurre en 5 de las 14 taxones.

Las diferencias interanuales en la duración del período de polinización (pp) fueron variables según el taxón. En los robles y *Juglans*, la diferencia es prácticamente nula, mientras que en *Fraxinus*, *Liquidambar*, *Acer*, *Ulmus* y *Populus* son mayores a 20 días. En general, las diferencias en la extensión, se debe a diferencias en el final de la polinización, excepto en *Fraxinus* y *Salix*. La diferencia promedio es de 6 días más de duración en 1993, aunque la desviación es de 24 días. Si se considera el período principal de polinización (ppp: entre el 5% y 95% de polen acumulado), se reduce considerablemente la diferencia entre años (1 día \pm 8 días) (Tabla 3.3).

Si se compara el inicio del pp con la fecha en que se registró el 5% acumulado (inicio ppp), existe una diferencia promedio de 12 días en cada año para cada taxón. En cambio la diferencia entre el final del pp y el del ppp es de 30 y 28 días en promedio cada año, con máximas diferencias de más de 70 días para *Celtis* en los dos años y para *Ulmus* en 1993.

En cuanto al máximo de la polinización, el promedio indica que las diferencias entre años del día en que se registra el máximo de concentración es de 1 \pm 13 días. Diferencias mayores, de alrededor de 25 días, sólo ocurren en *Celtis* y en *Corylus*. En Myrtaceae, el máximo de concentración polínica se registra en invierno durante el primer período analizado, y en verano durante el segundo. La mayor diferencia en la concentración máxima se registró para *Q. ilex* (más de 200 gr/m³ en 1994). Diferencias entre 25 y 45 gr/m³ se observaron en *Platanus*, *Q. robur* y *Ulmus*, pero en estos taxones siempre la concentración mayor fue observada en 1993 (Tabla 3.3). En la tercera semana de setiembre en 1993 y en la primera de octubre en 1994 se registra el mayor número de taxones en su máxima polinización. Setiembre y octubre son los meses en los cuales se registran los máximos de los árboles (Fig. 3.6).

Se analizó el porcentaje acumulado de la concentración polínica de los taxones correspondientes al conjunto de especies anemófilas más importantes (Fig. 3.7). Si bien el polen de Myrtaceae estuvo presente todo el año como se dijo anteriormente, sólo se consideró el período de mayo a diciembre ya que éste es el período de floración de los *Eucalyptus*. El máximo de concentración del conjunto ocurrió la tercera semana de setiembre en ambos años. Si bien las dos curvas siguen la misma tendencia (diferencias no significativas: $t=0.675$, $p=0.502$), la curva de 1993 está adelantada respecto a la de 1994. Esto se relaciona con que los pp de la mayoría de los taxones involucrados comienzan antes durante el primer año alcanzándose antes las mayores concentraciones. Las diferencias durante las 2 semanas previas al máximo y la posterior al mismo (mayores a 20% de polen acumulado), se debe a las diferencias en los porcentajes instantáneos, es decir, durante 1993 se registró una alta concentración también en agosto, lo cual no ocurrió en 1994; en cambio, en 1994 existió un aporte importante de polen en noviembre. Estas diferencias coinciden con las distintas productividades anuales de los taxones, comentado anteriormente.

Debido a que la variable polínica expresada como porcentaje acumulado tiene el mismo comportamiento logístico (patrón sigmoideo) que la evolución temporal de las fenofases florales a lo largo del tiempo, se aplicó el mismo criterio utilizado en el Capítulo 2. Los datos transformados (Z_p) en: $\ln(p/(k-p))$ donde $k=100\%$, se ajustan a una línea recta que muestra una correlación lineal altamente significativa entre años ($r=0.997$, $p<0.001$), indicando la similitud de la evolución temporal del polen en la atmósfera entre años e independientemente de sus valores absolutos de concentración. La ecuación promedio que permitiría predecir la proporción de polen de esta "comunidad" en cada semana (T) durante el período en cual están floreciendo es: $Z_p=0.779T-24.177$, $p<0.0000001$ y $R^2=78\%$.

Relación entre la concentración polínica y las variables meteorológicas

Una característica particular de todos los espectros de polen atmosférico, con datos de concentración a lo largo del tiempo (Norris-Hill & Emberlin, 1990), es que no presentan una distribución normal: en general, se observan pocos días (u

horas) con altas concentraciones y muchos con baja (o nula) concentración. Por ello, los datos polínicos (p) se ajustan a una distribución logarítmica la cual se normaliza por medio de la siguiente transformación: $\ln(p+1)$. En la Figura 3.8 se presentan las distribuciones de los datos transformados y no transformados. La normalidad de los datos es un requisito para aplicar herramientas estadísticas que presuponen asociaciones lineales entre las variables (Recio *et al.*, 1996).

Los valores medios anuales de la temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) y de la humedad relativa (HR) fueron similares a los datos estadísticos de los 10 últimos años. La $T^{\circ}\text{C}$ muestra un ciclo anual con mínimos valores siempre en julio (entre 7 y 8°C promedio) y en enero las más cálidas ($20\text{-}21^{\circ}\text{C}$). No se observaron diferencias significativas en los valores diarios de esta variable entre los dos años ($t=1.213$; $p=0.226$). La HR del aire varía en un estrecho rango de valores altos; si bien los valores medios fueron significativamente diferentes entre años ($t=5.174$, $p=0.0000003$), los datos diarios no variaron significativamente respecto de la media correspondiente ($F=1.080$, $p=0.477$).

La velocidad del viento (VV) por el contrario, fue mucho menor durante estos dos años analizados respecto de las estadísticas. Sin embargo, debe considerarse que la ubicación de las estaciones meteorológicas es diferente (en el centro de la ciudad y en las afuera de la misma). Además, esta variable muestra grandes variaciones aún en días consecutivos ($t=-16.59$, $p<0.0000001$), con lo cual el valor medio anual parece no ser suficientemente indicativo; existen días con velocidades muy altas especialmente durante el segundo año analizado que podrían estar relacionados con fenómenos atmosféricos de gran escala (Fig. 3.9). Las frecuencias de los vientos Norte y Noroeste para el primer y segundo año respectivamente, fueron mayores a las estadísticas de los últimos 10 años tomadas por el SMN, las cuales muestran una rosa de los vientos aproximadamente isomorfa para la zona de Mar del Plata (Fig. 3.10). Aquí también debe considerarse la ubicación de la fuente colectora de datos como la fuente principal de las diferencias observadas. Las ciudades tienen características muy particulares respecto a ambientes rurales en cuanto a condiciones meteorológicas. Las propiedades de las superficies próximas (cambio de rugosidad y tipo de materiales en las construcciones) determinan un mosaico de microclimas individuales. La actividad humana (calefacción, tránsito

vehicular) tienen un rol fundamental en la modificación de las condiciones de la atmósfera (Oke, 1997).

Las precipitaciones (PP) totales fueron similares entre los años con 829 y 852 mm, y levemente inferiores a las estadísticas 81-90 (921 mm). En general, las PP siguen el patrón general descrito para la región con valores mínimos en los meses de invierno. No se observaron diferencias significativas entre los datos diarios de esta variable entre los años ($t=0.192$; $p=0.848$).

Las PP están siempre correlacionadas positivamente con la HR ($r_{93}=0.189$, $p<0.0001$; $r_{94}=0.168$, $p=0.002$); los días con PP tienen mayores valores de HR. Sólo en el primer año la T°C diaria mostró una asociación con la VV promedio del día ($r=0.165$, $p=0.002$).

En la Figura 3.11, pueden observarse precipitaciones importantes entre marzo y junio de 1993 coincidiendo con escaso número de granos de PA en la atmósfera; en cambio, en la segunda mitad de este año las escasas precipitaciones se corresponden con altas concentraciones en el aire excepto en el mes de noviembre. Las correlaciones entre los datos diarios para este año indican efectos negativos de las lluvias sobre el polen arbóreo ($r=-0.137$, $p=0.10$), aunque analizando el mes de noviembre en particular esta asociación no es significativa ($r=0.082$, $p=0.709$).

En el segundo período anual, una menor concentración de PA en la atmósfera en setiembre, por efecto de mayores PP, parece en principio plausible. Además, importantes PP en octubre parecen haber causado una disminución del PA, aunque en el año anterior y en ausencia de PP también ocurrió una disminución del PA hacia fines de ese mes. Por otra parte, la alta concentración en noviembre de 1994 se corresponde con una casi ausencia de PP. Sin embargo, la correlación en 1994/95 entre el PA y las PP para 1994/95 no fue significativa ($r=-0.211$, $p=0.696$), y en particular sólo fue marginalmente significativa y negativa para el mes de setiembre ($r=-0.412$, $p=0.051$) y no significativa para octubre (Fig. 3.11).

Las correlaciones entre las PP diarias y el PNA no fueron significativas en ninguno de los dos años (Fig. 3.11). Sin embargo, el PNA está fuertemente correlacionado positivamente con la T°C ($r_{92/93}=0.745$, $r_{94/95}=0.762$; $p<0.001$) y en menor medida, negativamente con la HR ($r_{92/93}=-0.224$, $r_{94/95}=-0.207$; $p<0.0001$). Con estas dos variables atmosféricas se estaría reconstruyendo

aproximadamente el 60% de la información. La ecuación de regresión resultante es: $PNA_{92/93}=0.778+0.148T^{\circ}C-0.019HR$, $r=0.767$, $R^2=59\%$ y $PNA_{94/95}=0.512+0.184T^{\circ}C-0.022HR$, $r=0.782$, $R^2=61\%$, $p<0.0000001$ en ambos casos. Si bien en 1993 el PNA también estuvo correlacionado positivamente con la VV ($r=0.152$, $p=0.004$), la asociación entre esta variable meteorológica y la $T^{\circ}C$ ($r=0.165$, $p=0.002$) y el mayor valor de correlación de la $T^{\circ}C$ con el PNA respecto a la VV, hace que la VV no entre en la ecuación de regresión en su modalidad "stepwise" como variable explicativa.

Por su parte y contrariamente al PNA, la concentración de PA estuvo correlacionada negativamente con la temperatura, aunque sólo significativamente en 1993 ($r=0.260$, $p<0.0001$). Con respecto a la HR, la correlación fue negativa ($r_{92/93}=-0.218$ y $r_{94/95}=-0.207$, $p<0.0001$) y en este caso igual a la asociación con el PNA. Sin embargo, la ecuación de regresión resultante no sería suficiente para explicar el aumento de concentración del PA en la atmósfera a partir de estas variables atmosféricas a escala diaria, ya que el R^2 es en promedio de 8.5%.

Tanto el PA como el PNA tienen el mismo comportamiento respecto de las condiciones meteorológicas prevalientes a lo largo del día ya que una vez emitidos, los granos se comportan como partículas inorgánicas influenciadas por las condiciones de la atmósfera. Esto justifica el tratamiento conjunto de ambos tipos de fuentes a escala diaria.

El patrón del PT a lo largo del día fue similar entre años (Fig. 3.3) y se corresponde con las variaciones horarias de $T^{\circ}C$, HR y VV. El patrón de estas variables meteorológicas también fue similar entre años, con máximos valores de $T^{\circ}C$ y VV y mínimos de HR a la H14. Las diferencias entre años no fueron, en promedio, mayores a $0.6^{\circ}C$ y 4% de HR; si bien la VV fue mayor en todo el segundo período, la variación entre horas fue similar. Los valores entre la H10 y la H18 fueron siempre mayores a la media diaria para los dos años. La concentración polínica fue mayor a la media diaria desde la H8 y hasta la H18. Las mayores diferencias ocurren entre las horas 8 y 10, y entre las 16 y 18, cuando se producen los cambios en la tendencia diaria de todas las variables (meteorológicas y polínicas) (Fig. 3.12). Así, el día queda dividido en dos períodos: día y noche (Fig. 3.13).

Las tres variables meteorológicas están correlacionadas con el PT (Fig. 3.14). Considerando todas las horas de los dos años, los coeficientes de correlación son: $r_{T^{\circ}C}=0.347$, $r_{HR}=-0.313$, $r_W=0.137$; $p<0.001$. La ecuación de regresión resultante es: $PT_{hora}=2.274+0.066T^{\circ}C-0.019HR+0.052VV$, $r=0.406$, $R^2=17\%$ y $p<0.0000001$.

DISCUSION

Características generales del polen atmosférico

El espectro polínico de Mar del Plata es altamente diverso con más de 70 taxones pertenecientes a 50 familias. El alto número de tipos polínicos está reflejando la complejidad de la vegetación urbana, la cual presenta una enorme variabilidad de especies (Cap. 1).

Sin embargo, existen sólo 5-6 taxones con abundante concentración que reúnen más de la mitad del PT anual en cada año. Poaceae es el más importante, y dentro de los herbáceos también lo son *Plantago* y *Cyperaceae*. Los otros taxones importantes (con más del 5% del PT anual cada uno) son arbóreos: *Platanus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Myrtaceae* y *Pinaceae*. Todos ellos, reúnen más del 50% del PT. Características similares donde sólo 5 taxones son los importantes, se presentan en distintas ciudades (Herrero, 1997; Noetinger & Romero, 1997) y parece ser un denominador común de los espectros urbanos (Bianchi, 1994). En todas las ciudades de Europa, Poaceae es también el principal tipo polínico atmosférico (Spieksma, 1990). Su ubicuidad se debe en parte a la variedad de condiciones ambientales en las que pueden desarrollarse las numerosas especies que integran este taxón.

Los tipos polínicos con menos de 20 gr/m³, o sea de escasa concentración, en general son entomófilos (Cap. 1). Para los anemófilos dentro de este grupo, debería correlacionarse la cantidad de polen con el número de fuentes emisoras y su distancia a la fuente colectora para establecer si su escasa representación en el espectro polínico atmosférico se debe a estos factores. De los tipos polínicos que sólo se registraron en uno de los años, el 88% (21 en total) son entomófilos. Las tres excepciones corresponden a especies anemófilas pero con un sólo ejemplar cerca del muestreador (Cap. 1).

El polen de Cupresaceae (más del 50% de los granos registrados en total), corresponde principalmente al género *Cupressus* ya que este género es el más abundante en vegetación: 92% de los ejemplares de la familia (Cap. 1). La cercanía de numerosas fuentes emisoras (a 15 m del muestreador) sumado a la copiosa productividad y a los rasgos aerodinámicos favorables para el mantenimiento en suspensión de los granos, explican los altos valores de concentración atmosférica (Meiffren, 1988; Al-Esawi & Dajani, 1988). En estudios previos realizados en Mar del Plata en el mismo sitio, también se observaron muy altas concentraciones en invierno (Bianchi, 1994). Todo lo anterior, indica una sobrerrepresentación de *Cupressus*, la cual exige que se lo analice separadamente de los demás tipos polínicos ya que tiende a sesgar los datos del espectro. Por otra parte, no sería indicativo de la abundancia en la vegetación si no se tienen en cuenta las características particulares mencionadas anteriormente.

En Italia, Cupresaceae llega a representar también más del 50% del polen anual (Zerboni *et al.*, 1991). Sin embargo, tanto en Italia como en España, donde también es el más importante taxón de invierno (Galán *et al.*, 1998), existen bosques donde esta familia es el principal representante. En estos casos una de las características (la cercanía de la fuente) no estaría involucrada pero sí las demás (alta productividad y granos aerodinámicos). La gran diferencia interanual en la concentración de *Cupressus* (mucho mayor en 1993 que en 1994), coinciden con datos de España realizados en los mismos años. Los meses de invierno previos a la polinización más fríos y relativamente secos de 1993, se asocia con la diferencia en productividad (Galán *et al.*, 1998). La importancia de su estudio en el Viejo Mundo radica en su alergenicidad, que causa la mayor incidencia de polinosis invernal.

Patrón anual del polen atmosférico

Existe un patrón polínico que regularmente se observa a lo largo de los años. La concentración aumenta desde fines del invierno y tiene su máximo en primavera (a principios o a fines de esta estación según el año). En verano la concentración empieza a disminuir debido a la escasez de plantas arbóreas anemófilas en flor

(Cap. 2), aunque la polinización de especies herbáceas es importante hasta marzo. El mínimo de concentración ocurre en otoño y principios de invierno donde prácticamente no hay árboles en flor y las herbáceas permanecen en estado vegetativo (en muchos casos como rizomas perdurantes), o en estado de latencia en forma de semilla.

La correspondencia de las concentraciones polínicas con la floración de plantas arbóreas y herbáceas refleja la estructura del espectro polínico que responde a las fases reproductivas de estas formas de vida y que se expresan como polen arbóreo y polen no arbóreo. De este modo, la estructura del espectro de Mar del Plata puede caracterizarse por la presencia de dos estaciones: 1) estación con predominio de PA (fines de invierno-primavera) coincidiendo con un máximo en setiembre, y 2) estación con predominio de PNA (fines de primavera-verano) con la mayor concentración en diciembre. Cada una de ellas, se correlaciona con la temperatura media mensual: la de PA con las bajas temperaturas de fines de invierno y principios de primavera, y la de PNA con las más altas temperaturas del año. Esta variable es indicativa de la estacionalidad climática de la región y parece surgir de modo indirecto a partir de la sincronización de la respuesta fisiológica de los vegetales a las condiciones de tiempo atmosférico que favorecen la floración y no de un efecto directo sobre los granos en suspensión durante el transporte por las masas de aire.

Los tipos polínicos arbóreos, en general, fueron más productivos en el año 1992/93, en cambio los herbáceos en 1994/95, excepto Poaceae que fue similar entre los dos períodos. Esto explicaría en parte la diferencia en importancia relativa de los meses entre años (agosto, setiembre y octubre importantes en 1993 y noviembre en 1994). Los árboles florecen principalmente a fines de invierno-principios de primavera (Cap. 2) y las hierbas a fines de primavera-verano (Cap. 1).

Las diferencias mensuales entre años se observaron entre los meses de setiembre (mayor concentración en 1993) y noviembre (mayor en 1994). En parte puede deberse a la distinta representación de las dos especies de *Quercus*: *Q. robur* (mayor en 1993 y su polinización principal durante setiembre) y *Q. ilex* (mucho mayor su concentración en 1994 y durante el mes de noviembre) (ver más adelante).

Composición de la nube de polen

Si bien, no se observaron diferencias interanuales en la concentración total y el aporte relativo del PA y del PNA fue similar en cada año, el aporte absoluto del PA fue mayor en el primer año analizado. Esto se observó para todos los meses del año excepto para noviembre y, en menor proporción, para el mes de abril. Las diferencias interanuales observadas con mayores concentraciones del PA, especialmente en los meses en que las especies arbóreas anemófilas más importantes están en flor (setiembre y octubre), apoyan la hipótesis planteada en el capítulo anterior, la cual, atribuye a las condiciones climáticas estacionales previas favorables para la floración de los árboles, el mayor número de flores y consecuentemente el mayor número de granos de polen producidos. El verano es la estación en la cual ocurre el principal control tanto del momento de polinización como de su intensidad. Los árboles producen y acumulan la mayor cantidad de fotosintatos que estarán disponibles para la reproducción en primavera (Cadman *et al.*, 1994) y hacia fines de la estación, los granos de polen comienzan a formarse en las anteras (Emberlin *et al.*, 1990). Las más altas temperaturas del verano de 1993 habría determinado una mayor productividad polínica en los árboles.

En los meses en que se registra la mayor concentración de PA (y mayor número de especies arbóreas en flor), las precipitaciones fueron durante 1993 menores a las de 1994, resultando en condiciones favorables para la dispersión polínica. En cambio, en noviembre las precipitaciones fueron menores en 1994, coincidiendo con valores de PA mayores a los del año anterior. Sin embargo, si bien las precipitaciones pudieron, en principio, afectar la permanencia de granos en suspensión, aunque no se observó una correlación negativa significativa para este mes (ver más abajo), el predominio durante este mes de ciertos tipos polínicos con excepcionales mayores productividades en 1994 como *Q. ilex* y *Celtis* (*C. tala*) parece ser el factor más importante que determinan la diferencia interanual del PA en noviembre.

En la mayoría de los taxones arbóreos, la productividad polínica fue mayor en 1993. Las excepciones corresponden por un lado, a *Q. ilex* y a *C. tala* que polinizan en noviembre y son los principales responsables del aumento

mensual del aporte polínico en ese mes durante 1994 (14 y 24 gr/m³ cada taxón respectivamente en 1993 en contraposición de 387 y 137 gr/m³ en 1994). Esta menor concentración en 1993 podría ser en parte resultado del efecto depresor de las precipitaciones abundantes registradas en el mes de polinización de estas especies (noviembre). Sin embargo, las diferencias de concentración entre años son demasiado importantes, especialmente para *Q. ilex*, como para ser atribuidas sólo al lavado de la atmósfera. Sin embargo, deben estudiarse en particular, la dirección de los vientos y la ubicación de las fuentes para descartar o agregar otra variable que esté influyendo en la variación interanual de las concentraciones de estos dos taxones.

Otra de las excepciones de taxones arbóreos con mayor concentración durante 1994, fue *Betula*. Si bien la concentración anual de este taxón no es tan importante como la de los anteriores, en proporción, la diferencia entre años es importante. La fuente de polen es *B. pendula*, especie que florece a principios de primavera (setiembre-octubre), por lo que las condiciones durante y antes de la emisión son las que se consideraron como favorables.

Lo anteriormente expuesto, hace pensar en una productividad diferencial. El comportamiento de *Q. ilex*, *C. tala* y *B. pendula* aparece como opuesto al del resto de los taxones analizados. Los requerimientos reproductivos podrían ser diferentes para una alta producción de polen (especialmente para las dos primeras especies ya que florecen tardíamente en la primavera). Sin embargo, la existencia de un ritmo cíclico (bianual) reproductivo independiente de las condiciones climáticas previas parece plausible en la determinación de la abundancia polínica (Emberlin *et al.*, 1993). Los factores fisiológicos inherentes a la constitución genética de las plantas, pueden ser de mayor importancia que las influencias ecológicas y/o meteorológicas (Madrigal Jiménez, 1997). Aunque la serie de datos es insuficiente para establecer conclusiones, este patrón alternando un año con alta concentración y otro con baja para luego repetirse cíclicamente, fue observado en *Quercus* (Jäger *et al.*, 1991; Emberlin *et al.*, 1990 y 1993), en *Betula* (Emberlin *et al.*, 1990; Nilsson & Persson, 1981) y en *Celtis* (Cadman *et al.*, 1994). En apoyo a esta hipótesis, Spiexma *et al.* (1995) encontraron que el ritmo básico de producción de polen de *Betula* muestra una tendencia sincrónica a lo largo de los años entre cinco ciudades muy diferentes

tanto geográfica como climáticamente. De todas maneras, este ritmo no es absoluto y pueden ocurrir interrupciones o retrasos y adelantos de fases.

Los otros dos taxones excepcionales con mayor concentración polínica en 1994 fueron Pinaceae y *Casuarina/Corylus*. El momento en que se registra la mayor diferencia interanual de estos taxones, coincide con el aumento de polen del mes de abril, especialmente en 1994, y explica que en el segundo período de muestreo, Pinaceae sea uno de los tipos polínicos que aportan más del 5% del PT anual. Las especies de *Cedrus* y *Casuarina* serían los responsables y las condiciones previas para la alta productividad de estas especies de floración otoñal son diferentes a la de los árboles de floración invierno-primaveral.

El control de la floración en las plantas herbáceas es complejo y variable según los grupos de especies involucradas en cada taxón polínico. En la mayoría de los pastos perennes que comienzan a florecer a fines de primavera, existe un requerimiento inductivo primario determinado por la disminución de las horas de luz y la disminución de las temperaturas que ocurre durante el otoño e invierno, y una inducción secundaria por el aumento de la duración del día y de la temperatura a fines de primavera y principios del verano (Heide, 1994). En cambio, las especies que florecen a fines del verano y principios de otoño como *Ambrosia*, *Artemisia*, algunas Chenopodiaceae-Amaranthaceae, son plantas de día corto y el desarrollo de flores fértiles ocurre después del solsticio de verano. Si bien las condiciones ambientales pueden modificar el control básico genético-hormonal de la floración, no altera significativamente la descarga polínica de un año a otro (Lewis *et al.*, 1990). En general, las bajas temperaturas reducen la proporción de fotosintatos involucrados en el crecimiento de órganos reproductivos (Shitaka & Hirose, 1998). Las temperaturas cálidas al principio de la estación de floración serían una variable importante (aunque no la única) en determinar la cantidad de polen. Noviembre y diciembre de 1994 fueron más cálidos que en el período anterior, y esto explicaría sólo parte del comportamiento del PNA (los casos de mayor concentración en el segundo año analizado).

Calendario polínico

Los tipos polínicos más abundantes están representando a especies de polinización anemófila, o en algunos casos, a especies entomófilas cuyas plantas son muy abundantes en la vegetación como las pertenecientes a familias herbáceas (Asteraceae Asteroideae, Apiaceae y Brassicaceae) con características de malezas exóticas invasoras.

El polen de Poaceae, Myrtaceae y Asteraceae Asteroideae está presente en el aire durante todo el año. Esto se debe a la floración y polinización de distintas especies con distinta estacionalidad. Largos períodos de polinización (mayor a 15 semanas) se relaciona con taxones compuestos por varios géneros o especies cuyas floraciones son graduales (Boussioud Combières, 1988; Herrero, 1997). Específicamente en Myrtaceae, la continua presencia de polen se asocia además, con las extensas floraciones de las especies emisoras y con la alta variabilidad en sus fenofases reproductivas. El polen de Pinaceae, de *Fraxinus* y de *Celtis*, entre los arbóreos, representa el aporte de varias especies con distinta época de floración. Dentro de Pinaceae, el mayor aporte de *Cedrus deodara* (con polinización en abril) respecto al aporte de *C. atlantica* (en marzo), hace pensar en una sobrerrepresentación de la primera especie debido a la proximidad de las fuentes, lo cual deberá confirmarse analizando conjuntamente todas las variables (distancia de la fuente, número de fuentes emisoras y concentración polínica). El aporte de *Casuarina* es mayor al aporte de *Corylus*, junto con el cual conforman el tipo polínico denominado *Casuarina/Corylus*. Esto se debe a que hay un mayor número de plantas en los alrededores.

En general, los árboles tienen un período de polinización relativamente corto, que está en estrecha relación con su período de floración.

En algunos casos como en *Populus*, se registran granos de polen en muy baja concentración mucho después de finalizada la floración de las especies locales. Si bien es posible el aporte de vegetación más alejada (en las afueras de la ciudad), las características de sus granos, favorables para que se mantengan en suspensión, hace que deban analizarse las condiciones particulares de la atmósfera durante este período para identificar situaciones que puedan favorecer este fenómeno (turbulencia de la atmósfera). También sería importante analizar la dirección de los vientos después de la floración, ya que

existe una concentración de álamos hacia el Oeste del muestreador. En los casos de *C. tala* y de *Nothofagus*, sería importante analizar el transporte de larga distancia.

Los taxones herbáceos presentan dos estaciones polínicas importantes (diciembre y marzo), definidas por el aporte de distintas especies, todas ellas de polinización anemófila. Durante diciembre, cuando se produce el máximo de concentración, florecen los pastos, las ciperáceas y *Plantago*; en marzo: *Ambrosia*, *Artemisia* y Chenopodiaceae-Amaranthaceae. Es plausible el aporte regional de especies autóctonas de Cyperaceae y *Ambrosia*, además de Poaceae, teniendo en cuenta las características fitogeográficas de la región. Esto explica en parte, la importancia en el espectro de estos taxones. Si bien para el PNA el transporte de la mayor proporción de polen no supera el kilómetro de distancia, la abundancia de vegetación fuera de la ciudad (o dentro en el caso de Poaceae y Chenopodiaceae), hace que la fuente polínica sea el principal factor a tener en cuenta en la representatividad. Por otra parte, la distancia a la cual se depositan los granos tiende a aumentar a medida que se incrementa la velocidad del viento (Tampieri *et al.*, 1977; Timmons *et al.*, 1995). Por ello, si se tiene en cuenta que las velocidades mayores del viento ocurren en el ambiente rural y que en las horas tempranas del día (mañana e inicio de la tarde) la dirección predominante es desde el continente hacia el mar (Pérez & Gardiol, 1996), se espera un aporte considerable de PNA de la vegetación de las afueras de la ciudad.

Análisis de los períodos de polinización de los principales taxones arbóreos

La “comunidad” anemófila está representada por 14 taxones que se corresponden con las 25 especies analizadas en el capítulo 2 (Análisis de la fenología floral). El polen de 1993, se registra antes que en 1994, igual que la floración. Las diferencias entre años no fueron en general, mayores a 15 días, pero sí mayores respecto al inicio de la floración.

En el caso de árboles, muchas veces se argumenta que la suma anual de polen es alta en años donde la fecha de comienzo de la estación de polinización es temprana; otros autores sugieren que la relación es débil (Spieksma *et al.*,

1995). Todas las especies que florecen en un mismo ambiente, tienen una marcada tendencia a presentar el mismo patrón de retraso o adelanto, siendo la temperatura el factor que lo determina (Marletto *et al.*, 1992). En el año de mayor concentración de PA (1993), la estación de polinización comenzó en promedio 4 días antes respecto del año siguiente, registrándose esta situación, en el 79% de los taxones analizados. Para el inicio de la floración, la diferencia promedio entre años también fue de 4 días (en 61% de las especies fuentes). Por lo tanto, 1993 fue el más productivo para los árboles en cuanto a número de flores y número de granos de polen debido principalmente, a las mejores condiciones climático-estacionales previas; ésto puede estar influido por un inicio temprano tanto de la estación de floración como de la de polinización, que se adelantaron con respecto a las fechas iniciales de 1994.

El final de la polinización presentó una considerablemente alta diferencia entre años, aunque en general fue posterior en 1993. Por ello, la duración de 1993 fue de mayor extensión que la de 1994 para la mayoría de los taxones. Sin embargo, también hubo diferencia interanual para los taxones, atribuibles a diferencias en el final de la polinización, que es la etapa más variable y se relaciona, ya no con la floración (como el inicio) sino con el efecto de la resuspensión de granos desde las superficies o con la permanencia en suspensión por condiciones atmosféricas particulares.

Considerando el ppp las diferencias entre años para cada taxón se reducen considerablemente. Las diferencias entre el inicio del pp y el 5% acumulado es mucho menor que la diferencia entre el fin del pp y el 95% acumulado, indicando que se registran muy pocos granos durante mucho tiempo. El ppp según varios autores, se correspondería con el período de floración de la vegetación local. Sin embargo, nunca se ha hecho un estudio comparativo con datos empíricos de ambas variables, sino que se ha difundido este concepto de ppp sólo a los fines de tener el período de mayor concentración, aunque puede ser independiente de la fase floral.

Grandes diferencias en los máximos entre años, sólo ocurren cuando el mayor número de granos proviene de distintas especies dentro de un mismo tipo polínico. Especies con distinto período de floración y muy distintas productividades cada año, se observan en los taxones *Celtis* (*C. australis* y *C. tala*)

y Myrtaceae (*Callistemon* y *Eucalyptus*), esta última como la máxima expresión con 5 meses de diferencia.

En setiembre y octubre se producen los máximos de concentración de los árboles anemófilos y se relaciona con la floración máxima de los mismos.

El porcentaje de polen acumulado de los taxones anemófilos más importantes sigue un patrón sigmoide a lo largo del tiempo, al igual que el desarrollo de las fenofases florales de las fuentes de polen correspondientes. El adelanto de la curva de 1993 se produce porque la floración de ese año comienza antes, pero es similar en su forma entre años (correlación significativa), y con el punto de inflexión (máximo de concentración) en la 3ª semana de setiembre los dos períodos. La curva de regresión de la concentración en su versión logarítmica permitiría predecir la concentración del conjunto durante el invierno y la primavera, siendo indicativo del progreso fenológico.

En general, el polen atmosférico indica el inicio, máximo y desarrollo de las fases florales de las anemófilas. En cambio, el final de la floración no está precisamente indicado por la curva polínica ya que los granos permanecen en el aire después de que el polen ya ha sido emitido y las anteras han caído (O'Rourke, 1990). Muchas veces, los granos de polen reflatados muestran ausencia de citoplasma y exinas dañadas (Latorre & Bianchi, 1998). La secuencia temporal de concentración puede ser vista como una derivación de la productividad expuesta a pérdidas proporcionales. Esto lleva a una distribución log-normal (Janssen, 1973), donde el inicio de la polinización es rápida (y más predecible) y su declinación es gradual (Comtois & Sherknies, 1987). Estas diferencias en los estadios finales podrían anularse si se considera el ppp, aunque éste debería definirse con mayor precisión.

Patrón diario del polen atmosférico

Para Cupresaceae considerado aparte del conjunto, se observa un máximo muy pronunciado a la H12 donde se concentra la mayor proporción de polen diario. Este pico de concentración, estaría indicando que las fuentes son numerosas y se encuentran a corta distancia. Por otra parte, también implica que el polen de esta familia es de *Cupressus* ya que son las fuentes más numerosas y cercanas al

muestreador. Todo ésto confirmaría la sobrerrepresentación que *Cupressus* tiene en este espectro debido a la cercanía de sus fuentes emisoras.

Para los demás taxones, la tendencia diaria de la concentración sigue el mismo patrón cada año con mayores concentraciones entre las últimas horas de la mañana y las primeras de la tarde (Galán *et al.*, 1991); el máximo no es pronunciado y ocurre a la H10. Las bajas concentraciones se observan durante las horas de oscuridad (Berggren *et al.*, 1995). Durante estas horas denominadas en conjunto horas de oscuridad (en contraposición a lo que ocurre durante las horas del día u horas de luz), se registran condiciones meteorológicas particulares las cuales son mutuamente interdependientes como: baja temperatura, alta humedad relativa, baja velocidad de viento.

En las estaciones del año con mayor temperatura (primavera y verano), las mayores concentraciones ocurren temprano en la mañana en cambio, cuando la temperatura es menor, las mayores concentraciones se registran luego del mediodía. Esto parece estar directamente relacionado con el patrón circadiano de temperatura (mayor durante las horas de luz) y de las variables atmosféricas asociadas, y de su estacionalidad a lo largo del año.

La variación del patrón diario a lo largo del año puede, además, ser atribuido a que los tipos polínicos que estén aportando mayoritariamente al espectro, varían a lo largo del año de acuerdo a su época de floración (Cap. 2). Según Trigo *et al.* (1997), el patrón de variación diaria depende por un lado de la distancia entre la fuente de polen y el muestreador, y por el otro del número de especies que estén contribuyendo a ese tipo polínico. Por ello, debe analizarse no sólo como varía el estado de la atmósfera a lo largo del día, sino también, la composición de la nube polínica a lo largo del año teniendo en cuenta la abundancia y ubicación de las plantas de las especies que más contribuyen.

Relación entre la concentración polínica y las variables meteorológicas

Es bien conocido el hecho de que las precipitaciones reducen el número de granos de polen en el aire (Norris-Hill & Emberlin, 1993). Sin embargo, debe considerarse que bajas concentraciones de polen pueden deberse tanto a la caída de lluvia que lavan la atmósfera como a la falta de floración importante. Si

los días de lluvia durante la época de mayor concentración son escasos, no se observará la influencia negativa sobre el polen atmosférico (Recio *et al.*, 1997).

La correlación negativa observada en 1993 entre las precipitaciones (PP) y el PA no es indicativa del "lavado" de la atmósfera. Los árboles comienzan a florecer recién en la segunda mitad del año coincidiendo con un período relativamente libre de PP. Sólo en noviembre, cuando se espera que todavía existan altas concentraciones de PA en la atmósfera, las PP fueron considerables aunque su efecto no fue significativo. Esto apoya la hipótesis de una menor productividad en 1993 de los árboles que polinizan en noviembre (*Q. ilex* y *C. tala*).

Si bien en principio parece que las PP pueden haber afectado la concentración de 1994 durante el mes más importante de PA (setiembre) y favorecido la alta concentración registrada en noviembre por su ausencia, los resultados obtenidos no permiten afirmar tal hipótesis. La productividad diferencial entre años de las especies arbóreas (mayor en 1993) parece ser la hipótesis más fuerte, aunque sin descartar la anterior.

Con respecto al PNA, la escasa concentración en setiembre y octubre, no se debe al efecto depresor de las precipitaciones (correlaciones no significativas) ya que en 1993 son nulas o escasas y en 1994 son considerables; sino que se debe a la falta de especies anemófilas en flor, especialmente de pastos, los cuales comienzan a florecer abundantemente recién en noviembre.

La presencia de PNA, determinada principalmente por la alta T°C y la baja HR, parece resultar de los efectos fisiológicos de la suma de T°C sobre el crecimiento y reproducción de las plantas herbáceas como fue explicado anteriormente, y no por efectos instantáneos de las variables atmosféricas sobre los granos en suspensión (Trigo *et al.*, 1996).

El PA presenta una correlación negativa con la T°C, significativa en 1993 y no significativa en 1994. Aquí también se relaciona con la fenología floral ya que los árboles comienzan a florecer a fines del invierno con bajas temperaturas y progresa a medida que aumenta la T°C, aunque cuando éstas son máximas (verano) ya no hay prácticamente árboles anemófilos en flor.

Evidentemente, la escala de análisis es sumamente importante al interpretar los resultados. A escala estacional con datos diarios, las asociaciones

entre la concentración de polen y las variables de la atmósfera no están en relación al efecto directo sobre las partículas en suspensión, sino más bien son el resultado de los efectos acumulados a lo largo del tiempo sobre la fenología de las plantas. En cambio a lo largo del día (escala horaria), a medida que las condiciones atmosféricas cambian, tanto la antesis (de las plantas cuya floración ya se ha iniciado o determinado) como la permanencia en la atmósfera de los granos ya emitidos, resultan afectados directamente. Bianchi (1994) considera que la asociación no significativa de la concentración polínica, especialmente con la HR y la VV, no indica ausencia de relación entre las variables sino que la escala semanal que ha considerado, no alcanza valor explicativo. Este sólo se manifiesta a escala temporal menor (horaria). Según Moreno-Grau *et al.* (1998) se deben usar datos horarios porque los promedios diarios pueden distorsionar los efectos reales.

La concentración de polen total presenta un patrón de variación diario (circadiano) con altas concentraciones durante el día y bajas en la noche. El aumento de la temperatura y la disminución de la humedad relativa son condiciones favorables primero para la antesis y dehiscencia de anteras (Recio *et al.*, 1997) y luego para la permanencia del polen en el aire (O'Rourke, 1986). El aumento de la velocidad del viento generando turbulencia atmosférica (condiciones inestables) hace que el polen se descargue a la atmósfera (emisión) y sea transportado (Käpylä, 1984). La proporción de la variabilidad de la concentración polínica explicada por las variables atmosféricas es siempre baja ya que sus efectos son muy complejos (Hart *et al.*, 1994).

En la H8 y la H18, se produce el cambio en la tendencia diaria tanto del PT (con concentraciones intermedias) como de las variables meteorológicas. Las variaciones en la dirección de los vientos predominantes durante el día describen el sistema de brisa marina que también favorece la disminución de la concentración polínica total por la tarde (desde el mar hacia el continente) (Bianchi, 1992).

La relación polen-variables meteorológicas analizada a escala horaria, se vincula directamente con la dinámica de la nube polínica, modificando la concentración en la atmósfera. En cambio, a una escala mayor, los efectos principales son sobre la fenología de las especies emisoras, por lo que su influencia es indirecta.

CONCLUSIONES

1. El 54% de los tipos polínicos de la atmósfera de Mar del Plata son entomófilos, pero sólo aportan entre el 5 y 7 % del polen total (PT).
2. Sólo 11 tipos polínicos (13%) se presentaron con moderada y alta concentración, de los cuales sólo *Platanus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Myrtaceae* y *Pinaceae* dentro de los arbóreos y *Poaceae* y *Plantago* dentro de los herbáceos, reúnen más del 50% del PT cada año.
3. *Cupressus* se halla sobrerrepresentado en el espectro.
4. La mayor concentración polínica ocurre entre fines del invierno y en primavera; en verano es baja, y en otoño y principios del invierno se produce el mínimo de concentración ya que no hay prácticamente plantas en flor que estén aportando polen.
5. El polen arbóreo (PA) se registra principalmente durante la primavera y el polen no arbóreo (PNA) durante el verano.
6. Hay mayor concentración diaria del polen durante las horas de luz (entre las 10 y las 16) y menor concentración durante la noche. Esto se debe al patrón circadiano de la temperatura del aire, y de las variables asociadas como humedad relativa y velocidad del viento (menor la primera y mayor la segunda cuando se observan las altas temperaturas del día).
7. La concentración total de cada año fue similar aunque entre agosto y octubre la concentración de 1993 fue mayor a la de 1994 y la de noviembre menor, debido a las distintas productividades anuales de los taxones arbóreos.
8. En general, el PA presentó mayores valores de concentración en 1992/93. Las condiciones climáticas estacionales previas fueron favorables para una alta productividad de los árboles en este período.
9. Un patrón bianual de productividad polínica en *Quercus ilex*, *Betula pendula* y *Celtis tala* determina un comportamiento independiente de las condiciones climáticas estacionales previas y que resulta opuesto al del resto de los árboles.
10. El PNA fue levemente mayor durante 1994/95 aunque el taxón más importante (*Poaceae*), no mostró diferencias en los totales anuales.

- 11.**El inicio de la polinización de los taxones arbóreos anemófilos ocurre antes en 1993 y, al igual que la floración, la duración es mayor en ese año. Sin embargo, el registro de polen es más variable entre años que la floración debido a la diferencia en el final del período de polinización (pp).
- 12.**Las diferencias entre el polen y la floración en la etapa final se reduce al considerar el período principal de polinización (ppp). Sin embargo, este concepto y su significado biológico debe evaluarse conjuntamente con el conocimiento de la floración.
- 13.**Las diferencias interanuales importantes en los máximos se debe al aporte diferencial de distintas especies dentro de un mismo taxón. Esto ocurre en pocos casos como Myrtaceae (*Callistemon* y *Eucalyptus*) y *Celtis* (*C. australis* y *C. tala*).
- 14.**La concentración máxima se registra en setiembre y octubre asociado a los máximos de floración.
- 15.**El porcentaje acumulado de polen sigue el mismo patrón cada año, con bajas concentraciones al principio y al final, y altas en un breve período entre ambas fases. Estas mismas características fueron observadas en el progreso de las fenofases florales a lo largo del tiempo.
- 16.**Los períodos de polinización muy extensos se relacionan con taxones compuestos por distintas especies con floraciones no simultáneas.
- 17.**El efecto de las precipitaciones sobre la concentración polínica no es claro al considerar conjuntamente todos los tipos polínicos a lo largo del año.



Foto 3.1:
Muestreador de polen
Burkard.

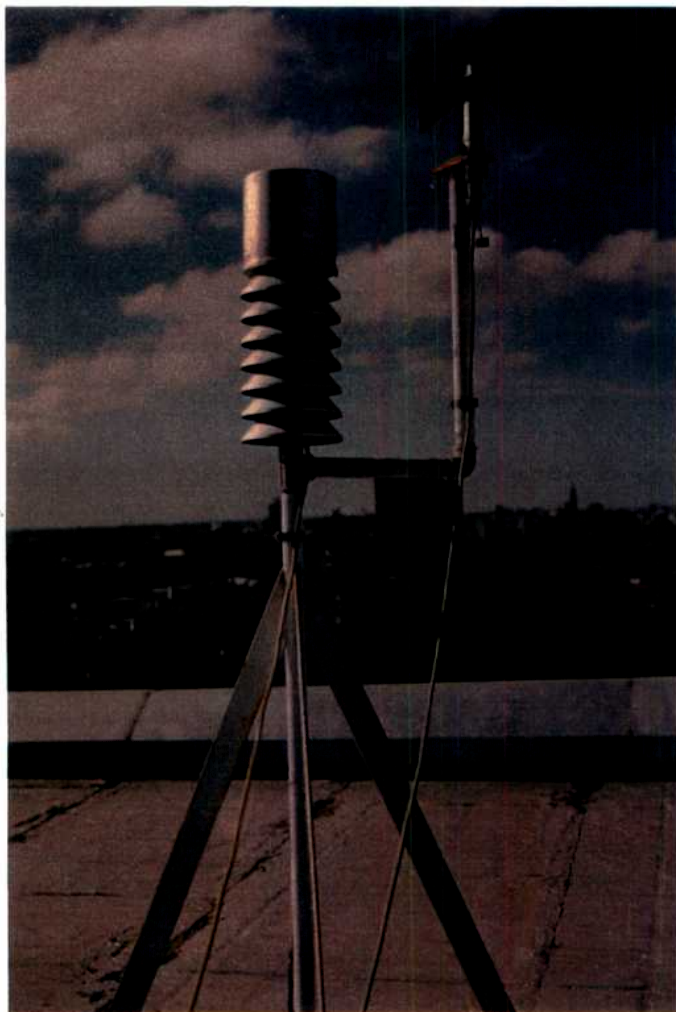


Foto 3.2:
Estación meteorológica

TABLA 3.1: Tipos polínicos determinados en la atmósfera de Mar del Plata durante los dos períodos analizados: 12/92-11/93 y 3/93-2/95. En la última columna se indican los tipos polínicos exclusivos registrados sólo en uno de ellos.

TIPOS POLINICOS		1992/93
Acer	Monocotyledoneae inaperturada ⁵	Ailanthus
Aesculus	Moraceae ⁶	Bougainvillea
Alnus	Myoporum	Chorisia
Ambrosia	Myriophyllum	Dichondra
Apiaceae	Myrtaceae	Eleagnaceae
Artemisia	Nothofagus	Lomatia
Asteraceae Asteroideae ¹	Olea	Oxalis
Asteraceae Cichoriodeae	Pinace ⁷	Sambucus
Betula	Plantago	Trapaeolum
Brassicaceae	Platanus	
Caryophyllaceae	Poaceae	1994/95
Castanea	Políada de Mimosoidea	A. campestris
Casuarina	Poligonaceae	Araucaria
Celtis ²	Populus	Carya
Chenopodiineae	Prosopis	Cucurbitaceae
Citrus	Prunus	Datura
Corylus	Ricinus	Dodonea
Cupressaceae	Rosaceae ⁸	Geraniaceae
Cyperaceae	Rumex	Gynkgo
Echium	Quercus robur	Ligustrum
Ephedra	Quercus ilex	Phytolacca dioica
Euphorbiaceae	Viburnum	Ranunculaceae
Fabaceae Papilionoidea ⁴	Salix	Rutaceae ⁹
Fagus	Schinus	Sapium
Fraxinus ³	Solanaceae	Scrophulariaceae
Grevilea	Tilia	Tétrada de Mimosoidea
Juglans	Typha	
Labiatae	Ulmus	
Lauraceae	Urticaceae	
Liquidambar	Verbenaceae	
Monocotyledoneae monocolpada		

¹ incluye t. Leuceria, t. Xantium, t. Mutisia

² incluye C. australis, C. tala

³ incluye F. excelsior, F. americana, F. ornus

⁴ incluye t. Adesmia, t. Gleditsia, t. Trifolium, t. Vicia, t. Stiphnolobium

⁵ incluye Juncaceae, t. Triglochin

⁶ incluye Maclura

⁷ incluye Cedrus, Pinus

⁸ incluye t. Rosa, t. Franseria

⁹ incluye t. Fagara

Tabla 3.2: Distribución estacional del polen atmosférico discriminado según la forma de vida de las plantas que lo han emitido y expresado como porcentaje del total anual. En la última columna se indica la concentración total en cada período.

		VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	TOTAL ANUAL
POLEN ARBOREO	1992/93	3	4	14	40	4201
	1994/95	4	5	6	34	3010
POLEN HERBACEO	1992/93	26	5	1	7	2726
	1994/95	24	9	1	17	3139

Tabla 3.3: Características de la estación de polinización de los taxones arbóreos con moderada y alta concentración (más de 20 gr/m³) y que representan una proporción mayor a 0.5% del polen total (PT) y mayor al 1% del polen arbóreo (PA). Se indican en **negrita** los taxones con más de 200 gr/m³. pp: período de polinización, ppp: período principal de polinización. Para cada taxón se indican los datos de 1993 en la primera fila, y los de 1994 en la segunda. Se excluyeron *Castanea*, *Moraceae*, *Nothofagus* y *Pinaceae* (ver texto).

TAXON ARBOREO	gr/m ³	% PT	% PA	día inicio	día final	día máximo	gr/m ³ máximo	pp	día 5%	día 95%	ppp
Acer	167 109	2.4 1.8	4 3.6	9/8 2/9	20/11 14/11	15/9 21/9	25 28	103 73	12/9 13/9	8/10 13/10	26 30
Alnus ¹	1 4		0.1 0.1	6/8 20/8	12/9 28/9			37 39			
Betula	27 73	0.4 1.2	0.6 2.4	31/8 6/9	4/11 28/10	3/10 21/9	5 17	65 52	19/9 20/9	23/10 15/10	34 24
Celtis ²	101 179	1.5 2.9	2.4 5.9	16/9 13/9	24/2 16/2	19/9 14/11	10 22				
Corylus ³	8 4	0.1 0.1	0.2 0.1	2/7 21/7	29/8 27/9	8/8 23/7	1 1	58 68	3/7 21/7	26/8 11/9	54 52
Fraxinus	282 193	4.1 3.1	6.7 6.4	26/6 8/6	8/11 14/12	13/10 21/9	14 12	135 189	20/7 1/8	25/10 19/10	91 85
Juglans	68 60	1 1	1.6 2	25/9 1/10	23/11 23/11	13/10 14/10	13 6	59 53	5/10 5/10	1/11 9/11	27 35
Liquidambar	31 6	0.4 0.1	0.7 0.2	4/9 15/9	7/11 11/10	6/10 4/10	12 1	64 26	27/9 15/9	10/10 11/10	13 26
Myrtaceae⁴	423 245	6.1 4	10 8.2			24/6 2/1	16 21				
Platanus	1061 529	15 8.6	25 18	11/9 2/9	23/11 25/11	25/9 22/9	142 109	73 84	15/9 21/9	12/10 12/10	27 21
Pópulus	164 102	2.4 1.7	3.9 3.4	25/8 27/8	25/11 5/11	15/9 20/9	44 19	92 70	14/9 11/9	9/11 18/10	56 37
Q. ilex	16 399	0.2 6.5	0.4 1.3	1/11 8/11	23/11 30/11	12/11 16/11	4 223	22 22	9/11 15/11	23/11 28/11	14 13
Q. robur	578 170	8.4 2.8	1.4 5.7	8/9 15/9	23/11 28/11	2/10 13/10	70 42	76 74	18/9 20/9	8/10 14/10	20 24
Salix	27 16	0.4 0.3	0.7 0.5	24/8 3/9	10/11 8/11	19/9 11/9	4 3	78 66	27/8 6/9	4/11 7/11	69 62
Ulmus	757 356	1.1 5.8	1.8 1.2	7/7 12/7	20/11 30/10	22/8 22/8	63 17	136 110	11/7 15/7	8/9 15/9	59 62

¹ se incluye a los fines comparativos a pesar de tener baja concentración.

² el inicio y final indicado en la primera fila no corresponden al mismo pp

³ sólo se consideró el período de polen de *Corylus*

⁴ está presente en todos los meses del año

Tabla 3.4: Taxones herbáceos con moderada y alta concentración (más de 20 gr/m³). Representan más del 0.5% del polen total (PT) y más del 1% del polen no arbóreo (PNA), al menos en uno de los años. Se indican en negrita aquellos con más de 200 gr/m³ anuales. Para cada taxón se indican los datos de 1993 en la primera fila, y los de 1994 en la segunda.

TAXON HERBACEO	gr/m ³	% del PT	% del PNA
Ambrosia	123	1.8	4.5
	220	3.6	7
Apiaceae	59	0.9	2.2
	92	1.5	2.9
Artemisia	48	0.7	1.8
	81	1.3	2.6
Asteraceae Asteroideae	75	1.2	2.8
	126	2	4
Brassicaceae	76	1.1	2.8
	52	0.9	1.7
Cyperaceae	219	3.2	8
	273	4.4	8.7
Chenopodiineae	199	2.9	7.3
	216	3.5	6.9
Papilionoideae	40	0.6	1.5
	58	0.9	1.9
Plantago	355	4.8	12
	408	6.6	13
Poaceae	1454	21	53
	1470	24	47
Rumex	24	0.3	0.9
	31	0.5	1
Urticaceae	24	0.4	0.9
	23	0.4	0.7

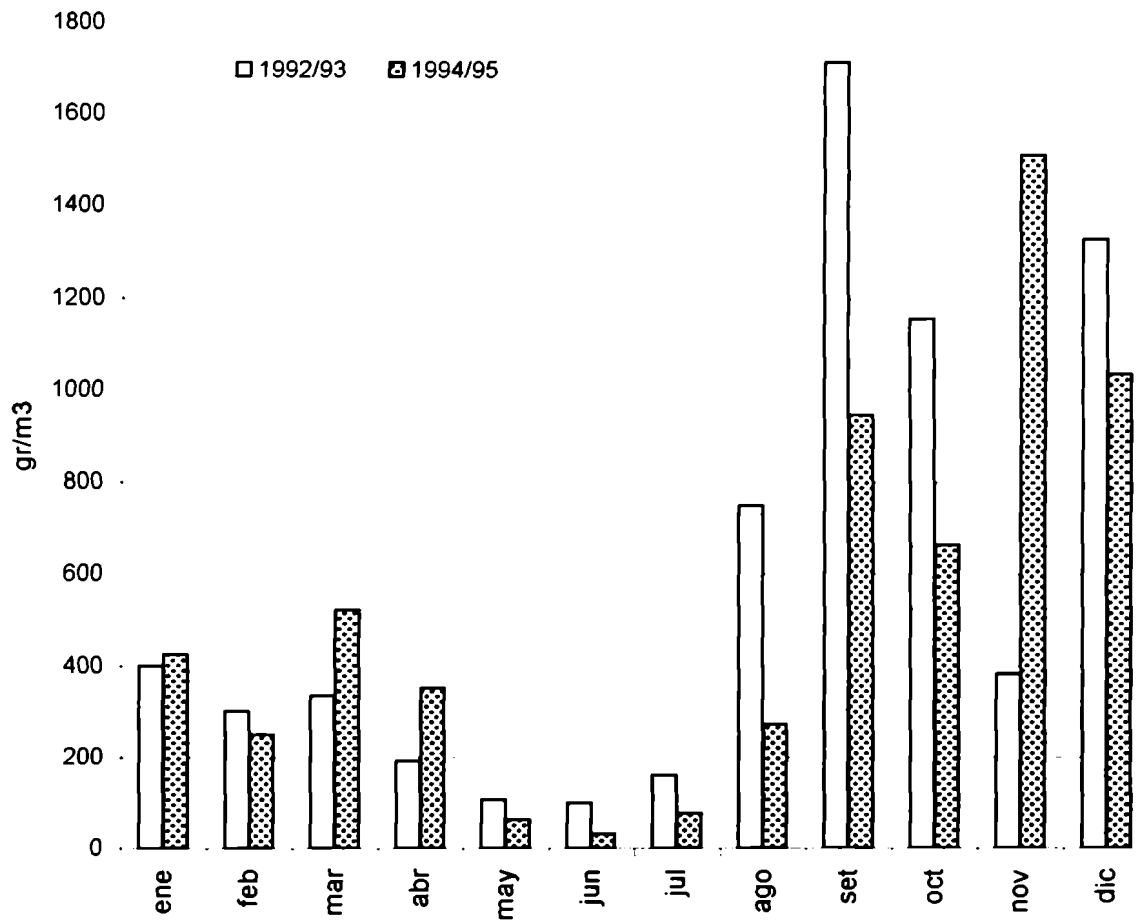
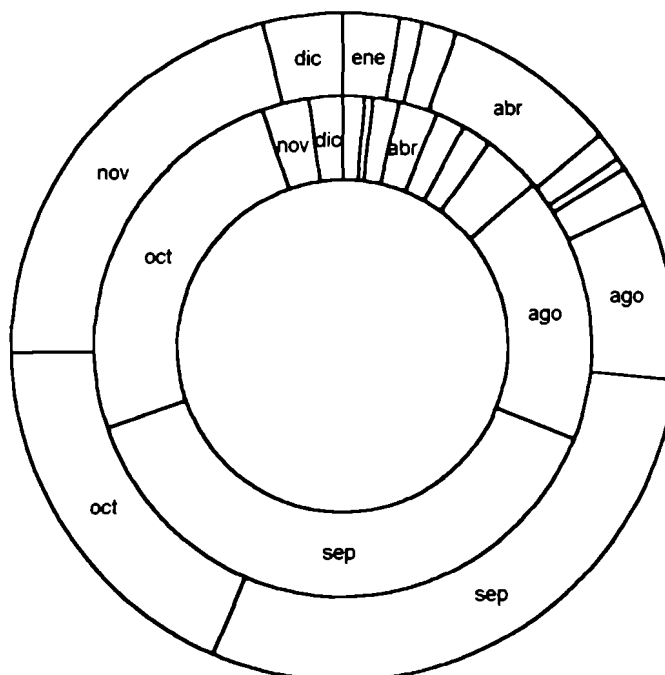


Figura 3.1: Concentración mensual del polen total en cada período analizado.

Polen arbóreo



Polen herbáceo

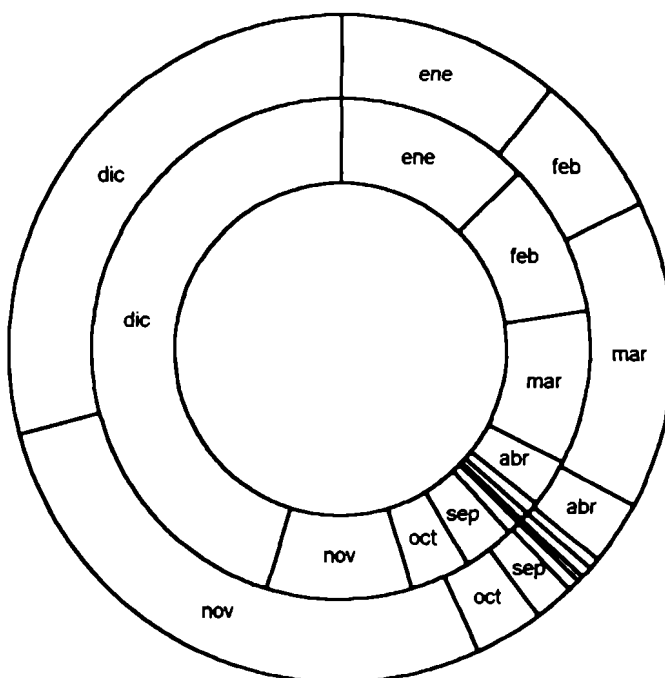


Figura 3.2: Porcentaje mensual del polen arbóreo (PA) y del polen herbáceo (PNA) respecto del total anual. En el círculo interno se representó el período 1992/93 y en el externo el período 1994/95.

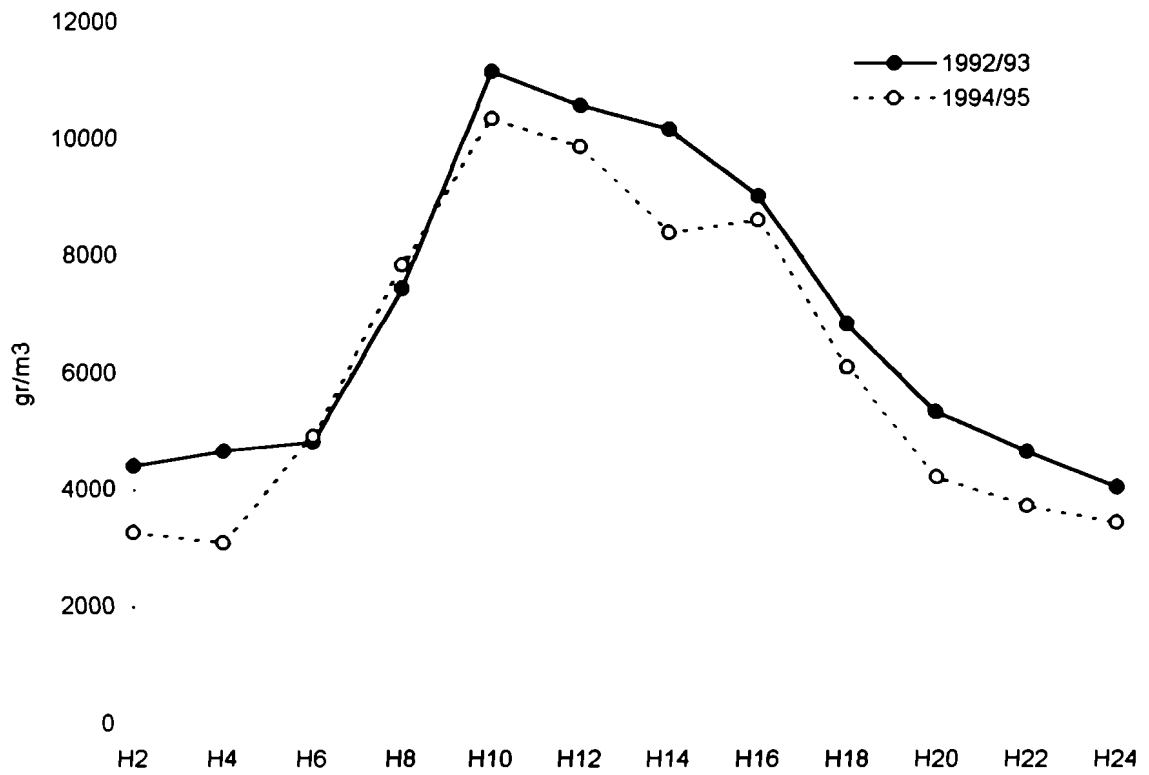
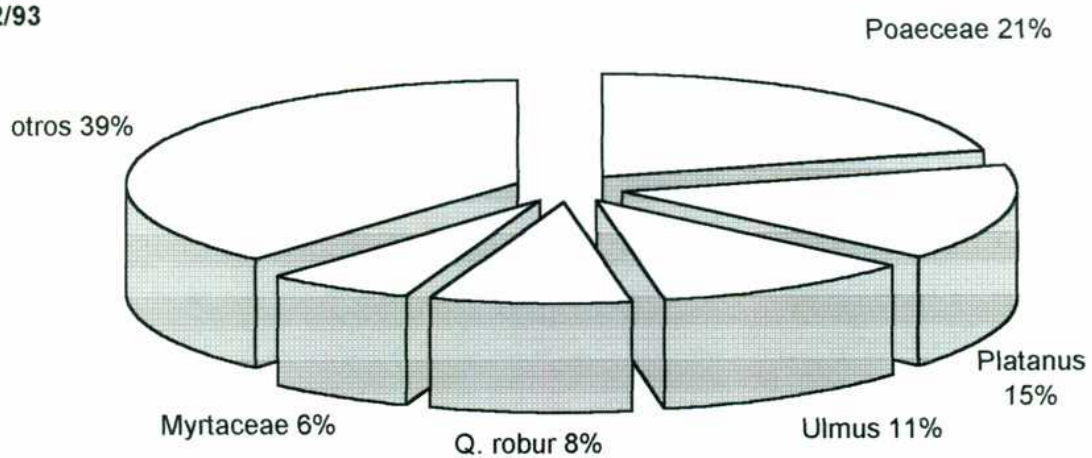


Figura 3.3: Concentración horaria del polen total en cada período analizado.

1992/93



1994/95

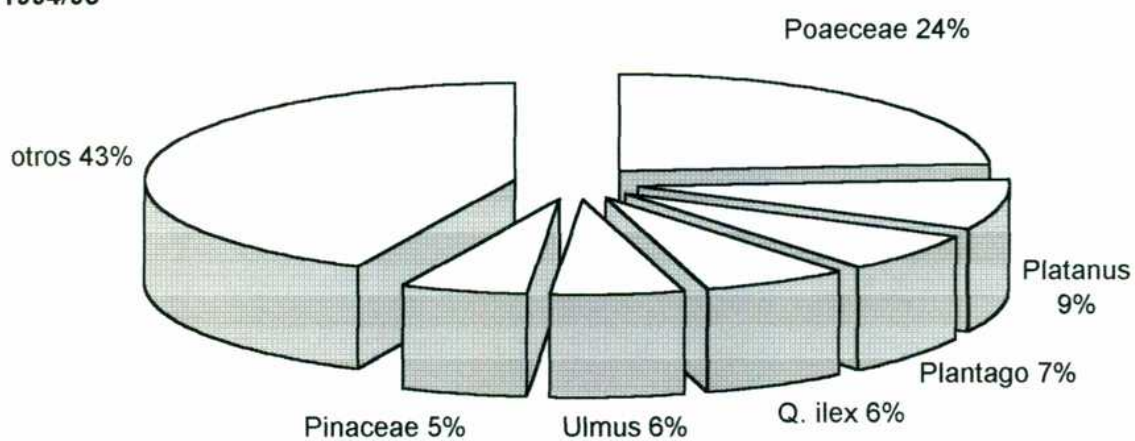


Figura 3.4: Porcentaje anual de los taxones con más del 5% del polen total en cada período.

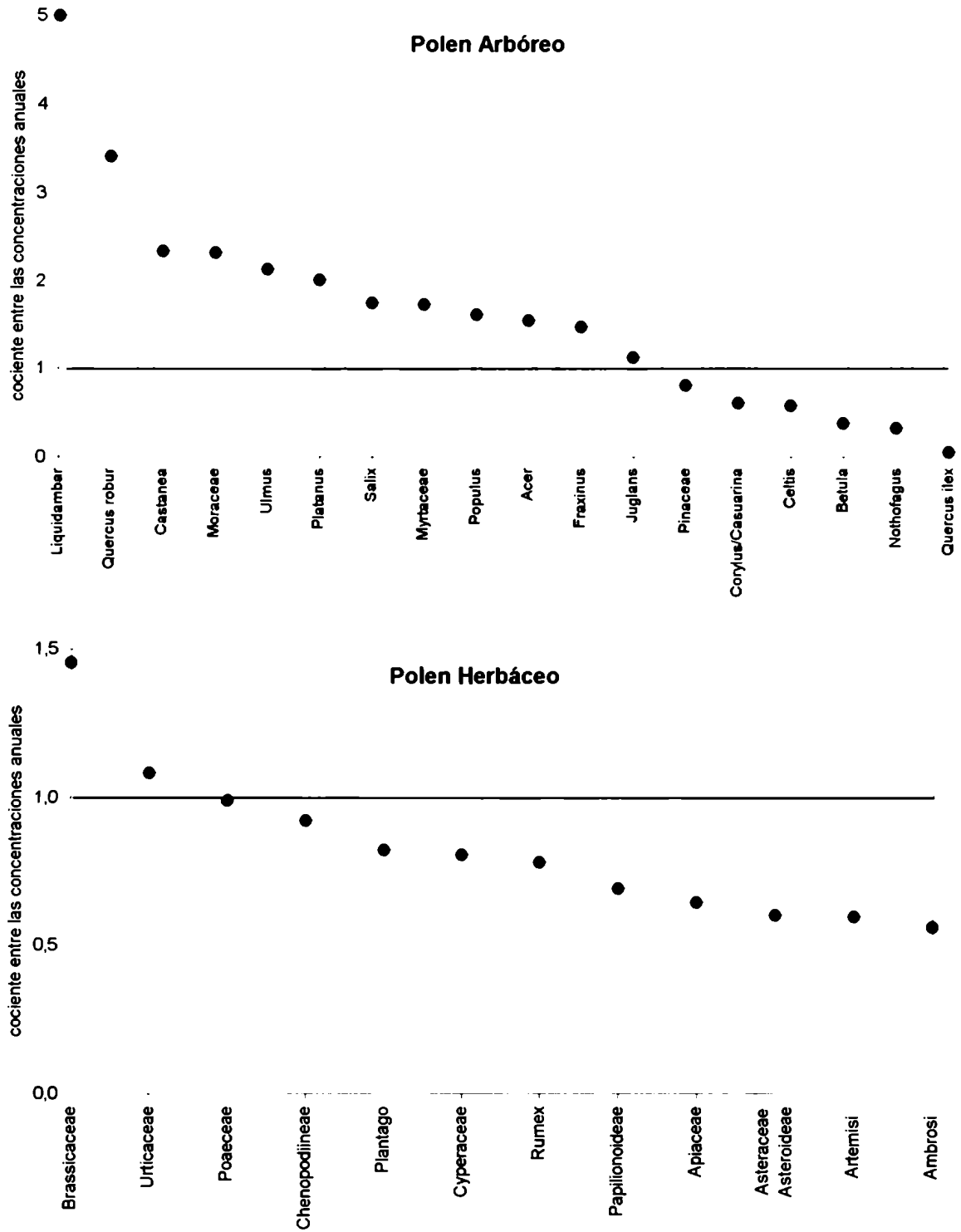


Figura 3.5: Diferencias interanuales de los taxones con moderada y alta concentración. Los valores mayores a 1 indican taxones con mayores concentraciones en el primer año analizado.

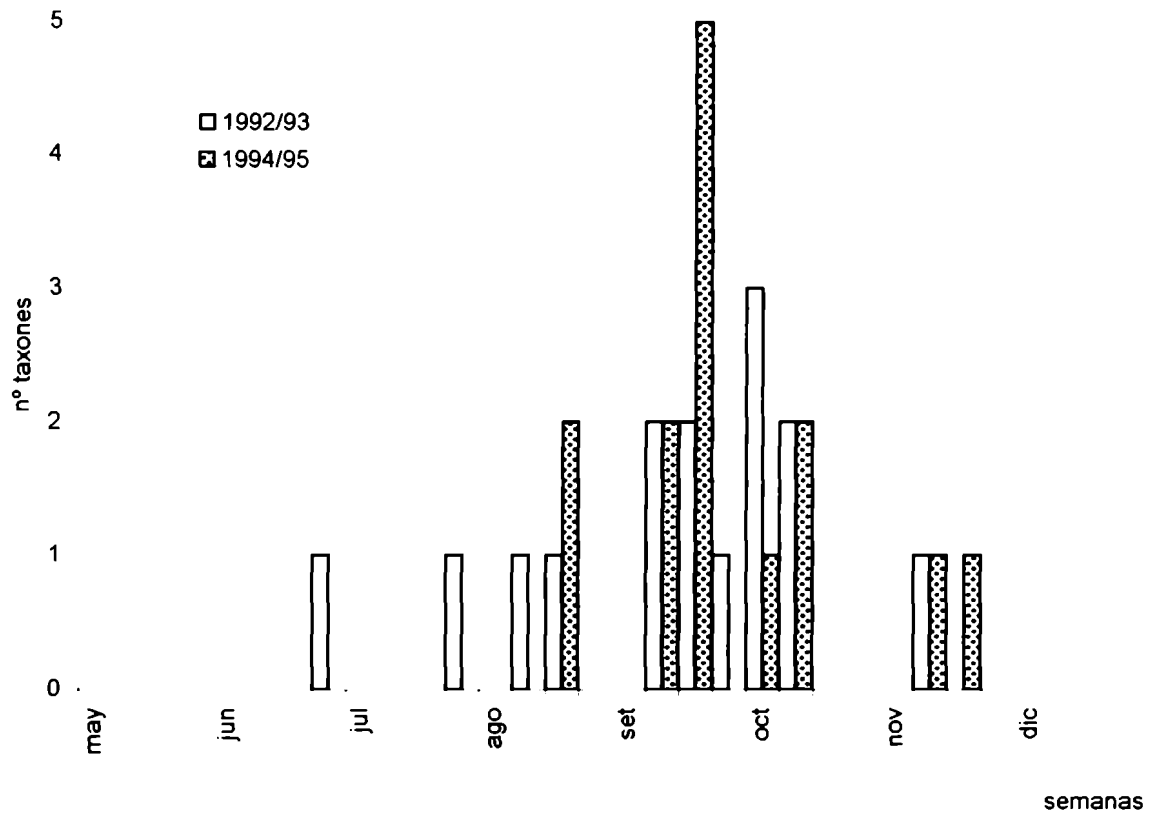


Figura 3.6: Número de taxones anemófilos en su fase de máxima polinización.

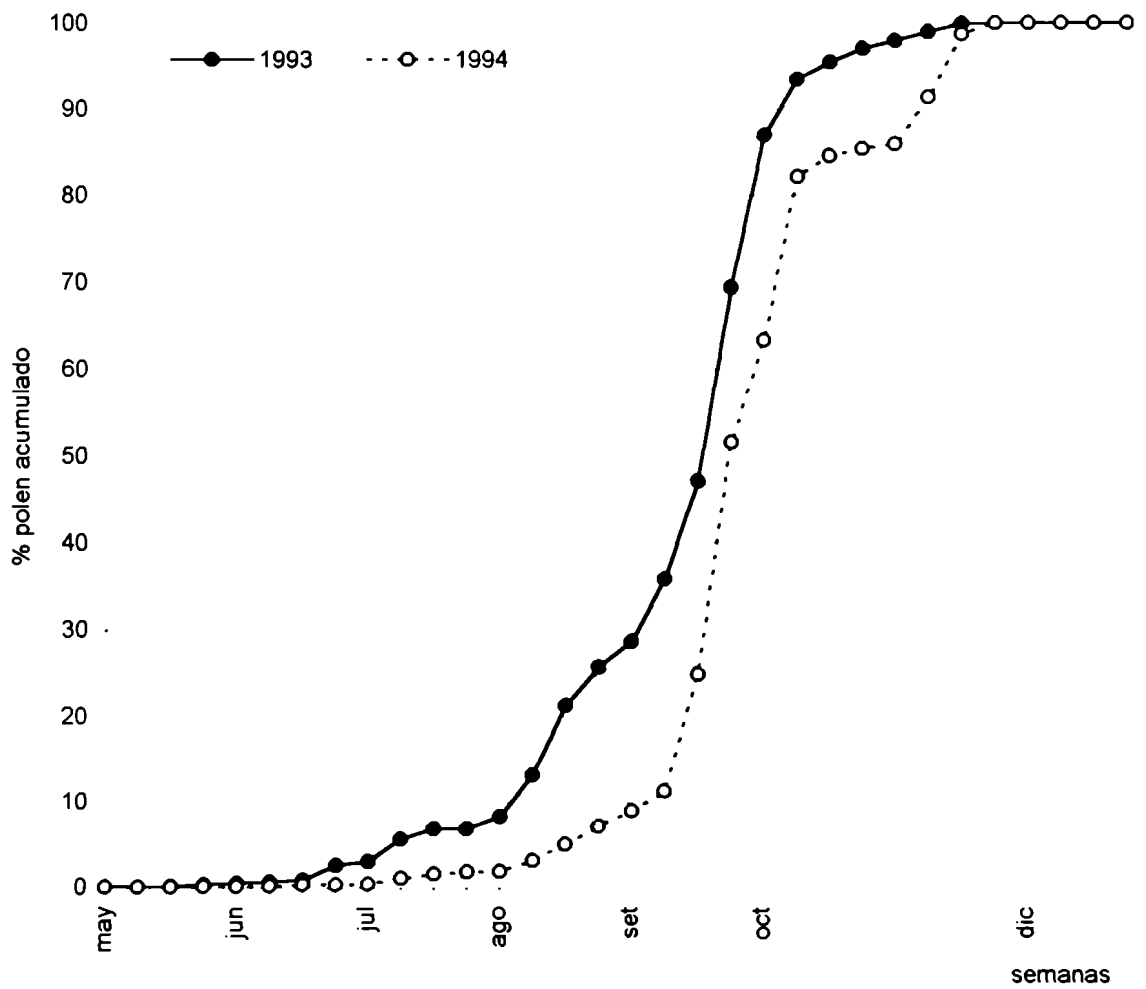


Figura 3.7: Porcentaje acumulado del polen de los 16 taxones arbóreos anemófilos más importantes.

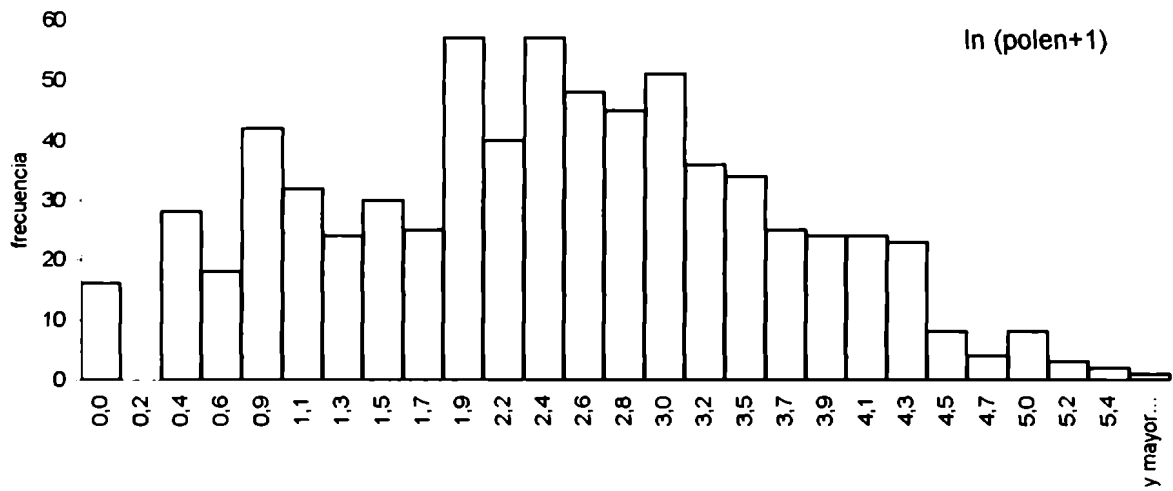
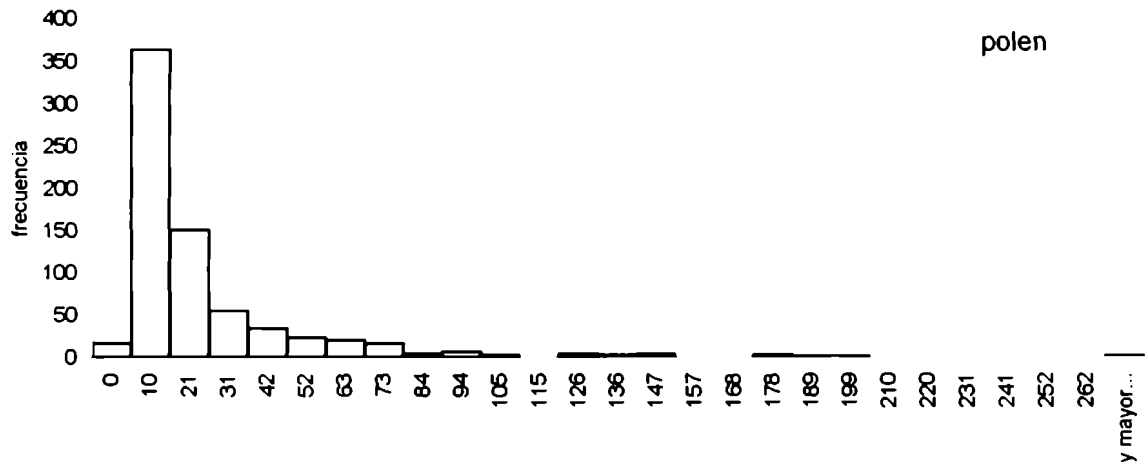


Figura 3.8: Distribución de la variable polínica (polen total) y de sus valores transformados.

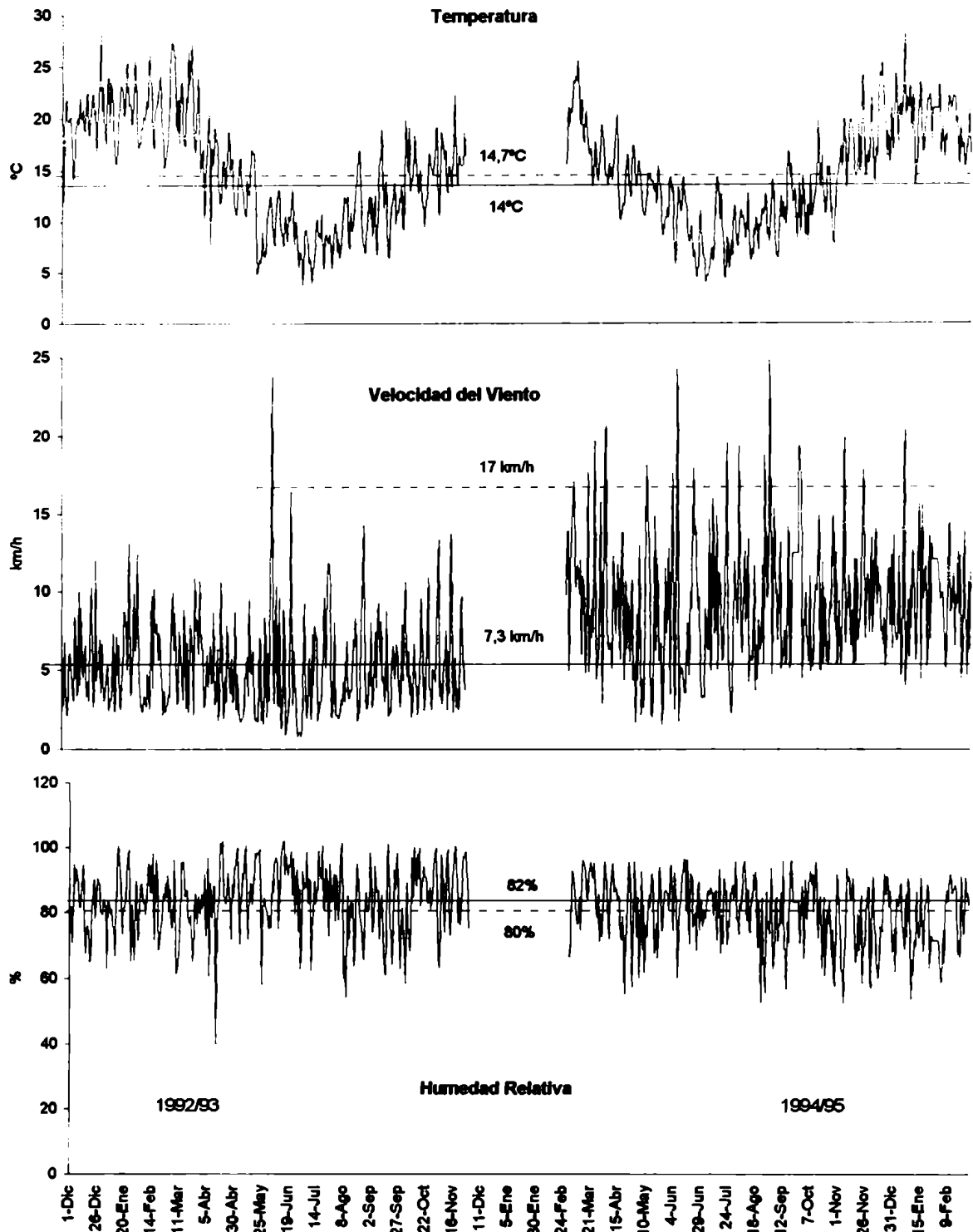


Figura 3.9: Datos diarios de las variables meteorológicas del sitio de muestreo polínico. Las líneas horizontales indican los valores medios de los dos años analizados y las de puntos el promedio 81-90 del SMN.

- 1992/93
(5%)
- ▨ 1994/95
(4%)
- 1981/90
SMN (11%)

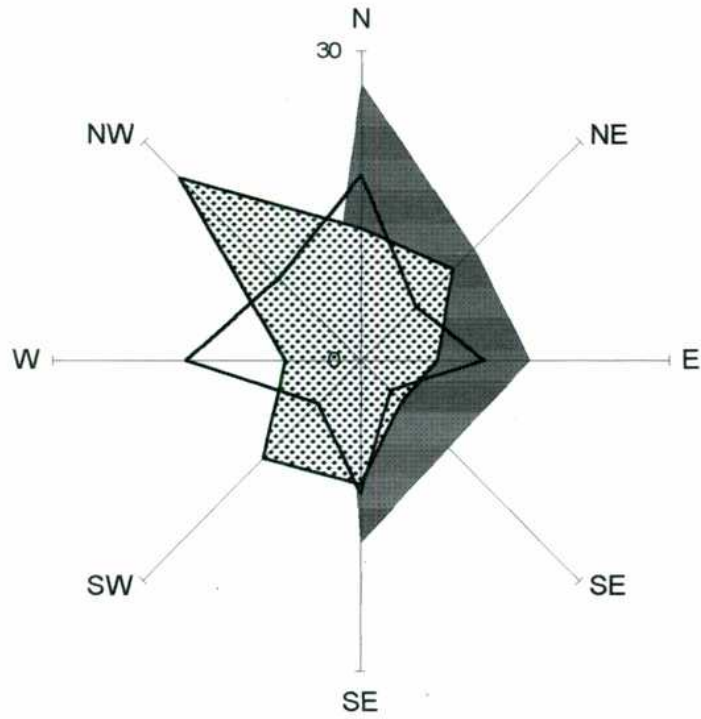


Figura 3.10: Frecuencia (en porcentaje) de los vientos en cada dirección. Entre paréntesis se indica la frecuencia de las calmas para cada intervalo.

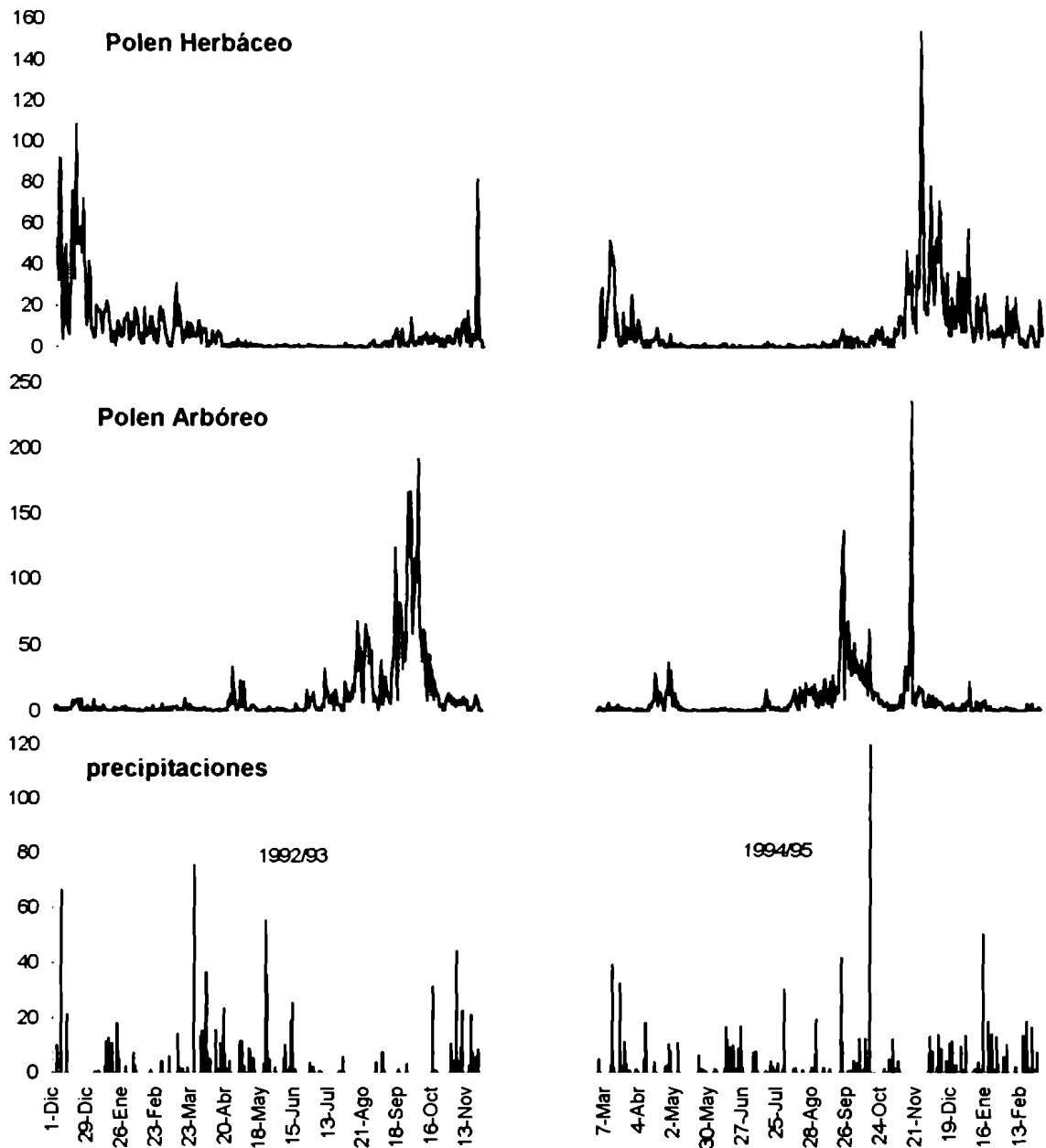


Figura 3.11: Concentración diaria del polen arbóreo y del polen herbáceo y precipitaciones diarias de los períodos analizados.

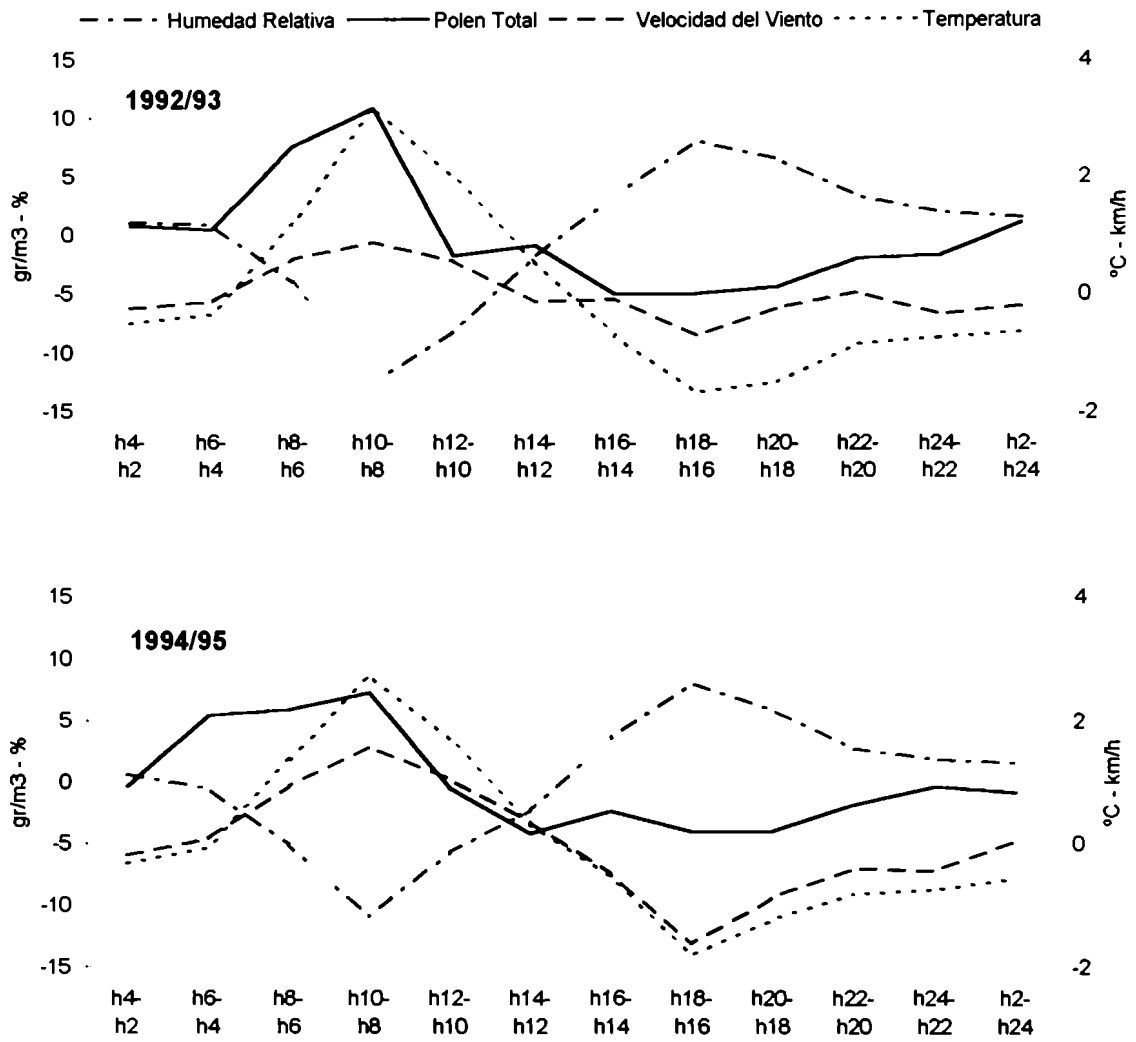


Figura 3.12: Diferencias entre horas consecutivas del polen total y de las variables meteorológicas en cada período analizado.

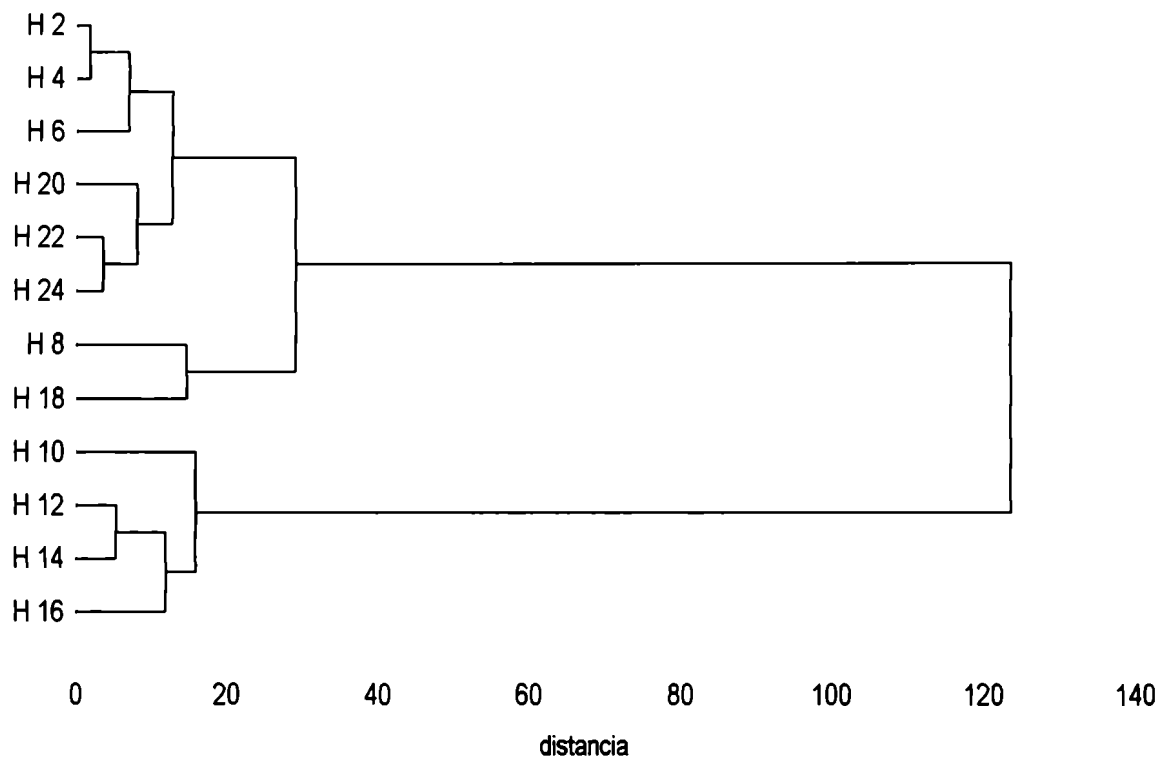


Figura 3.13: Análisis de agrupamiento de las horas según las variables polínicas (polen total) y meteorológicas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) de los dos períodos conjuntamente.

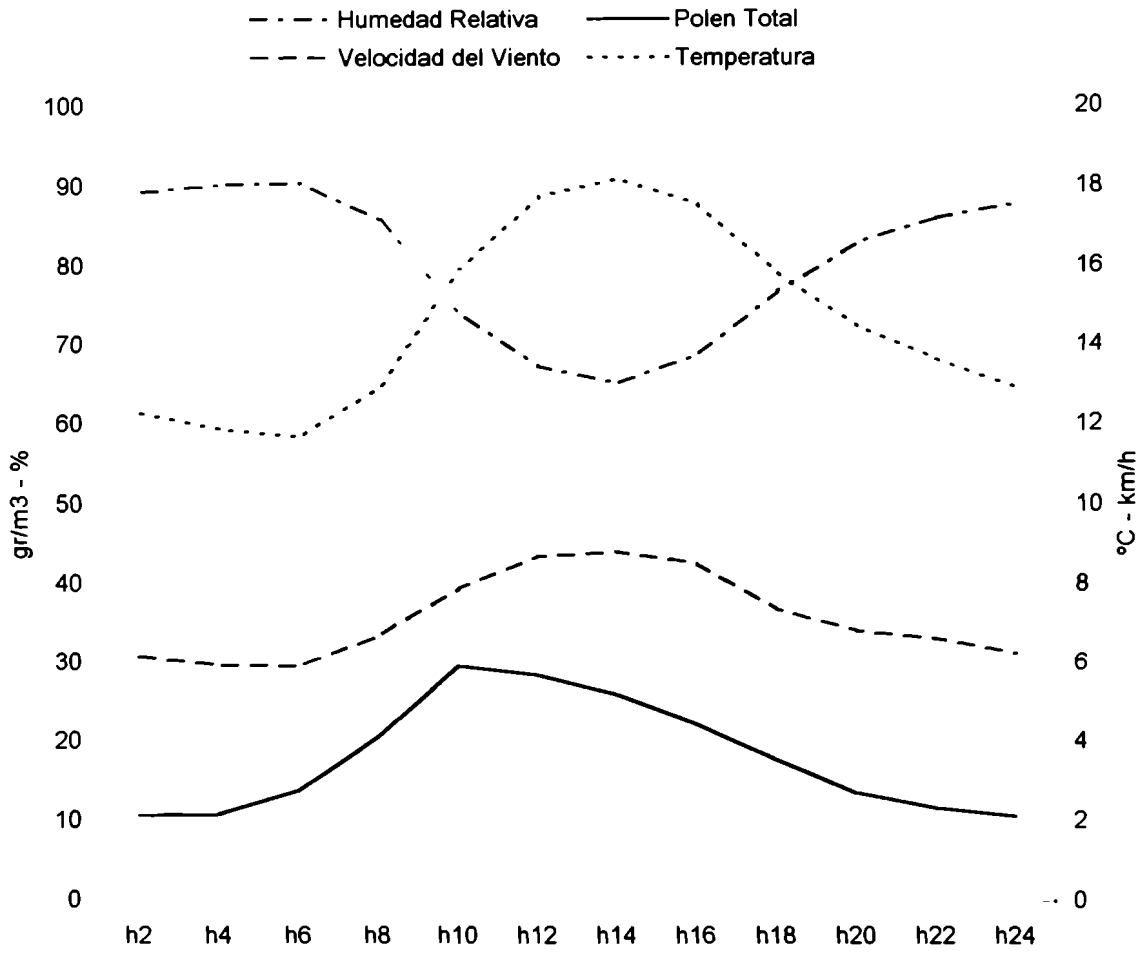
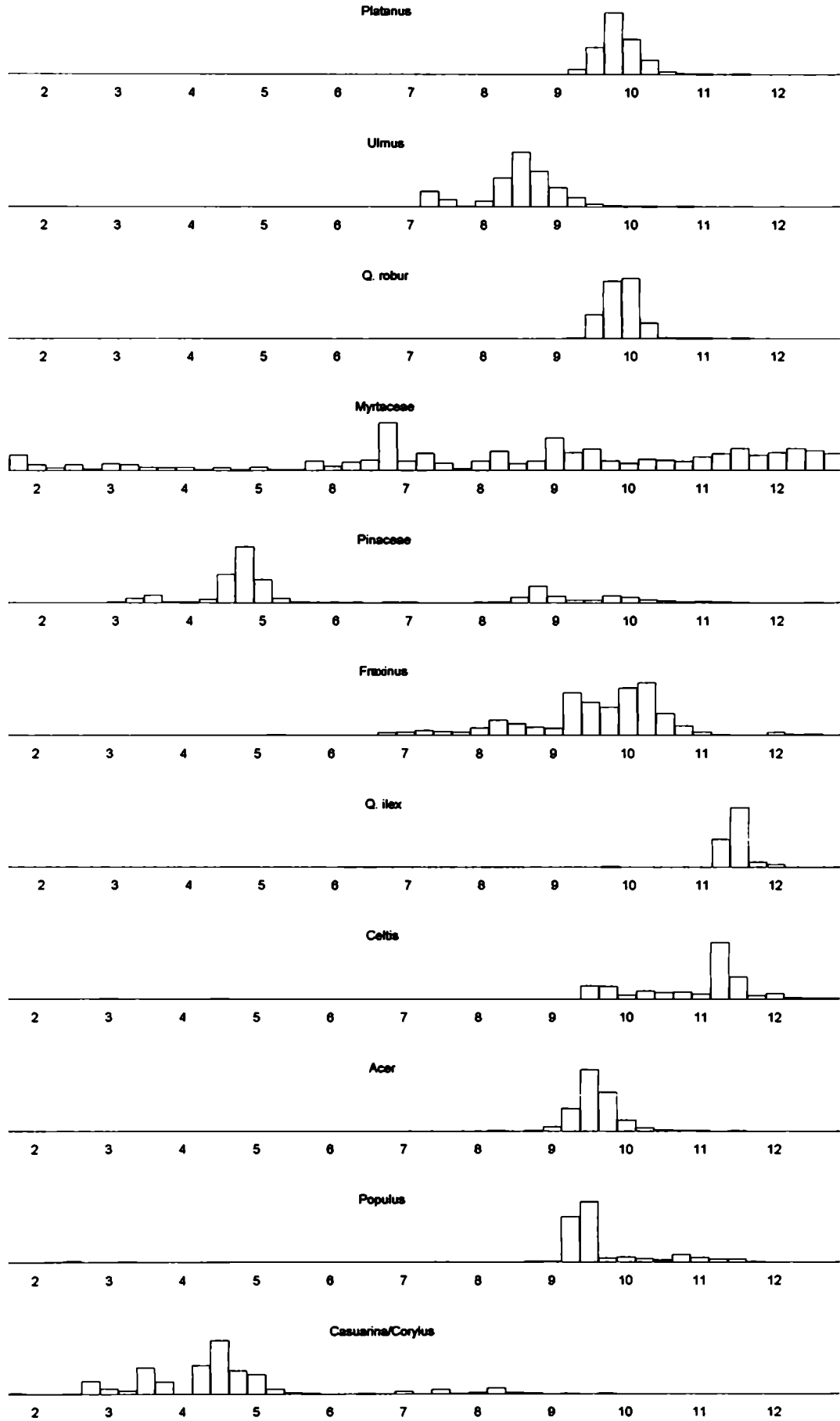
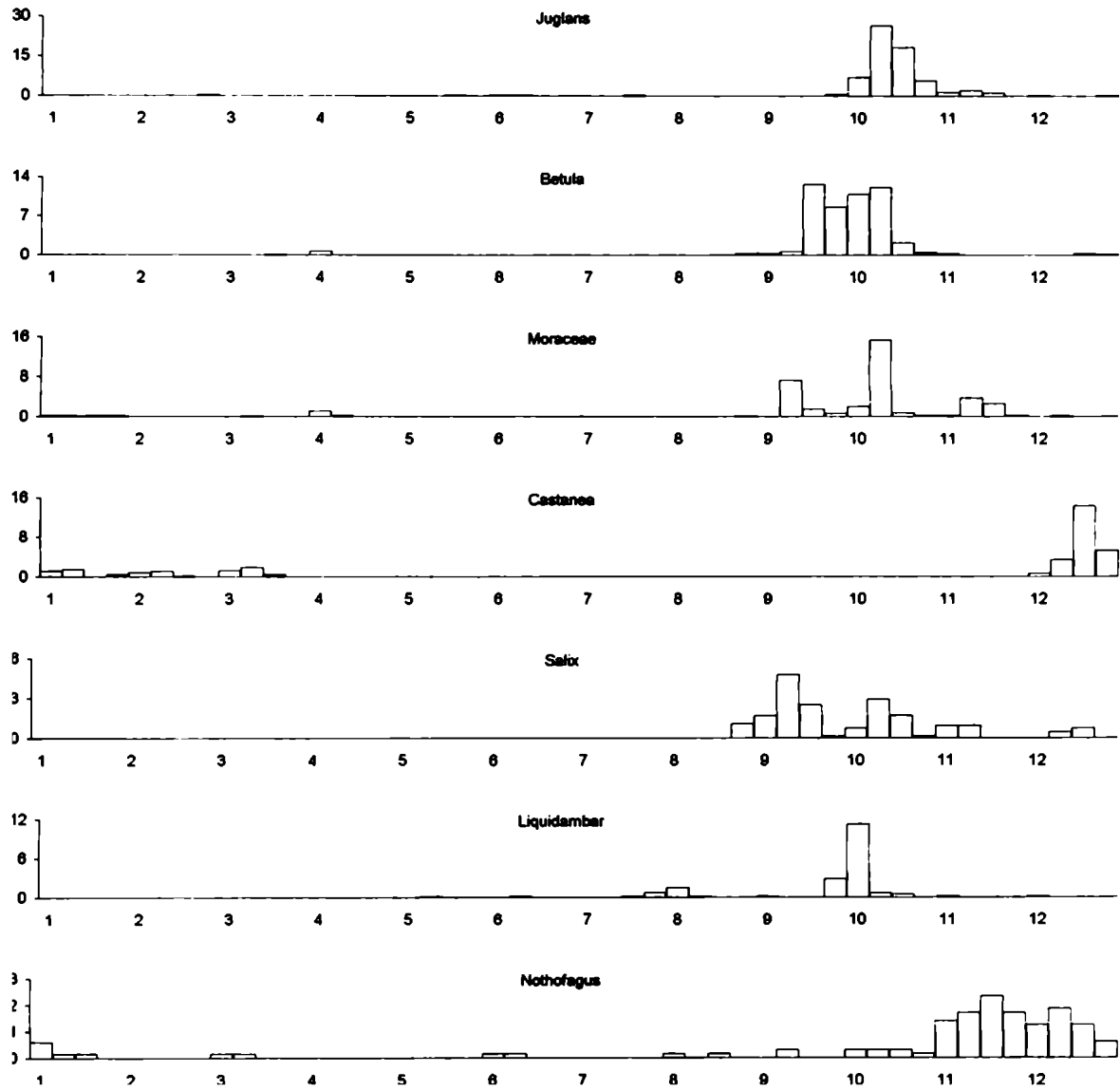


Figura 3.14: Variación de la concentración polínica atmosférica y de las variables meteorológicas a lo largo del día (promedio de los dos años).

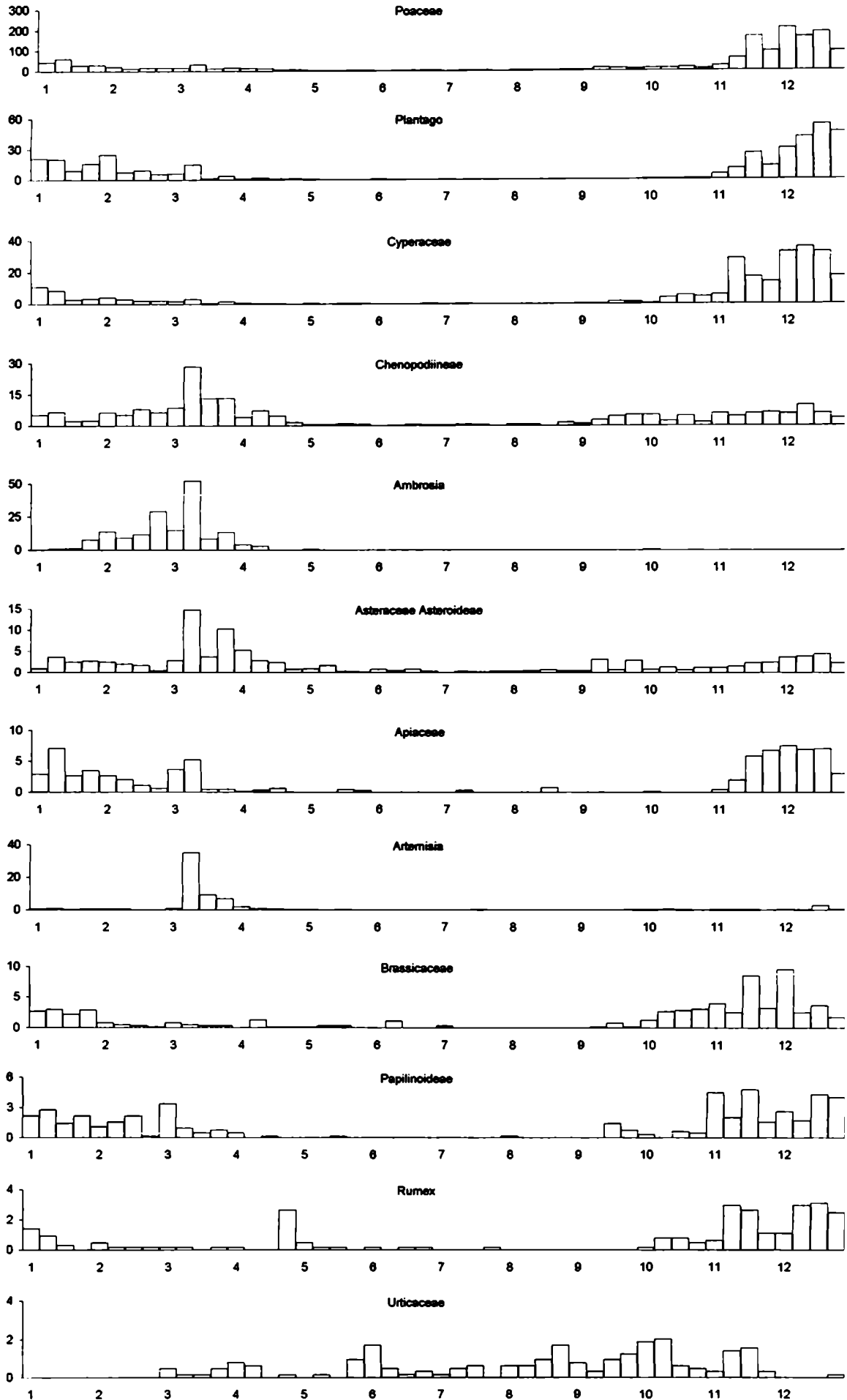
Calendario 3.1: Calendario polínico de Mar del Plata (árboles).



Calendario 3.1: Calendario polínico de Mar del Plata (árboles).



Calendario 3.1: Calendario polínico de Mar del Plata (hierbas).



CAPITULO 4

ANALISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA VEGETACION EN EL ESPECTRO DE POLEN ATMOSFERICO

INTRODUCCION

En términos generales, se acepta que el polen representa a la vegetación emisora en un momento dado, o sea que es indicativo de la presencia de las plantas productoras de polen en un área cercana. Está claro, sin embargo, que no existe una relación simple y directa entre la cantidad de ciertos tipos polínicos y la abundancia de fuentes emisoras (como fue explicado en el capítulo 1). Esto se debe a que algunas especies, especialmente los taxones anemófilos, liberan grandes cantidades de polen al aire y entonces, tienen una representación en el espectro polínico relativamente alta comparada con los taxones entomófilos, los cuales descargan sólo pequeñas cantidades de polen a la atmósfera (Spieksma *et al.*, 1994).

Los modelos analógicos (Birks & Gordon, 1985) permiten interpretar la relación entre el polen y la vegetación, sin embargo, no dan cuenta de la intensidad de la emisión de cada taxón ni tampoco de la manera diferencial en que los granos de polen pueden ser afectados durante el transporte (Bianchi, 1994). La presencia de polen en la atmósfera está determinada, y resulta modificada, por varios controles que interactúan y que es necesario evaluar para conocer la representatividad de las fuentes emisoras en el espectro polínico. Estos problemas sólo pueden abordarse adecuadamente, a partir del análisis de polen aerotransportado (Subba Reddi & Reddi, 1985). Es por ello, que el análisis aerobiológico da una nueva perspectiva a las interrelaciones entre los organismos vegetales y su ambiente.

Una pregunta abierta en Palinología que aún no tiene una respuesta no ambigua, es cuál es el tamaño del área ocupada por la vegetación que sea comparable con las muestras de polen. Dicho de otra manera, se desea conocer cuáles son las fuentes emisoras del polen registrado. Existen diferentes modelos

que consideran la ubicación y tipo de fuente emisora para estimar el área de aporte de polen (Janssen, 1966; Tauber, 1977; Käpylä, 1984). Dos de las aproximaciones más importantes para resolver esta cuestión, son: 1) el área de la cual se origina entre el 60 y 80 % del polen (Jackson, 1990) y 2) el área que da el mejor ajuste lineal entre el porcentaje de polen y el porcentaje de árboles para un taxón dado (Brandshaw & Webb, 1985). Este tipo de estudios han sido realizados a partir de muestras de suelo superficial o de trampas biológicas como musgos y en bosques naturales, donde la dispersión está bastante restringida: 25-50 % dentro de los 20 m (local), 40-60 % unos pocos cientos de metros (extralocal) y menos del 15 % algo más de unos pocos cientos de metros (regional) (Jacobson & Brandshaw, 1981). La problemática en las ciudades puede resultar semejante por la interferencia que la edificación puede ocasionar en el transporte de polen, con un efecto substancial de filtro similar. Aunque en los centros urbanos no existe, generalmente, una población de árboles concentrada en un espacio reducido, por lo cual, los individuos en su mayoría, se encuentran dispersos. Además, las muestras de polen se obtienen de la atmósfera y no existe el problema de subrepresentación de tipos polínicos con paredes frágiles como ocurre en muestras de suelo o de trampas biológicas.

En áreas abiertas, el polen es una función de la cobertura o número de árboles dentro de una determinada área multiplicado por una constante correspondiente a la productividad de los árboles de esa especie, más el polen derivado de zonas más alejadas (Andersen, 1973). El polen que se origina de fuentes regionales o extrarregionales puede ser transportado distancias más o menos extensas, dependiendo de varios factores.

Por un lado, la dispersión de polen resulta fuertemente afectada por la distribución espacial de las fuentes emisoras. Cuando las plantas están espaciadas, el polen es transportado al menos unos pocos cientos de metros (Stacy *et al.*, 1996). Este transporte depende del movimiento de las masas de aire. Teniendo en cuenta que dentro de las ciudades el patrón de vientos es muy variable y particular, pueden existir ciertas direcciones con mayor frecuencia y/o velocidad (Cap. 3) lo cual alteraría la representación del polen. La dirección del viento juega un rol fundamental, ya que se espera una mayor concentración cuando el viento proviene del sector donde más elevado es el número de plantas (Mandrioli *et al.*, 1980). Este último punto se evaluará en el capítulo siguiente.

Por otra parte, según Prentice (1985) los granos de polen pequeños

tendrán mayores áreas fuentes que los granos grandes. Es decir, la transportabilidad del polen depende en parte, de su tamaño y morfología. Estas características están estrechamente vinculadas con la estrategia reproductiva del taxón (Faegri & van der Pijl, 1979), aunque dentro de cada categoría (síndrome de anemofilia o entomofilia descrito en el capítulo 1), también pueden existir diferencias entre las especies. Es así que, la estrategia de polinización afecta el área de aporte polínico. Para especies de polinización entomófila como por ejemplo la mayoría dentro del género *Acer*, las áreas desde las cuales proviene el polen no exceden los 20 m de diámetro respecto del sitio de muestreo (Yazvenko, 1991). Desafortunadamente, no existen estudios detallados de la biología de la polinización de la mayoría de los taxones arbóreos en relación a la problemática palinológica, especialmente de zonas con estacionalidad climática.

Como se mencionó en el capítulo 1, existe una relación entre el número de plantas y el número de granos de polen en el aire aunque esta relación no siempre es proporcional. Para analizar esta relación, se propuso en este capítulo, a la vegetación arbórea como objeto central de estudio ya que es posible el conocimiento de la ubicación exacta de cada fuente potencial de polen y su presencia no cambia a lo largo del año por efecto de la estacionalidad climática como en el caso de las plantas herbáceas. Por lo tanto, se puede obtener una estimación más precisa de la relación polen-vegetación.

La hipótesis central a testear es que la abundancia y composición de la vegetación determina la concentración y tipo de polen en la atmósfera, respectivamente, pero el mecanismo de polinización, la ubicación y densidad de las fuentes emisoras modifican dicha relación. También, se pondrá a prueba la existencia de una relación directa entre la concentración de polen en la atmósfera y la vegetación anemófila, y por lo tanto, de una representatividad diferencial entre distintos tipos de plantas.

En este capítulo se propone entonces, analizar la relación polen-vegetación, teniendo en cuenta los factores que determinan la representatividad de cada taxón de la vegetación. Evaluar la manera en que se expresan los cambios fenológicos de las fuentes emisoras en el espectro polínico atmosférico teniendo en cuenta todos los factores que intervienen es el complemento indispensable para interpretar, y luego predecir, la dinámica de la vegetación y de la aeroflora a partir del análisis aerobiológico. Este último punto será tratado

en el capítulo siguiente.

En particular, se estableció en qué proporción la vegetación local-extralocal es representativa de la concentración de polen atmosférico y se analizó la posibilidad de la representación de la vegetación regional, lo cual indica un transporte de media-larga distancia. Se establecieron comparaciones entre distintas fuentes o tamaños de áreas fuentes, evaluando la representación según el tipo de estrategia reproductiva.

MATERIALES Y METODOS

Los datos utilizados en este capítulo son los correspondientes a los capítulos 1 (vegetación) y 3 (polen y meteorología). De acuerdo con los datos de floración (Cap. 2), se discriminaron las especies o géneros que contribuyen al tipo polínico de los taxones Pinaceae, *Corylus/Casuarina* y *Celtis*.

Para los taxones representados tanto en la vegetación como en el espectro de polen atmosférico, se calculó el porcentaje de cada variable respecto del total (sin la inclusión de Cupressaceae). La exclusión de Cupressaceae se debe a la sobrerrepresentación observada dadas sus características particulares en este registro polínico, como fue explicado en detalle en el capítulo. 3, y no se relaciona con la sobrerrepresentación definida a través del índice de representatividad de Caramiello *et al.* (1991) (ver más abajo). Para la variable polínica se utilizó el promedio de los totales anuales de cada taxón.

Se realizaron análisis de regresión lineal (Sokal & Rohlf, 1979) donde la variable polínica es la dependiente respecto de la variable vegetacional. Si bien en un principio se transformaron los datos de porcentaje según $\arcsen\sqrt{p}$, los resultados no fueron significativamente diferentes con respecto a los resultados con los datos sin transformar, y por ello, se utilizaron estos últimos para los análisis de regresión lineal posteriores.

Además, se calculó el índice de representatividad de Heim (1970) utilizado por Caramiello *et al.* (1991) en este caso, levemente modificado. Este índice es similar a los valores de representación de polen ("R-values") definidos por Davis (1963). Se obtiene mediante el cociente entre el porcentaje de vegetación (V) y el porcentaje de polen (P) para cada taxón. Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

$V/P < 0.77 \rightarrow$ sobrerrepresentado

$V/P > 0.77$ y $< 1.26 \rightarrow$ equirrepresentado

$V/P > 1.26 \rightarrow$ subrepresentado

Se calculó el índice de distribución intradiurna (IDI) (Trigo *et al.*, 1997) descrito en el capítulo 3, el cual indica el patrón de variación de la concentración polínica a lo largo del día y cuyo significado es el siguiente:

$IDI > 0.20 \rightarrow$ las fuentes se encuentran en las proximidades del sitio de muestreo polínico.

$IDI < 0.10 \rightarrow$ las fuentes son abundantes en zonas alejadas del sitio de muestreo polínico y su polen es transportado medias o largas distancias.

Otra manera de interpretar si las fuentes de polen están próximas o si el polen se origina de fuentes alejadas, es observando el patrón diario de concentración. La falta de un pico de concentración importante (evaluado a través del IDI) o un retraso de éste respecto de lo esperado según las condiciones meteorológicas que determinan la antesis y descarga de polen desde las anteras (Cap. 3) indican que el polen ha recorrido una distancia considerable desde las fuentes donde ha sido emitido hasta el sitio donde se ha colectado (Norris-Hill & Emberlin, 1991). El dato utilizado en este caso, fue la concentración total anual en cada hora, promediando los datos de cada año disponible.

RESULTADOS

La información obtenida en el censo (12559 individuos) y muestreo de la vegetación urbana, que corresponde respectivamente a fuentes locales-extralocales y regionales (Cap. 1), se agrupó en categorías comparables a las del registro polínico (Cap. 3). Así, los árboles fueron agrupados en 72 taxones que corresponden a distintas categorías taxonómicas. Sólo 3 de ellos: *Buxus*, *Brachychiton* y *Tamarix*, no se encontraron en el área central de la vegetación local-extralocal sino en el área circundante de vegetación definida como regional (en total 5 plantas).

De los 69 taxones de la vegetación local-extralocal, 18 no estuvieron representados en el espectro polínico atmosférico (además de los 3 taxones exclusivos de la vegetación regional). Ellos representan 15.2% del total de

árboles censados. Los más importantes en vegetación pero no representados en polen son: *Lagerstroemia indica* e *Hibiscus syriacus*; de la primera especie se detectaron más de 1000 ejemplares en el área central (8.9%). Otras especies abundantes y bastante frecuentes como *Catalpa speciosa*, *Nerium oleander* y *Melia azadarach* tampoco se encontraron en la atmósfera (Tabla 4.1).

Los tipos polínicos sí presentes en el espectro atmosférico pero cuyos árboles no fueron identificados en el área central (2.25 km²) fueron: *Fagus*, *Lomatia*, *Prosopis* y *Sambucus*, aunque es muy baja la cantidad de granos registrada (en total: 1.4 gr/m³ anuales).

De la subfamilia Papilionoideae (961 individuos locales-extralocales: 7.7%), de Liliaceae (467 plantas: 3.7%), y de *Aloysia triphylla*, *Nicotiana sp*, *Rosmarimun officinalis* y *Ruta sp* (menos de 40 plantas en total: 0.32%), se registraron granos de polen pero que no pueden ser atribuídos indudablemente sólo a especies arbóreas. Por ello, no se los consideró en los análisis posteriores. La situación de Cupressaceae fue explicada en el capítulo 3 como un taxón sobrerrepresentado. Sólo 462 individuos que representan 3.7% del total pertenecen a esta familia aunque es dominante en el espectro atmosférico (64.5% del total anual promedio), y también fue eliminado.

Se analizaron 45 taxones en cuanto a representatividad de la vegetación en el registro de polen atmosférico. En principio, se realizó un análisis de regresión lineal incluyendo a todos los taxones. Si bien la asociación fue significativa ($r=0.381$, $p=0.010$), el porcentaje de representación de los datos por parte de la recta de regresión fue muy bajo (14.55%). Los taxones fuera del intervalo de confianza del 95% fueron: *Q. ilex*, *Q. robur*, Myrtaceae, *Cedrus*, *Ulmus* y *Platanus* (sobre la recta) y *Prunus*, *Tilia*, *Ligustrum*, *Myoporum* (debajo de la misma). Los taxones del primer grupo son de polinización anemófila y los del segundo, entomófila. Esta separación es un primer indicio de que existe una representatividad diferente entre distintos taxones, y que podría ser el resultado del tipo de estrategia reproductiva que presentan sus ejemplares.

Se calculó entonces, el índice de representatividad V/P. En principio, no se observaron diferencias importantes utilizando los datos de la vegetación local-extralocal (2.25 km²) o los de la vegetación regional (periférica a la anterior). Sólo *Alnus* y *Dodonea* cambiaron de categoría (de sobrerrepresentado a subrepresentado el primero y al revés el segundo taxón) aunque las diferencias en el porcentaje de árboles en cada zona no es mayor a 0.15%. Esto confirma

que la vegetación de la zona central que rodea al muestreador de polen puede considerarse, en términos generales, como similar en composición a la vegetación del resto de la ciudad (Cap. 1).

En la Figura 4.1 se representan los porcentajes de cada variable (de vegetación: V y de polen: P ordenados según el valor decreciente del índice. De los 24 taxones subrepresentados, aquellos 6 con menor valor del índice (contiguos a los equirrepresentados) corresponden a taxones anemófilos, o al menos con ciertas características anemófilas en los casos de *Salix* y *Phytolacca*. *Araucaria* es un caso particular ya que se presenta como un taxón anemófilo subrepresentado, probablemente debido a la escasa dispersión de sus granos de gran tamaño. De los 20 taxones sobrerrepresentados, sólo 3 son entomófilos: *Bougainvillea*, *Viburnum* y *Schinus*.

Q. ilex y *Nothofagus* son los taxones sobrerrepresentados con un valor del índice de representatividad mucho menor que el resto (Fig. 4.1); la concentración polínica no se corresponde proporcionalmente con el bajo número de ejemplares en la vegetación. Los individuos de *Q. ilex* se presentan, en forma exclusiva, agrupados y relativamente cercanos al captador de polen. Este aporte de fuentes cercanas está apoyado en el alto valor del IDI: 0.34 y en la existencia de un máximo de concentración horaria muy pronunciado registrado en horas muy tempranas de la mañana (hora 8) (Fig. 4.2). Si bien de *Nothofagus* existe un único ejemplar también cercano, es posible que ocurra un aporte extrarregional para este género (Cap. 3). El transporte de larga distancia se apoya en el bajo valor del IDI obtenido para este taxón: 0.05 que representa la ausencia de un máximo de concentración a lo largo del día (Fig. 4.2).

Al discriminar las especies de *Celtis*, *C. australis* se presenta como un taxón sobrerrepresentado con un valor del índice de representatividad relativamente bajo (Fig. 4.3), indicando una concentración de polen en la atmósfera proporcionalmente mayor que el número de plantas en el área estudiada. Esto podría indicar o bien una productividad alta o bien un efecto local que altera la representación. En la figura 4.2 se observa un máximo de concentración muy pronunciado temprano en la mañana (a la hora 10) lo cual permite inferir el inmediato registro del polen luego de ser liberado, coincidiendo con el aumento de la temperatura del aire y la disminución de la humedad relativa que favorece la anthesis (Cap. 3). Además, el IDI estimado para *C. australis* tiene un valor alto (0.36) indicando que las fuentes del polen están

próximas. En el caso de *C. tala* si bien el IDI no fue menor a 0.1, no se observa un pico pronunciado de concentración y el mayor número de granos se registra a la media tarde (Fig. 4.2). Estas observaciones sugieren el aporte de polen de larga distancia, apoyando la idea de la representación de los talares ubicados a más de 50 km del sitio de muestreo (Cap. 3), e indicando un aporte regional de este tipo polínico.

Para *Salix*, *Moraceae* y *Acer* se consideraron anteriormente todos los individuos de todas las especies presentes. Sin embargo, la mayoría de los ejemplares de *S. erythroflexuosa* son femeninos, en *Moraceae* hay géneros entomófilos y en el caso de *Acer* con la excepción de una especie (*A. negundo*), las demás son entomófilas. Al recalcular el índice de representatividad teniendo en cuenta lo anterior, *Salix* pasa a ser un taxón equirrepresentado, *Moraceae* sobrerrepresentado y *Acer* no varía.

Separados los taxones según su representatividad, se calculó la recta de regresión para cada grupo. Existe una fuerte dependencia lineal significativa entre el polen y la vegetación sólo en el caso de los taxones definidos según el índice de representatividad como sobrerrepresentados ($\%P=0.696+3.258*\%V$, $r=0.913$, $p=7.625*10^{-9}$, $R^2=82.53\%$) (Fig. 4.3a). El coeficiente que indica la ordenada al origen (intercepción del eje y) es una estimación de la presencia del polen en cantidades apreciables en ausencia de árboles locales o cercanos. Los valores altos de estos coeficientes pueden indicar áreas donde la vegetación es dominante regionalmente o donde son las fuentes emisoras principales; otra interpretación indica que los taxones son altamente productivos o bien tienen granos de polen que pueden ser dispersados ampliamente (Jackson & Weng, 1994).

Las dos especies de *Quercus* no están dentro del intervalo de confianza de la regresión y son, junto con *Platanus* y *Ulmus*, los taxones que más se alejan de la recta estimada. Los robles se encuentran reunidos en bosquecitos artificiales ubicados hacia el Oeste-Sudoeste del muestreador y a corta distancia relativa. Todos los ejemplares de *Q. ilex* se presentan agrupados en dos bosquecitos, uno a 250m de distancia al captador y el otro a 650m; el 68% de los árboles de *Q. robur* se agrupan en tres bosquecitos distantes entre 350m y 550m del muestreador.

Platanus y *Ulmus* son los dos taxones más abundantes de la vegetación y

del espectro de polen. *Platanus* presenta una mayor concentración a la esperada según la abundancia de sus plantas en la zona local-extralocal. Si bien el IDI no sugiere que existe un aporte regional y la concentración diaria comienza a aumentar desde la mañana temprano, esta alta concentración se mantiene hasta las 18 hs. con un máximo a la hora 16, lo cual indicaría o bien que el polen se mantiene en suspensión o bien que existe un aporte de fuentes más alejadas (Fig. 4.2). *Ulmus* presenta una concentración polínica menor a lo esperado según su abundancia de árboles. Sin embargo, el IDI es de 0.09 y las concentraciones máximas se registran luego del medio día hasta entrada la noche (Fig. 4.2) indicando entonces, un aporte regional.

La relación entre el polen y la vegetación para los taxones equi y subrepresentados es débil, aunque sí significativa ($\%P=0.053+0.251*\%V$, $r=0.527$, $p=0.008$, $R^2=24.49\%$) (Fig. 4.3b). La ordenada al origen es mucho menor que la correspondiente a los taxones sobrerrepresentados, indicando que sólo se registra polen de estos taxones si sus fuentes están presentes en el área próxima al sitio de muestreo polínico. Estas particularidades son atribuibles a taxones de polinización entomófila. Sin embargo, si consideramos en general, a este grupo como no anemófilos y eliminamos a *Betula*, *Populus* y *Fraxinus* que se alejan mucho de la recta de regresión (y son anemófilos), la asociación no es significativa ($p=0.449$).

DISCUSION

El 26% de los taxones arbóreos presentes en la vegetación urbana censada no estuvieron representados en el espectro polínico. Resultados similares fueron encontrados por Janssen (1966), Donini & Sutra (1987) y Zerboni *et al.* (1991). Esto se relaciona con la presencia de especies de polinización entomófila. Los taxones con un número de plantas relativamente alto y un número bajo o ausencia de granos de polen en la atmósfera, pertenecen a esta categoría (Caramiello Lomagno *et al.*, 1983-84). Los ejemplos más significativos por la ausencia de representación en el espectro polínico son: *Lagerstoemia indica* (con cerca de 500 árboles/km²), *Hibiscus syriacus*, *Catalpa speciosa* y *Nerium oleander* (con una densidad entre 50-100 árboles/km² cada uno). Las características responsables de que sólo eventualmente se registren sus granos en la atmósfera fueron explicados en el capítulo 1. En este espectro polínico, cuando se

registraron granos de polen de especies zoófilas en general, fue en concentraciones bajas (ver más abajo).

La mayoría de los tipos polínicos registrados en la atmósfera (99.96% de la concentración polínica total) tienen fuentes locales y extralocales como potenciales emisores, coincidiendo con la situación que se presenta en otras ciudades (Zerboni *et al.*, 1986 y 1991; Halwagy, 1988; Torreguitart Zorrilla, 1990). Esto resulta de gran interés en estudios médicos, ya que los trastornos alérgicos generalmente están correlacionados con fuentes próximas (Solomon & Mathews, 1978). El conocimiento de la flora alérgica cercana, es necesaria para el tratamiento adecuado de la polinosis (Hoffmann *et al.*, 1976). La forestación de las ciudades debería ser planificada cuidadosamente, y la elección de las especies a implantar debería tener en cuenta los problemas que pueden suscitar ciertas especies anemófilas en la población.

Sin embargo, se detectaron granos de polen de *Prosopis*, *Lomatia*, *Fagus* y *Sambucus* cuyos árboles no están presentes en el área. Según observaciones de campo, existen algunos ejemplares de *Fagus* en las afueras de la ciudad; de todas maneras, este tipo polínico se observa subrepresentado aún en zonas donde es la especie dominante del bosque (Caramiello *et al.*, 1991) y sólo se correlaciona con la abundancia de la vegetación si las fuentes son locales, ya que es un tipo polínico muy poco dispersado (Jackson & Wong, 1994). Por otra parte, ejemplares de *Sambucus* (que son acompañantes del talar) se han observado creciendo en la zona de la Laguna de los Padres (varios kilómetros hacia el Noroeste de la ciudad). Esto hace posible la existencia de un aporte regional.

Por lo tanto, si bien de acuerdo con el patrón espacial de distribución leptocúrtica del polen, la vegetación local-extralocal es la fuente principal, debido a la existencia de potenciales fuentes regionales o extrarregionales se requiere en algunos casos particulares, discriminar el aporte relativo de ambos tipos de fuentes.

Según Pla Dalmau (1961), *Aesculus* posee algunas características de anemofilia (tamaño y escultura de los granos) y otras de entomofilia (productividad no demasiado abundante y dispersión por insectos). Esta ubicación intermedia explica que haya resultado un taxón equirrepresentado de

acuerdo al índice utilizado para determinar la representatividad de la vegetación en el espectro polínico. Sin embargo, Montanari & Guido (1989) lo consideran fuertemente subrepresentado en los registros polínicos probablemente debido al predominio de su transporte por medio de insectos.

Los taxones definidos según el índice V/P como sobrerrepresentados, dominan el espectro polínico: 82.09% del polen arbóreo (PA) y comprenden el 19.77% de los árboles en el área (sin considerar a Cupressaceae). Si agregamos los taxones anemófilos equi y subrepresentados la vegetación alcanza el 35.65% y el 94.17% del PA total. De la existencia de una asociación positiva significativa entre el número de individuos y la concentración polínica de estos taxones puede deducirse su neta anemofilia como lo sugieren Caramiello Lomagno *et al.* (1983-84) y Driessen & Derksen (1989) a partir de resultados similares. Estas especies presentan el llamado "síndrome de anemofilia" (Cap. 1). La concentración polínica de los taxones anemófilos depende del número de fuentes emisoras (Latorre & Bianchi, 1997). Por lo tanto, el índice de Caramiello *et al.* (1991) estaría indicando el tipo de polinización de los taxones analizados, lo cual determina principalmente su representatividad en los registros polínicos. Es posible referirse a taxones sobrerrepresentados como tipos polínicos ampliamente dispersados (Delcourt & Pittillo, 1986), aunque en estos casos la intensidad de la producción polínica no está incluida y deba tratarse particularmente para cada taxón (Andersen, 1973).

El transporte de polen de larga distancia por corrientes convectivas es un fenómeno frecuente bajo condiciones particulares. En esta zona, se registran granos de *Nothofagus* que son transportados desde los bosques subantárticos por masas de aire frío provenientes del Sudoeste (Prieto, 1989; Pérez, 1991). La presencia de un ejemplar de *Nothofagus* en floración en el área de estudio, impidió cuantificar el aporte de polen extrarregional.

En el caso de *Schinus*, no es posible determinar si el polen proviene de fuentes extrarregionales o locales. La existencia en el área de individuos en edad reproductiva hace probable que sean éstas las fuentes principales del polen registrado.

La posibilidad de discriminar las especies emisoras dentro del tipo polínico *Celtis*, permitió determinar las fuentes probables de ambas especies

representadas. En el caso de *C. australis*, los ejemplares locales-extralocales dentro de la ciudad y próximos a la trampa son las fuentes principales; en cambio para *C. tala* se determinó un transporte regional desde los talares naturales de la región.

Betula es un género anemófilo que si bien resultó subrepresentado, el valor del índice de representatividad fue bajo. En la literatura este género, generalmente se observa frecuentemente subrepresentado o levemente subrepresentado coincidiendo entonces, con este análisis. La productividad cíclica inherente al ritmo endógeno de este taxón (Cap. 3) puede explicar los resultados intermedios obtenidos al promediar varios años de producción polínica donde alternan años con alta y baja cantidad de granos liberados.

También *Populus* y *Fraxinus* son taxones anemófilos subrepresentados. A *Fraxinus* se lo considera como un género con una baja productividad (Andersen, 1973) por lo que, frecuentemente, ha sido subestimado en los registros, y explicaría, al menos parcialmente, los resultados obtenidos aquí.

Existen numerosos ejemplares de la familia Pinaceae en la zona (Cap. 1). Sus granos de polen con sacos aéreos son propicios para la dispersión anemófila (Janssen, 1966) y además, son producidos masivamente (Zerboni *et al.*, 1991). Específicamente en el caso de *Cedrus*, existen varios ejemplares (21% del total de cedros) dentro del jardín del Complejo Universitario donde está ubicado el muestreador. Esto hace pensar que la sobrerrepresentación estimada se debe a la cercanía de las fuentes emisoras. En formaciones vegetales dominadas por ejemplares de Pinaceae, este tipo polínico siempre se encuentra sobrerrepresentado (Caramiello *et al.*, 1991). Un caso similar de sobrerrepresentación por cercanía de las fuentes (10 metros aproximadamente) ocurre con *Casuarina*, en Taiwan (Tsou *et al.*, 1997) donde se registra un extremadamente alto porcentaje de este tipo polínico proveniente de árboles muy próximos a la trampa en horas tempranas de la mañana.

La diferencia de representatividad al considerar todas las plantas de la familia Moraceae o separadamente los distintos géneros, se debe a que *Broussonetia* y *Morus* son anemófilos mientras que *Ficus* es entomófilo. Los primeros géneros pueden ser dominantes del espectro polínico atmosférico de una ciudad mientras que el segundo puede no reflejar la composición florística

de los alrededores (Tsou *et al.*, 1997).

Quercus es el taxón más diferenciado. Se registra una mayor cantidad de granos que lo esperado de acuerdo al número de plantas existentes, por lo que podría suponerse que es el género anemófilo de mayor producción o el más anemófilo del conjunto. En los alrededores del muestreador hay bosquечitos artificiales dentro de parques privados, compuestos por *Q. robur* y otros por *Q. ilex*. Este es un género anemófilo (Montanari & Guido, 1989) e importante productor de polen (Solomon & Durham, 1967), por lo cual muchas veces está sobrerrepresentado (Janssen, 1966) como en este espectro polínico. Aunque la morfología floral de los robles corresponde a plantas anemófilas y según Pla Dalmau (1960) tiene un grado alto de anemofilia (grado 4), Käpylä (1984) sugiere que este género retiene algunas características de entomofilia debido principalmente a la superficie rugosa de sus granos de polen. Las fuentes emisoras agrupadas en bosquечitos artificiales monoespecíficos ubicados a corta distancia del muestreador, hacen más probable la captura de este tipo polínico, comparado con los otros taxones cuyas plantas están dispersas en un radio mayor. Esto se observa principalmente para *Q. ilex*, especie para la cual las plantas próximas al sitio de muestreo polínico son responsables de la alta concentración registrada. Esta cercanía de varias fuentes individuales próximas a la trampa, causa un importante sesgo, responsable de que la correlación entre la cantidad de polen y la abundancia de la vegetación sea negativa en ciudades de Europa ubicadas en zonas boscosas donde predominan especies de *Quercus* (Romano *et al.*, 1991).

Ulmus y *Platanus* (géneros con mayor número de árboles y de granos de polen en la atmósfera) son estrictamente anemófilos (Caramiello Lomagno *et al.*, 1983-84; Käpylä, 1984; Caramiello Lomagno, 1986), aunque Pla Dalmau les asigna un grado bajo de anemofilia (2 y 1 respectivamente). En el caso de *Ulmus* probablemente se deba a su gruesa pared y a su tamaño relativamente grande que podría dificultar la dispersión por el aire, aunque se considera un importante productor de polen (Solomon & Durham, 1967). En el caso de *Platanus*, el grano es relativamente pequeño (22 μ de diámetro), aunque se estima que es relativamente pesado ya que tiene una gravedad específica de 0.92 (Emberlin & Norris-Hill, 1996). Sin embargo, los factores que parecen

influir en la producción polínica son principalmente, la edad y la dimensión de las plantas (Caramiello Lomagno, 1986) por lo cual si todos son adultos como en esta ciudad, tienen una alta producción de granos explicando así, la alta concentración polínica. De todas maneras, las concentraciones polínicas de ambos géneros fue muy elevada, resultando los taxones dominantes. Además, en ninguno de los dos casos se observó una limitación del transporte por las masas de aire. Esto se determinó especialmente para *Ulmus*, ya que existe un aporte polínico extra de fuentes alejadas (regionales). Estos géneros presentan la mayor densidad de árboles en el área ya que son los más usados en el país para el arbolado de calles, plazas y avenidas (Dimitri, 1980) por lo que Solomon & Durham (1967) sugieren que la alta concentración de estos tipos polínicos se debe al elevado número de árboles implantados en las ciudades.

El análisis aerobiológico resulta entonces, adecuado para estimar la abundancia de la vegetación compuesta por especies de polinización anemófila, pero no es directamente proporcional a la contribución de las especies de polinización zoófila (Gagnon & Comtois, 1989; Donini & Sutra, 1987). Esta investigación ilustra una incongruencia habitual o común entre la composición de las plantas y el espectro aeropalinológico de áreas urbanizadas donde plantas zoófilas cultivadas abundan pero por otra parte, son sólo los taxones anemófilos los que tienen importancia en el espectro por su alta productividad y/o su buena dispersión. En el momento de evaluar los casos particulares deben tenerse en cuenta la productividad polínica, las características aerodinámicas de los granos de polen y la distancia entre las fuentes emisoras y la fuente colectora, ya que tienen un rol importante en determinar la representatividad polínica de las fuentes emisoras. En particular, los parámetros de la regresión lineal lleva al conocimiento general de las distancias relativas de dispersión y de la productividad polínica de los taxones, aunque no da un valor específico absoluto que pueda ser aplicado a todos los sitios de muestreo polínico con diferentes situaciones del entorno vegetacional (Calcote, 1995).

CONCLUSIONES

1. El 15% de los árboles de la vegetación urbana (26% de los taxones) no se encuentran representados en el polen atmosférico debido a que son entomófilos. Por otra parte, la mayoría de los taxones subrepresentados en el espectro polínico, presentan este tipo de polinización.
2. Los tipos polínicos que se definieron como sobrerrepresentados son, en su mayoría, anemófilos, o sea que la proporción de polen en la atmósfera es mayor que la proporción de árboles en la vegetación. Una mayor productividad y/o una mayor dispersión de sus granos de polen son los factores más importantes que explican este resultado.
3. En los taxones cuya polinización es de tipo anemófila, el número de plantas determina en una proporción definida, la cantidad de polen que se registra. En los taxones de polinización entomófila no se observa esta relación.
4. Para determinar la concentración polínica de un taxón, no sólo es importante la abundancia de sus fuentes emisoras sino también su distribución y su ubicación espacial.
5. En los casos de *Quercus* (especialmente *Q. ilex*) no se presenta la misma relación entre el polen y la vegetación que los demás taxones anemófilos debido a la proximidad de las fuentes dispuestas agrupadamente en el espacio.
6. El polen aerotransportado refleja las características vegetacionales dentro de cierta área circundante al muestreador, pero a veces, factores locales tienen una gran influencia en disturbar esta relación (ej. *C. australis*, *Q. ilex*).
7. Se determinaron taxones cuyos granos son transportados desde media distancia (*Ulmus*) o de larga distancia (*C. tala*, *Nothofagus*) que son aportados por fuentes lejanas (regionales o extrarregionales).
8. Características propias del taxón como productividad, transportabilidad de los granos de acuerdo a su forma, tamaño, peso, etc., deben evaluarse individualmente para una estimación más precisa. Sin embargo, estas son características específicas y constantes para cada especie. Esto permitiría su transferencia a otras regiones con similares fuentes emisoras aunque con distinta distribución y abundancia.

Tabla 4.1: Taxones arbóreos de la vegetación local-extralocal (2.25 km²) no representados en el espectro polínico atmosférico. Se indica la densidad como el número de individuos por km² y el porcentaje respecto del total de individuos censados.

Familia	Taxón	Densidad	Porcentaje
Anacardiaceae	<i>Rhus typhina</i>	3	0.05
Apocinaceae	<i>Nerium oleander</i>	53	0.97
Aquifoliaceae	<i>Ilex aquifolium</i>	9	0.17
Bignoniaceae	<i>Catalpa speciosa</i>	73	1.33
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3	0.06
Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i>	1	0.02
Celastraceae	<i>Evonymus japonica</i>	3	0.05
Escrofulariaceae	<i>Hebe speciosa</i>	3	0.05
Fabaceae	Caesalpinoideae	3	0.06
Litraceae	<i>Lagerstroemia indica</i>	496	0.02
Magnoliaceae	<i>Magnolia grandiflora</i>	4	0.07
Malvaceae	<i>Hibiscus syriacus</i>	116	2.12
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	43	0.78
Oleaceae	<i>Syringa vulgaris</i>	3	0.05
Palmae	<i>Chamaerops humilis</i>	22	0.40
	<i>Phoenix canariensis</i>		
	<i>Trachycarpus fortunei</i>		
Pittosporaceae	<i>Pittosporum tenuifolium</i>	6	0.11
Punicaceae	<i>Punica granatum</i>	1	0.02
Ramnaceae	<i>Ceanothus caeruleus</i>	1	0.02
Rubiaceae	<i>Coprosma baueri</i>	8	0.15
Taxaceae	<i>Taxus baccata</i>	3	0.06
Taxodiaceae	<i>Cryptomeria japonica</i>	1	0.02

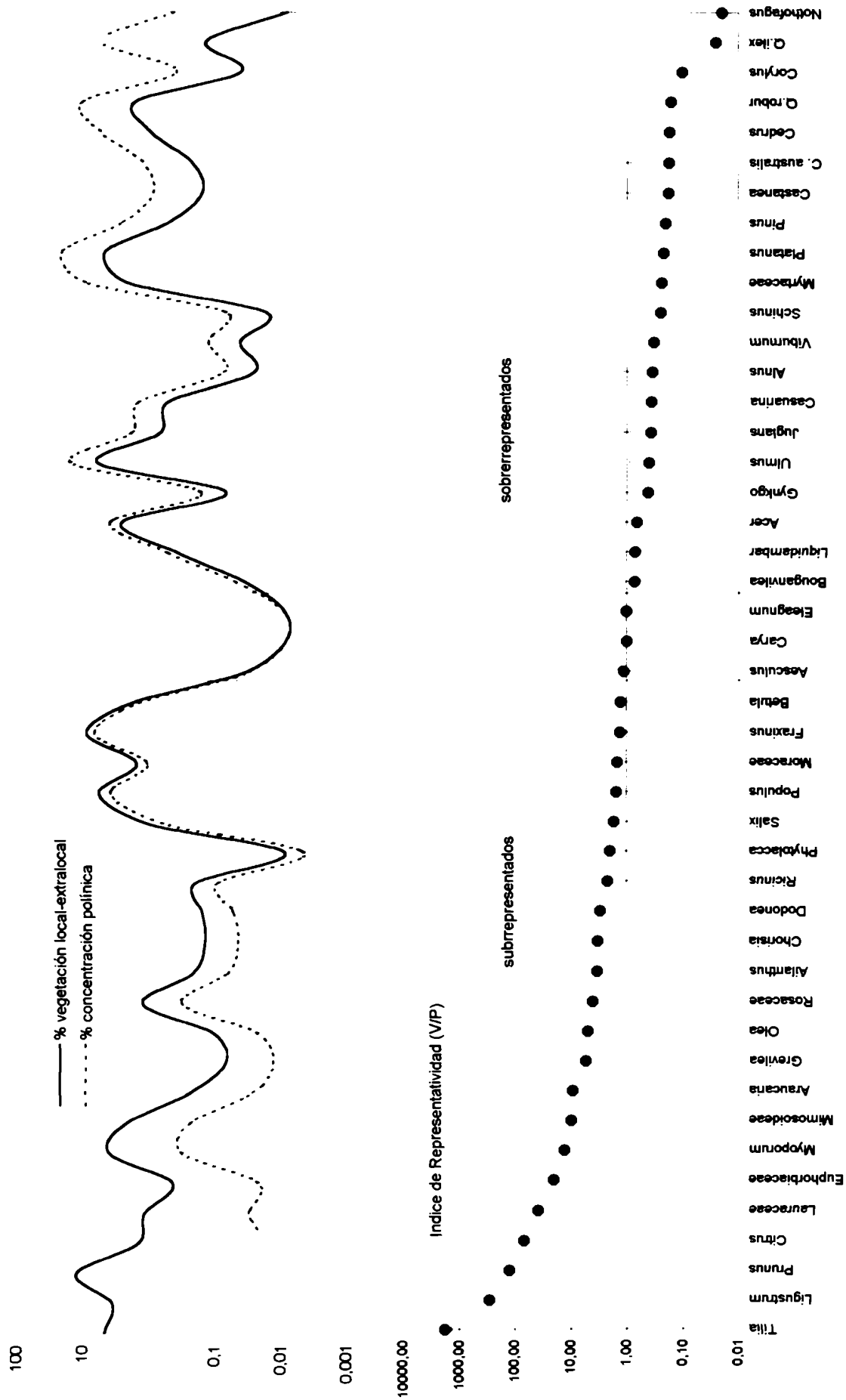


Figura 4.1: Porcentaje de la vegetación local-extralocal (V), porcentaje promedio de la concentración polínica (P) e índice de representación de cada taxón.

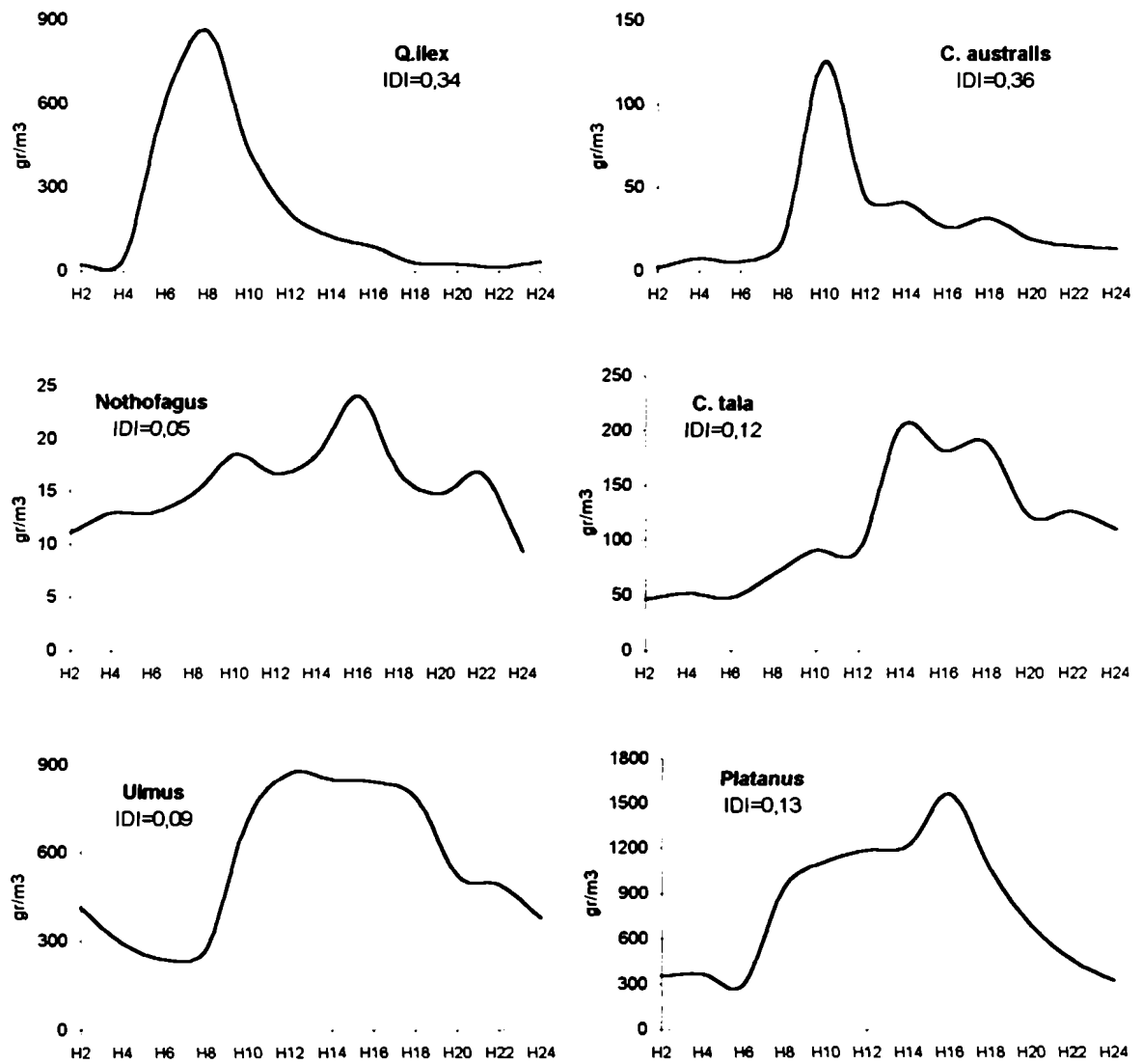


Figura 4.2: Concentración anual en cada hora para distintos taxones. Se indica el índice de distribución intradiurna (IDI).

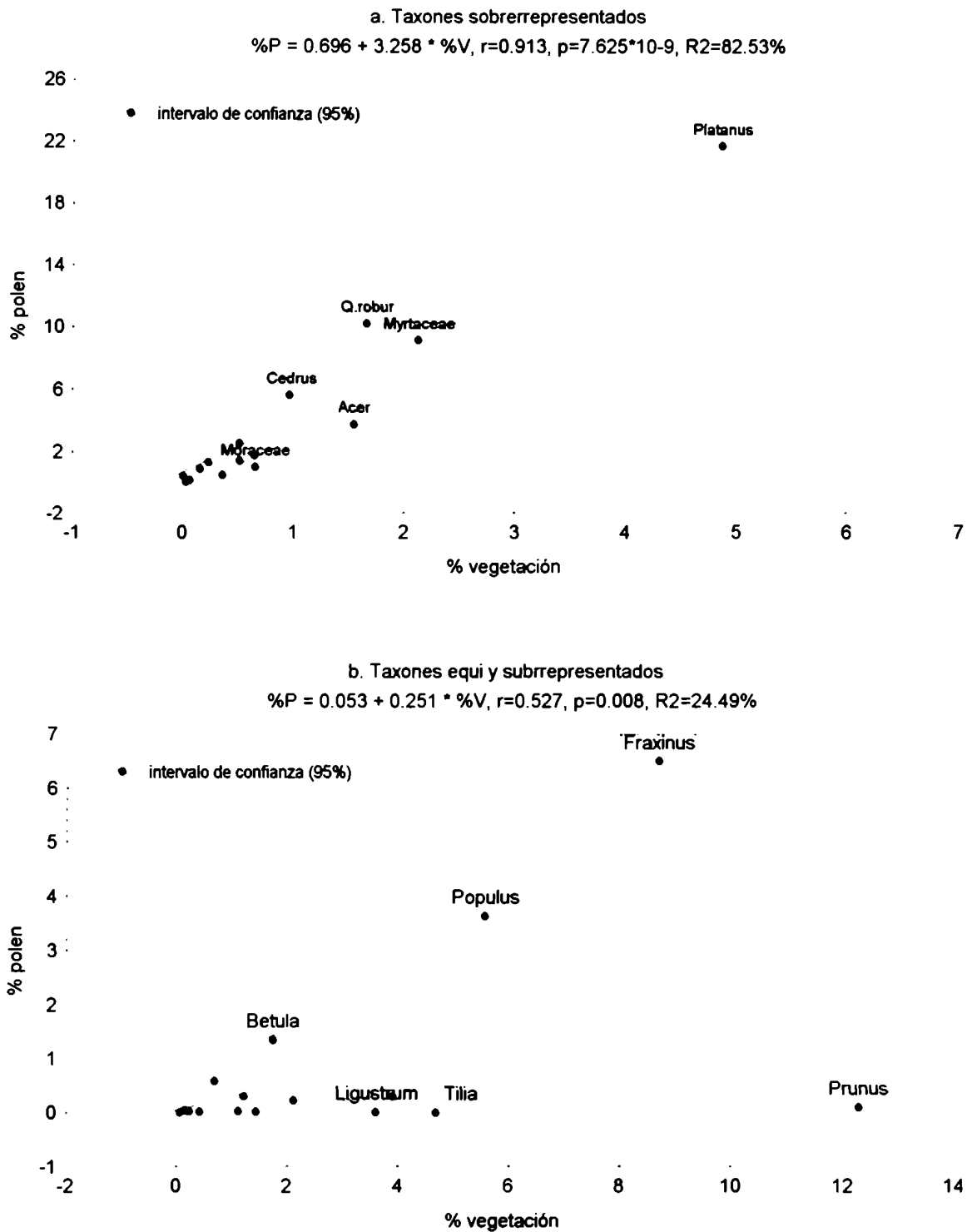


Figura 4.3: Porcentaje de la concentraci3n pol3nica en funci3n del porcentaje del n3mero de individuos en la vegetaci3n local-extralocal de los taxones sobrerrepresentados (a) y de los taxones equi-subrepresentados (b).

PARTE III

INTEGRACION

CAPITULO 5

ANALISIS DE LA RELACION ENTRE LOS PATRONES AEROBIOLOGICOS Y LOS PATRONES FENOLOGICOS

INTRODUCCION

El estudio de la nube de polen como expresión de las comunidades vegetales implica considerar múltiples factores interactuantes, de naturaleza tanto biológica como física, los cuales determinan un sistema complejo cuyo análisis requiere marcos referenciales interdisciplinarios.

Un número de coaccionantes genético-ecológicos y climático-meteorológicos influyen en el inicio, duración, frecuencia e intensidad de la floración de la comunidad vegetal (Smith-Ramírez y Armesto, 1994). Las variaciones dentro de una estación están controladas principalmente por las condiciones momentáneas de la atmósfera y por la variabilidad intrapoblacional de la floración (Spiexma, 1983). Las variaciones anuales son causadas por varios factores, los más comunes están relacionados con la intensidad de floración y emisión polínica que a su vez están determinados por factores climáticos y sus fluctuaciones, y por características genéticas propias del taxón (Agashe y Alfadil, 1989; Leuschner, 1991; Marletto *et al.*, 1992).

Para evaluar los factores que intervienen entre la producción de polen y la captura, deben considerarse: la eficiencia de la dispersión, los factores meteorológicos, las condiciones ecológicas y los períodos de floración de los productores de polen, y las características del sitio de muestreo polínico (Zerboni *et al.*, 1986). Es necesario identificar estos controles para poder formalizar las numerosas y complejas relaciones entre el polen y la vegetación de un área (Prentice, 1985). Esto se debe a que tanto los factores endógenos (fenológicos) como los exógenos (ambientales) determinan las formas de las curvas aerobiológicas (Rizzi Longo & Cristofolini, 1987).

Dado que, la concentración de polen en la atmósfera resulta de las interacciones entre las plantas y su ambiente, la problemática aerobiológica debe ser abordada integralmente teniendo como información previa los factores biológicos y físicos que intervienen en dicha relación (analizados en forma parcializada en los capítulos anteriores). Este análisis conjunto permitirá desarrollar un modelo explicativo de la dinámica de la vegetación a partir del registro polínico y de sus moduladores meteorológicos.

La hipótesis general planteada en este capítulo, es que los patrones aerobiológicos son indicadores de los cambios fenológicos de la vegetación emisora. Por ello, se propuso analizar la relación entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos, determinando el modo en que la dinámica reproductiva está representada en el registro polínico y evaluando la influencia de los factores atmosféricos y las características particulares de la vegetación sobre dicha relación.

El tema básico que se trata aquí, es la manera en que la fenología floral de la vegetación se encuentra definida en el espectro polínico atmosférico. Es fundamental para el conocimiento de las tendencias de la dinámica de la vegetación y de la aeroflora, detectar si existe variabilidad y de qué manera se expresa en la concentración polínica. En este capítulo, se analizan las variaciones en la concentración y estacionalidad de polen arbóreo entre dos años consecutivos, poniéndose en correspondencia los patrones polínicos con los patrones de floración. Se analiza también, la influencia de las variables atmosféricas y de las características de las fuentes emisoras como posibles determinantes de las variaciones interanuales y/o posibles modificadores de la relación polen-floración.

En primer lugar, se comparó el desarrollo fenológico floral de la "comunidad arbórea anemófila" de la ciudad, con la evolución temporal de la concentración polínica atmosférica. Este patrón general representa una estimación de la respuesta de los organismos vegetales al clima de la región. Posteriormente, se analizaron los 10 géneros arbóreos más importantes de acuerdo a su aporte de polen y densidad de plantas. Una primera aproximación fue detectar si existen diferencias entre los períodos de polinización y los de floración en las fases principales y en la duración relativa de ambos eventos. Luego, cada género fue evaluado particularmente de acuerdo a la bondad de

ajuste de la curva de polen respecto de la curva de floración, determinando cuáles son los factores que afectan la representatividad del desarrollo fenológico floral en los patrones aerobiológicos. Este último punto posibilitará finalmente, el acceso al significado biológico del análisis de polen aerotransportado.

MATERIALES Y METODOS

Los datos utilizados en este capítulo respecto a la vegetación, floración, polen, clima y meteorología, se obtuvieron mediante los procedimientos detallados en los capítulos 1, 2 y 3.

1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila

Para analizar si los cambios estacionales de la vegetación se corresponden con el registro de los cambios en la concentración de polen a nivel "comunidad", se utilizaron los resultados obtenidos respecto al desarrollo fenológico floral y a la cantidad de polen acumulado (ambos con patrones sigmoideos reconocidos) del conjunto de las 25 especies anemófilas más importantes consideradas conjuntamente (Cap. 2 y 3). Para ello, se compararon los datos semanales de las fenofases expresados como porcentaje de floración y los porcentajes acumulados de la concentración polínica en cada año (1993 y 1994). Se aplicó la transformación $\arcsen\sqrt{p}$ a los datos porcentuales previo al análisis de correlación lineal (Sokal & Rohlf, 1979).

2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos

Se analizó el polen atmosférico registrado entre junio y noviembre de 1993 y 1994, por ser el período del año con mayor aporte (más del 80%) de polen arbóreo (PA) (Cap. 3). Se excluyó a Cupresaceae de los análisis debido a su sobrerrepresentación.

Se llevó a cabo un análisis particular de la relación polen-floración de los 10 taxones con mayor concentración polínica (más de 0.5% del PA anual) y con

mayor abundancia de plantas en la vegetación, que florecen en el período invierno-primavera. Los géneros incluidos en este análisis fueron: *Fraxinus*, *Ulmus*, *Acer*, *Salix*, *Populus*, *Betula*, *Quercus* (*Q. robur* y *Q. ilex*), *Platanus*, *Liquidambar* y *Juglans*.

Se estableció si la extensión de la estación de polinización se corresponde con el período de floración. Se analizó además, si existe distorsión entre el inicio, máximo y final de la floración y la detección de las mismas fases de la concentración de polen.

3. Análisis integral de los taxones más importantes

Para analizar la expresión de la variabilidad fenológica en el registro polínico se evaluó, en principio, si los porcentajes de floración se relacionan con el porcentaje de granos de polen emitidos por cada género seleccionado anteriormente, según lo sugiere Mandrioli *et al.* (1978). Se establecieron las fuentes (especies) más probables del polen genérico, y cuando se observaron discrepancias entre ambas variables, se evaluó particularmente la participación de las variables atmosféricas para detectar su posible influencia.

Se usó estadística básica, correlaciones no paramétricas (Spearman) y test de Student para comparar valores medios (Sokal & Rohlf, 1979).

RESULTADOS

1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila

Los máximos de floración de la "comunidad" fueron coincidentes entre años en el día de ocurrencia; lo mismo sucedió entre los máximos de polen. Por otra parte, los máximos de floración se observaron 1 semana antes (la tercera de setiembre) que los de polen. Esta diferencia tiene un error debido al muestreo de $\pm 3-4$ días.

Las curvas de los porcentajes acumulados de las fenofases en los dos años analizados, se ajustan a las curvas de porcentaje acumulado de la concentración de polen. Sólo se observaron diferencias mayores a 10% (aunque

menores al 30%) en unas pocas semanas antes de los máximos en 1994 y después de ellos en 1993 (Fig. 5.1).

Dado que existe una adecuada correspondencia entre el polen y la floración, se puede estimar el estado fenológico del conjunto de especies en cualquier momento dado a partir del polen atmosférico. La ecuación que permite conocer el desarrollo fenológico floral (F) de la vegetación en cualquier momento dado a partir del porcentaje acumulado del polen atmosférico (P) es: $F=4.201+0.865P$, con $r=0.988$, $R^2=98\%$ y $p=9.7 \times 10^{-26}$.

2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos

El porcentaje de polen de los 10 taxones considerados fue 84.46% en 1993 y 83.16% en 1994 respecto del PA total de los seis meses. Se observaron similitudes entre años en los valores relativos de cada taxón ($r_s=0.74$, $p<0.05$). *Platanus*, *Ulmus* y *Quercus* son los tres géneros con mayor aporte en los dos años (76.2% y 72.25% respecto del total polínico de los 10 géneros en cada año). *Fraxinus*, *Acer* y *Populus* ocuparon el cuarto, quinto y sexto lugar respectivamente, en los dos años. *Juglans*, *Liquidambar*, *Betula* y *Salix* tienen el menor aporte polínico del grupo (Fig. 5.2). Las diferencias más importantes entre años se observó al discriminar las dos especies de *Quercus*. La contribución relativa de cada género fue similar entre años, a pesar de que las concentraciones variaron: mayores para todos los tipos polínicos en 1993 con las excepciones de *Q. ilex* y de *Betula* (Cap. 3).

Los granos de polen en la atmósfera comenzaron a registrarse antes del inicio de la floración (en promedio 3 y 2 días de diferencia en 1993 y 1994, respectivamente). Las diferencias entre los comienzos de la polinización y de la floración fueron mayores a 10 días sólo en *Acer* y *Liquidambar* en 1993 y en *Fraxinus* y *Platanus* en 1994. Únicamente el registro de polen de *Ulmus*, *Salix*, *Q. ilex* y *Juglans* precedió a la floración. Por el contrario, el máximo polínico y el máximo de floración no mostraron, en promedio, ninguna diferencia. Sólo en los casos de *Betula* y *Q. robur* durante 1994, las diferencias entre las fases máximas son mayores a 1 semana. Las mayores diferencias se observaron entre las dos variables en la fase final. La estación polínica terminó en promedio, 20 y 18 días

después de finalizada la floración en 1993 y 1994, respectivamente. *Ulmus* mostró las diferencias más importantes en esta fase con 73 días en 1993 y 55 días en 1994. En 1994, *Liquidambar* fue el único taxón con un período de polen que finalizó antes (13 días) de que haya terminado la floración (Fig. 5.3).

Tanto para el período de polen como para el de floración, la fase ascendente se definió desde el inicio hasta el máximo. La fase ascendente de ambos fenómenos tuvo una duración similar cada año. En promedio fue de 20 días en 1993 y de 26 días en 1994, excepto para *Ulmus* con ambas fases ascendentes más extensas (40 y 50 días). La fase descendente de la floración se definió desde el máximo hasta el final, y fue tan extensa como la duración de su fase ascendente (20 días en 1993 y 23 días en 1994, en promedio). Sin embargo, la fase descendente de la concentración polínica fue dos veces más extensa que la fase descendente de la floración (51 y 44 días en promedio cada año). *Q. ilex* y *Liquidambar* fueron las excepciones, ya que, en estos taxones la fase ascendente iguala a la fase descendente en número de días. El coeficiente de variación fue similar para todas las variables (fase ascendente y descendente tanto del polen como de la floración) de todos los taxones considerados conjuntamente, y alcanzó el 45%. Promediando los dos años, la fase ascendente de la floración fue 2 días más extensa que su fase descendente; pero la fase ascendente del polen fue 24 días más corta que su fase descendente.

El polen acumulado al iniciarse la floración en 1993 fue mayor que en 1994. Los coeficientes de correlación por rangos entre los porcentajes acumulados cada año antes del inicio de la floración para los taxones analizados, no fueron significativos ($r_s=0.345$, $p=0.299$) (Fig. 5.4a). Estos coeficientes sí fueron significativos cuando se comparó el polen acumulado en el momento que ocurren el máximo ($r_s=0.673$, $p=0.023$) (Fig. 5.4b) y el final de la floración ($r_s=0.968$, $p=0.00001$) (Fig. 5.4c).

La cantidad de cada tipo polínico registrado antes del inicio de la apertura de flores fue, en promedio, de 1.17% del total del taxón. Cuando las especies alcanzaron su floración máxima, la cantidad de polen liberado alcanzaba, en promedio, 59.66% y cuando finalizaron su floración el polen colectado llegaba a 95.65% del polen total (Tabla 5.1). El coeficiente de variación del porcentaje acumulado al final de la floración fue el más bajo (6.4% en promedio).

3. Análisis integral de los taxones más importantes

FRAXINUS (Fig. 5.5)

La continua presencia de polen del género durante 5 meses se debe a la floración sucesiva de tres especies: *F. excelsior* y *F. americana* de floración invernal y finalmente *F. excelsior* var. *aurea* (*F. aurea*) que florece en primavera. Representan un 8.26% de los árboles en el área local y extralocal. En el análisis no fue incluida la especie *F. ornus* debido a que se diferenció por morfología polínica y la cantidad de granos fue nula en 1993 y muy escasa en 1994, además de tener muy baja presencia en la vegetación.

La superposición de la floración de las tres especies es escasa (sólo en la primera semana de setiembre y en la segunda semana de octubre). Por ello, se estimó el aporte polínico de cada una delimitando el período de polen del género de acuerdo a las fechas de inicio y finalización de sus períodos de floración. Se observó que el mayor aporte de polen corresponde a *F. americana* (entre 60% y 70% del total cada año). Esto está en directa relación con el número de individuos en los alrededores. Cerca del 80% de los fresnos en el área de 20.25 km² alrededor del sitio de muestreo polínico, pertenece a esta especie. En cambio, *F. excelsior* y *F. aurea* representan un 9% cada uno del total de árboles en los 2km² más cercanos al muestreador y un 9% y 2% respectivamente, en el área inmediatamente circundante a la anterior. El porcentaje aportado por estas dos especies fue mucho menor: entre 25% y 12% para *F. excelsior* y 16% en los dos años para *F. aurea*.

Existe una diferencia importante en cuanto a la proporción de polen que se acumula entre el inicio y el máximo de la floración para cada una de las especies. En *F. excelsior* y *F. americana* este porcentaje es de aproximadamente el 57%; sin embargo, el porcentaje de polen acumulado para *F. aurea* alcanza un 97% y 75% en cada año. En relación a ésto, aproximadamente un 25% del total del género se registró en los dos años entre el final de la floración de *F. americana* y el inicio de *F. aurea*. Esta alta concentración que manifiesta dos o tres picos importantes, no podría explicarse por la floración de ninguna de estas dos especies, al menos considerando a los árboles locales-extralocales que

fueron los muestreados periódicamente. Podría pensarse: 1) que este importante aporte proviene de *F. americana*, que es la especie más abundante y que el polen emitido permanece en la atmósfera, pero esta hipótesis no sería la única explicación debido a que sólo no daría cuenta de las altas concentraciones registradas; 2) que son árboles muy alejados, de aporte regional, que florecen tardíamente debido a que se encuentran en un microclima diferente al del centro de la ciudad. Esta última hipótesis es plausible ya que el grano de polen de *Fraxinus* presenta características aerodinámicas favorables para su transporte a media o larga distancia. Además, de acuerdo con el efecto de isla de calor en los centros urbanos (Cap. 3), se puede considerar probable que los árboles ubicados en la periferia de la ciudad florezcan con posterioridad.

Si la hipótesis anterior fuera cierta, el porcentaje de *F. americana* calculado sería mayor y el 16% supuestamente aportado por *F. aurea* disminuiría considerablemente, especialmente el acumulado entre el inicio y el máximo floral, concordando esto último con la baja densidad en la vegetación de *F. aurea*. *F. americana* presenta un 100% de constancia en todas las áreas analizadas (lo que no sucede con los otros tipos de fresnos), representando un 40% y 80% de los individuos totales en los sectores Norte y Este respecto del muestreador, siendo los sectores Sur y Suroeste los de menor número de árboles.

A pesar de que *F. americana* aporta un 59% en 1993 y un 70% del polen del género en 1994 (porcentajes que bajo la hipótesis planteada anteriormente aumentaría), la concentración del segundo año fue menor en medida absoluta (24.5% menos). Durante la polinización de *F. americana* en el año de mayor aporte absoluto, el viento provino de la dirección con mayor densidad (N y E) en un 45% de las horas, en cambio de las direcciones S y SO, con menor densidad de árboles, sólo se observa en el 26% de los casos. En 1994 se registró aproximadamente el mismo porcentaje de horas con vientos de los sectores de mayor y de menor densidad, lo que podría explicar en parte la menor proporción de granos registrados en este año. Durante la floración de *F. americana*, las precipitaciones de 1993 fueron 60 mm menores a las registradas en 1994. Además, las precipitaciones durante el mes de máxima floración en 1994 fueron 19 mm mayores al dato estadístico. Estas observaciones hacen pensar que, además de la productividad diferencial entre años (Cap. 3), las condiciones de la

atmósfera durante la dispersión (vientos y precipitaciones) han contribuido a las diferencias interanuales.

Con respecto a la delimitación del aporte de polen de *F. excelsior*, no existiría, en principio la dificultad observada anteriormente, ya que es la especie de floración temprana. Cuando se inició la floración de esta especie, el polen registrado acumulaba un mismo porcentaje en los dos años: 1.2% respecto del total del género. Sin embargo, en 1994 se registró un 67% menos de granos de esta especie. La menor contribución polínica de *F. excelsior* en 1994 no podría ser explicada por efecto de la poda, ya que se estimó que el porcentaje de árboles podados (total y/o parcialmente) fue el mismo en los dos años.

La producción de flores de *F. excelsior* fue mayor en 1993 con 59 flores por árbol en promedio en cada día de muestreo, respecto a la de 1994 con 46. El día de máxima floración (cuando el 95% de los individuos muestreados tenían flores abiertas), el número de flores totales (abiertas, cerradas y no funcionales) fue 17% mayor en 1993 con 156 flores por árbol, respecto a 130 en 1994. El número de flores abiertas por árbol también fue mayor en 1993 con 85 flores abiertas por árbol, en cambio en 1994 el promedio fue de 49. La variabilidad de la floración entre los individuos fue mayor en 1994, lo que está representado por un menor porcentaje de flores abiertas por rama (ej. 38% en 1994 y 61% en 1993 para el día de máxima floración).

El mayor número de flores, el mayor porcentaje de floración y la mayor cantidad de polen emitido en 1993 por *F. excelsior* puede relacionarse con las condiciones climáticas estacionales previas a la floración (Cap. 2).

ULMUS (Fig. 5.6)

En el área circundante a la estación de muestreo polínico, el género *Ulmus* se encuentra representado por dos especies: *U. pumila* y *U. procera*. *U. pumila* es la más numerosa, representando un 90% de los olmos. En la zona periférica a la anterior (de 18 km²), *U. pumila* también es la más abundante con un 65% respecto de los demás olmos; el mayor número de árboles se encuentra en la zona NO donde se concentra el 20% de esta especie. Los sectores NE, E y SE presentan una baja frecuencia de esta especie. Además de las dos especies mencionadas, en el sector Oeste del área periférica está presente *U. glabra*.

Ulmus es uno de los tres géneros más importantes en los sectores O y SO, respecto de la vegetación arbórea total de la ciudad.

La mayor concentración de este género en 1993 debido a una mayor productividad (como fue propuesto en los capítulos anteriores) parece corroborada, ya que las condiciones para el transporte fueron más favorables en 1994 (año de menor concentración total). Los vientos durante la estación de polinización provenientes de los sectores donde se agrupa el mayor número de árboles, representaron el 47% de los registros en 1994, a diferencia de un 3% registrado en 1993.

Las especies sobre las que se midió la floración fueron las dos presentes en ambas áreas (central y periférica): *U. pumila* y *U. procera*. Dada la mayor abundancia de *U. pumila* respecto a *U. procera*, se consideró, en principio, que podría ser la especie de mayor aporte polínico. Por las características del grano de polen, este aporte sería local y extralocal, o sea, un transporte de corta distancia.

El comienzo de la floración de *U. pumila* fue paulatino, registrándose un pico secundario de floración en la mayoría de los árboles antes de que fuera observada una floración masiva. La floración de *U. procera* fue más breve ya que comenzó con posterioridad, aunque coincidieron sus fases máximas y finales. Debido a la superposición de los períodos de floración y a la imposibilidad de delimitar el aporte polínico de cada una, se promediaron las curvas de floración de las dos especies para su comparación con la del polen.

En 1993 se observó mayor número de flores abiertas por árbol, especialmente durante la fenofase máxima para las dos especies (*U. pumila* con 95 y 84 y *U. procera* con 49 y 30, en cada año). Sin embargo, la producción de flores fue mayor para *U. procera* en 1994, ocurriendo lo inverso para *U. pumila*. Esta observación apoyaría la hipótesis primera de que el polen sería aportado principalmente por *U. pumila*, ya que durante 1993 fue mayor la concentración polínica de este género.

El polen de *Ulmus* se registró casi inmediatamente luego de ser liberado, esto es 4 y 5 días después en cada año. Teniendo en cuenta las características morfológicas de los granos (grandes y con exinas gruesas), esta simultaneidad entre el registro de polen y el inicio de la floración estaría indicando que las

plantas locales cercanas al muestreador son las fuentes principales representadas en estas fases iniciales.

La curva polínica de los dos años muestra un primer aporte importante (13.5% y 10.21% del polen acumulado) que corresponde a *U. pumila* ya que la floración de *U. procera* no había comenzado. Este período es seguido por días sin granos en la atmósfera o con muy baja concentración y que coincide con la disminución de flores abiertas de *U. pumila* en las fenofases iniciales. El máximo de concentración de 1993 fue representativo del máximo de floración, ocurriendo sólo un día antes del máximo de las dos especies. En 1994 el máximo polínico se observó 5 días después del máximo de floración de *U. pumila*, pero 10 días después que la floración de *U. procera*. Esto también apoya la idea de que *U. pumila* es la principal fuente.

Durante 1993, al finalizar la floración se había alcanzado 96.05% del polen, a pesar de que se registraron granos aislados hasta 73 días después. En cambio durante 1994, y aunque sólo 55 días después del final de la floración siguieron registrándose granos en baja concentración relativa, el porcentaje durante ese período representó un 23% del total del año; el 96% acumulado se alcanzó sólo 10 días después de finalizada la floración.

Este importante aporte luego de la floración de las especies analizadas, podría explicarse de dos maneras diferentes que indicarían un origen distinto. Una de las posibilidades es que pertenezcan a árboles de alguna de estas dos especies (*U. pumila* o *U. procera*) pero que forman parte de la vegetación de las afueras de la ciudad, en el Oeste y Sudoeste donde son una de las plantaciones más importantes y en el Noroeste donde se concentra *U. pumila*. Las condiciones menos cálidas que en el centro de la ciudad, pueden postergar la floración. Los vientos habrían favorecido el transporte desde estas zonas alejadas. Estos vientos deberían ser fuertes ya que el grano no tiene características aerodinámicas favorables para la dispersión, pudiendo existir un retraso entre la emisión y la captura. La otra posibilidad, es que pertenezca a otra especie: *U. glabra*, la cual es importante hacia el Oeste de la ciudad (en bosquecillos artificiales) y que termine de florecer después de *U. pumila*; en 1994 los vientos durante su dispersión deberían haber soplado preponderantemente de ese sector.

Luego de finalizada la floración y hasta el final del registro de polen, los vientos provenientes del Oeste fueron más fuertes (4 km/h más en promedio) y 15 veces más frecuentes en 1994. Los vientos del Sudoeste para el mismo período tuvieron características similares: 4 km/h más fuertes y 11 veces más frecuentes en 1994. Finalmente, los vientos del Noroeste fueron 4.2 km/h más fuertes y 17 veces más frecuentes. Esto apoya la hipótesis de aporte regional de fuentes alejadas pero reunidas en grupos numerosos.

En la abundante contribución polínica luego de la floración registrada en 1994, no habrían influido las precipitaciones ya que el agua caída en ese período fue de 233.12 mm en 1994, 59 mm más que lo observado en el mismo período de 1993.

ACER (Fig. 5.7)

Acer representa el 2.33% de la flora arbórea local y extralocal. Los árboles del género pertenecen mayoritariamente a tres especies: *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* y *A. campestris*. De ellas, sólo *A. negundo* es anemófilo. Es la especie más numerosa con 59.43% de los arces en 2.25 km alrededor del muestreador, especialmente en los sectores Oeste y Noroeste. En el área circundante a la anterior, el porcentaje es de 55% y está presente en todos los sectores analizados predominando hacia el Este de la trampa de polen y con baja presencia en el sector Sudoeste. De las otras dos especies, *A. pseudoplatanus* es la segunda en importancia con un 34.43% de los individuos del género. *A. campestris* sólo representa un 5.74%.

En la etapa de máxima floración, el número de flores abiertas de 1993 fue levemente mayor al registrado en 1994 (56 y 51, respectivamente) y el número de flores totales fue 12.43% mayor. El año 1993 fue más productivo, con un mayor número de flores abiertas cada día de muestreo, resultando éste el factor principal que determinó las diferencias interanuales en la concentración polínica.

Los períodos de floración de las tres especies tienen un grado de superposición que, en principio, haría imposible discriminar la fuente emisora. Sin embargo, la aceptación de varias premisas permiten inferir que el polen de *Acer* registrado pertenece a la especie *A. negundo*. Entre ellas se puede mencionar que *A. negundo* es la especie anemófila y la más abundante en la

vegetación. También presenta una curva de floración coincidente con la curva polínica, tanto en la forma como en el momento en que se registran las fases principales, aunque sólo se observó una correlación significativa en 1993 ($r_{s1993}=0.68$, $p=0.003$; $r_{s1994}=0.43$, $p=0.900$). A esto hay que agregar que los granos de polen registrados coinciden con la morfología de los granos de los preparados de referencia confeccionados para esta especie. Sólo se observó aisladamente uno o dos granos de morfología diferente, similar a la de *A. campestris* (Cap. 3). Por todas estas razones, la comparación entre el polen y la floración se basó en *A. negundo*.

El inicio de la polinización en 1993 se registró 18 días antes que la floración aunque el polen acumulado sólo fue 0.75% del total anual. En 1994, las fases iniciales se registraron el mismo día. El final de la polinización se observó 39 y 27 días después en cada año respecto del final de la floración. El porcentaje de polen más allá de la floración fue bajo en los dos años (3.75% en 1993 y 1.42% en 1994). A pesar de que *A. pseudoplatanus* termina de florecer coincidentemente con el final del registro de polen, la escasa cantidad de polen después de la floración de *A. negundo* y la morfología polínica, apoyan la hipótesis que el polen pertenece a la especie más numerosa y anemófila.

El máximo polínico, en los dos años fue coincidente con el máximo de floración (2 días después en 1993 y el mismo día en 1994). El polen acumulado en 1993 hasta ese momento fue de sólo 6.16%, pero una semana después, se alcanzó el 50% de polen. En 1994 el día de máxima floración se había acumulado 51.42% del total.

Durante el período de presencia de polen en la atmósfera, la frecuencia de vientos de los sectores con mayor densidad de árboles fue menor en 1993 (17.60%) respecto de la frecuencia de 1994 (34.13%). Por ésto se postula que los vientos no influyeron en la variación interanual de la concentración (mayor aporte de polen en 1993). En cambio, en los dos meses con importante aporte de *Acer* (setiembre y octubre), las precipitaciones acumularon 187.48 mm más en el año 1994, siendo también mayores que los datos estadísticos de los últimos 30 años. Estas abundantes lluvias pueden haber influido en el menor registro de granos de polen en la atmósfera durante el segundo año; sin embargo, estas variables no están correlacionadas. La mayor concentración en 1993 puede ser producto de dos fenómenos que interactúan; por un lado, la

mayor cantidad de flores producidas en ese año y por otro, las escasas precipitaciones registradas durante la época de floración respecto al año siguiente.

El ascenso rápido de temperatura parece estar relacionado con la floración y emisión de polen ya que las flores comienzan a abrirse cuando la temperatura asciende entre 2 y 4°C respecto a las semanas previas. El cambio de temperatura y no la temperatura instantánea parece desencadenar el proceso ya que en 1993 se inició la floración con 17°C y en 1994 con 10°C. Estas diferencias absolutas de temperatura entre los dos años podrían tener relevancia en la apertura floral y, por lo tanto, en la concentración de polen diferente en los dos años. El máximo de polen se alcanzó con dos grados más en 1993, lo que apoya la idea anterior, y se suma a lo expresado en el capítulo 2 relacionado con las condiciones previas al inicio de la floración.

SALIX (Fig. 5.8)

En la vegetación, los sauces están representados por varias especies, aunque la densidad respecto a otros géneros es muy baja (0.97% en el área cercana al muestreador). Una de las especies más numerosas es *S. erythroflexuosa* con 42.5% del total del género cerca de la trampa de polen y 26% en la zona más alejada; sus ejemplares en general son femeninos por lo que no tienen relevancia como fuente emisora de polen. La otra especie importante es *S. alba* con 42.5% en los alrededores y 37% en la zona más alejada. Luego, con un 6% cerca del muestreador está *S. caprea*, aunque no está bien representada en la vegetación regional. Con *S. babylonica* ocurre lo contrario, es relativamente importante en el área externa pero no en las cercanías del muestreador. Son escasos los ejemplares de *S. humboltiana*. Por lo anterior, se consideró de importancia en el seguimiento de la floración a *S. caprea* y a *S. alba*; en conjunto representan el 85% de las fuentes de polen locales y extralocales. Debido a la floración simultánea de *S. alba* y *S. caprea*, se promediaron los valores tomados en cada especie para su comparación con la concentración de polen.

La aparición de flores abiertas en 1993 se observó 12 días antes que el polen comenzara a registrarse, y al inicio de la polinización ya había en promedio 18.75% de flores abiertas por árbol. En 1994 el inicio de los dos

eventos fue simultáneo. En 1993 el máximo polínico se observó sólo 4 días antes que el máximo de floración y en 1994, sólo 5 días después. Estas diferencias no son significativas teniendo en cuenta la periodicidad del muestreo fenológico. El polen acumulado hasta la fecha de máxima floración fue 62.52% el primer año y 52.94% en el segundo.

La floración de 1993 manifestó un pico secundario antes del máximo al igual que la concentración polínica, con varios picos considerables antes del máximo; en cambio, en 1994 el máximo de cada evento se alcanzó en pocos días luego del inicio. En 1993 el máximo de floración de las especies estuvo desfasado 23 días (para *S. caprea* se produjo el 31/8 y para *S. alba* el 23/9) y la curva de floración de *S. alba* presentó dos picos secundarios antes del máximo. En 1994 la diferencia entre los máximos de floración fue de sólo 9 días, ocurriendo el 12/9 para *S. caprea* y el 21/9 para *S. alba*. Esto indicaría que la mayor contribución sería aportada por *S. alba* (la especie más abundante en la vegetación).

El final del registro de polen en 1993 fue 19 días después que el final de la floración, a diferencia de lo ocurrido en 1994 que se registró sólo un día más tarde. La concentración acumulada después de la floración fue mayor en 1993 (7.94% en el primer año y 3.92% en el segundo).

En 1994, la concentración de polen estuvo positivamente correlacionada con las precipitaciones ($r=0.25$, $p<0.05$), indicando que no existe modificación en la relación polen-floración como lo demuestra la correcta representación de las fenofases iniciales y finales y la duración de la floración por parte del registro polínico.

POPULUS (Fig. 5.9)

Populus representa un 5.37% de los árboles de la vegetación local y extralocal al muestreador. Las dos especies principales son *P. x canadensis* y *P. canescens* (90% de los álamos). En los sectores Sudoeste, Oeste y Noroeste del área cercana se concentra el 65.81% de estas especies, principalmente hacia el Oeste. En el área exterior también son más abundantes en los mismos sectores. Otras especies presentes en ambas áreas son *P. alba*, *P. nigra* y *P. cordata*, todas ellas con baja densidad. Dada la abundancia de *P. x canadensis* y de *P.*

canescens, se realizó el seguimiento de la floración sobre estas dos especies. El progreso de las fenofases florales fue muy similar tanto entre las especies como entre años. En lo sucesivo se considera la floración de estas dos especies conjuntamente.

Existe una gran correspondencia entre el polen y la floración. Al momento de iniciarse la floración, que ocurrió 6 y 5 días después que el registro de polen, se acumularon escasos porcentajes (0.76% y 0.31% de granos/m³ cada año). El máximo polínico se observó un día antes que el máximo de floración, alcanzando 61.52% y 70.95% del polen anual en cada año.

Como diferencia relativamente importante sólo debe mencionarse que durante 1993 el polen acumulado después de finalizada la floración fue relativamente alto (21% del total anual respecto a 5.20% en 1994). Este porcentaje se registra en 1993 en 44 días, mientras que en 1994 sólo en 22. La permanencia en la atmósfera luego de la floración se relaciona con las características del grano de *Populus*: grandes pero de exinas muy delgadas y de ornamentación delicada. En este período entre el final de la floración y el final de la polinización se registró, en promedio, en 1994 el doble de precipitaciones que en 1993. Además, al día siguiente de finalizada la floración en 1994, se registró una fuerte lluvia de 119.80 mm. La mayor cantidad de lluvias de 1994 hizo que la resuspensión normal de granos haya estado limitada.

BETULA (Fig. 5.10)

Betula es uno de los pocos taxones con mayor concentración en 1994 (Cap. 3). También existieron diferencias interanuales en la distribución de la concentración. En 1993, el 86.42% del total del género se registró en octubre; en 1994, las proporciones relativas de setiembre y octubre fueron similares (58.37% y 41.63% respectivamente).

B. pendula es la única especie presente en la ciudad. Los abedules representan el 1.65% de los árboles en la vegetación local y extralocal. Aunque la densidad en promedio es relativamente baja (0.43 árboles por cuadra), generalmente se presentan reunidos en grupos de tres. El 75% de los ejemplares se encuentran en los sectores Sur-Sudoeste-Oeste. Durante la polinización, los vientos de estos sectores de mayor abundancia fueron

levemente más frecuentes en 1994 (32.63% de las horas) y podrían haber favorecido la llegada de polen desde las fuentes más alejadas; en 1993 la frecuencia fue 23.69%. Las precipitaciones durante la polinización de 1993 fueron 93.26 mm más bajas que las estadísticas de los últimos 30 años; contrariamente, en 1994 fueron 94.22 mm mayores. Parecería que las precipitaciones más abundantes en 1994 durante la etapa de dispersión, no disminuyen la cantidad de polen emitida a la atmósfera. La hipótesis planteada en el capítulo 3 respecto a un ritmo bianual de producción de polen de *Betula*, encuentra aquí un apoyo adicional.

En los dos períodos anuales de floración, se registró un pico secundario de floración antes del máximo. También en los dos años, los máximos de floración coincidieron con un aumento de la temperatura, alcanzando valores mayores a 15° C.

No se observan diferencias importantes entre un año y otro entre el inicio del período de polinización y el período de floración. En 1993 el polen se registró 8 días antes que la floración, pero durante ese breve período se acumuló sólo 2.37%; en 1994 ambos eventos ocurrieron simultáneamente. El registro de polen se extendió 9 días más después del final de la floración en 1993, aunque la cantidad en esos días fue baja (2.37%); durante 1994 el registro de granos terminó 5 días antes que el final de la floración.

Existen diferencias interanuales en el registro de los máximos. En 1993 el máximo de polen se observó 2 días después que el máximo de floración, (diferencia que no es significativa considerando la frecuencia del muestreo floral), acumulándose 48.90% de polen. En cambio, el máximo polínico de 1994 se registró 20 días antes que el máximo de floración, llegando a 80.94% el polen acumulado. Sin embargo, la mayor concentración de 1994 se alcanzó sólo 5 días antes que el pico secundario de floración; el polen acumulado hasta ese momento fue de 47.03%, similar a lo acumulado en 1993 hasta el máximo de floración. Además, entre el inicio y el máximo polínico se registraron 33 días en 1993 y sólo 15 en 1994.

QUERCUS

Q. robur y *Q. ilex* son las dos especies más abundantes en la vegetación (88.79% y 7.62% respectivamente, de los robles locales y extralocales). Los individuos se encuentran en su mayoría agrupados en bosquecillos artificiales monoespecíficos presentes en el sector Sur-Sudoeste-Oeste respecto del muestreador polínico. La polinización de *Q. robur* finaliza cuando comienza la de *Q. ilex*.

Q. robur (Fig. 5.11)

El polen de *Q. robur* registrado en los 5 días antes del inicio de la floración en 1993, sólo llegó a representar 0.80% del total; en 1994 el polen comenzó a registrarse un día después. La mayor diferencia entre años se observó en los máximos; en 1994 hubo dos picos: el principal 11 días después que el máximo de 1993 y el secundario 6 días antes. La evolución del desarrollo floral fue similar entre los dos años; la correlación por rangos del porcentaje de floración fue máxima y las diferencias entre los valores medios a lo largo de todo el período no fueron significativas (t de Student=-0.307; $p=0.765$).

La concentración de polen al finalizar la floración alcanzaba 95.30% y 97.64% en cada año; luego de ello, se registraron unos pocos granos durante 36 y 41 días más cada año. La diferencia interanual más importante entre el polen y la floración fue durante la fase máxima. En 1993 el porcentaje de polen acumulado hasta el máximo de floración fue de 92.85% y sólo de 52% en 1994. En este último año el máximo de floración ocurrió 14 días antes que el máximo polínico, aunque 3 días después del segundo pico de alta concentración. El período de polinización se extendió 41 y 40 días más que la estación de floración.

Durante la polinización, la temperatura de 1994 fue, en promedio, 1.13° C mayor, la humedad relativa 3.69% menor y la velocidad del viento 4.3 km/h mayor respecto a 1993. La frecuencia de vientos de los sectores de mayor densidad de plantas fue similar (sólo 3.7% más frecuente en 1994). Las precipitaciones fueron 66.16 mm mayores en 1994. Sin embargo, hay que considerar que 119.80 mm del total de lluvias de 1994 fueron registrados en un

sólo día y al final de la floración, no influyendo así en la concentración final y a que una escasa cantidad de polen se estaría liberando en ese momento. Por otra parte, si bien 53.4 mm fueron registradas en la fase inicial de la floración de 1994, la correlación entre las precipitaciones y la concentración de polen no fue significativa ($r_s = -0.013$; $p = 0.938$). Todo esto indica que las condiciones atmosféricas en 1994 fueron similares o más favorables para la permanencia de granos en suspensión y sin embargo, la concentración total fue 70.64% menor que la de 1993. Podría afirmarse, que la producción de polen estuvo restringida en 1994 o, más probablemente, favorecida en 1993, confirmando así la influencia de las condiciones climáticas estacionales previas a la floración en relación a los requerimientos fisiológicos de la especie (Cap. 2).

Q. ilex (Fig. 5.12)

A diferencia de *Q. robur*, la concentración polínica de *Q. ilex* fue 96.33% mayor en 1994. El período de polinización de *Q. ilex* fue muy corto: 22 días cada año y durante el mes de noviembre. No se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de floración alcanzado a lo largo del período (t de Student = 0.862; $p = 0.414$) y la correlación por rangos entre años fue altamente significativa ($r_s = 0.941$; $p = 0.0051$).

El inicio de la polinización se registró en 1993 sólo un día después que el inicio de la floración, pero en 1994 fue 8 días más tarde. El máximo polínico se registró 7 días antes que el máximo de floración en 1993, y sólo un día antes en 1994. El porcentaje de polen acumulado hasta el día de máxima floración fue más alto de lo esperado pero similar en cada año (84.78% y 87.09%).

Durante la polinización de *Q. ilex*, la frecuencia de vientos de los sectores con mayor densidad de estas plantas fue similar entre años (31% y 30.2%). Sin embargo, la velocidad promedio fue 2.6 km/h mayor en 1994, especialmente de la dirección SO. Además, la temperatura en 1994 fue 1.7°C mayor, la humedad relativa promedio 10.54% menor, y las precipitaciones 116.13 mm menores respecto del año anterior. Todas estas características hacen que las condiciones de 1994 hayan sido mejores para la dispersión de polen aunque no se observó ninguna correlación significativa entre la concentración de polen y las variables meteorológicas.

La gran diferencia interanual en la concentración de polen no sólo puede deberse a buenas condiciones para la dispersión en 1994, sino también a una productividad diferente. El comportamiento reproductivo de *Q. ilex* es similar al de *Betula* y opuesto al del resto de los taxones. La posibilidad de un ritmo cíclico reproductivo relativamente independiente de las condiciones climáticas previas continúa siendo una hipótesis plausible (Cap. 3). Otra posibilidad, y sólo para *Q. ilex*, es que al ser una especie de floración tardía (noviembre), otras condiciones climáticas previas sean las requeridas para una alta producción de polen. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido planteada en trabajos anteriores sobre el tema.

PLATANUS (Fig. 5.13)

Platanus fue el tipo polínico arbóreo más abundante en 1993 y el segundo en 1994. Los ejemplares plantados en la ciudad corresponden a *P. acerifolia*. En el área circundante al muestreador polínico representan el 4.61% de los árboles, siendo relativamente frecuentes en las calles (1.2 árboles por cuadra en promedio). En el área circundante a la anterior, la mayor cantidad de árboles se encuentra en los sectores Este y Noreste respecto al muestreador (61.95% del total de plátanos).

El porcentaje promedio de flores abiertas fue similar entre años a lo largo de todo el período (t de Student = -0.32, $p = 0.754$). Todo esto indica la regularidad del proceso.

La mayor diferencia interanual entre el polen y la floración se observó al comienzo. En 1993 el polen comenzó a registrarse sólo 5 días antes que el inicio de la floración, pero acumulándose en este breve período el 6.75% del total anual. El polen de este período en 1993 podría provenir de media-larga distancia aunque las condiciones meteorológicas no serían las propicias para que ocurra este fenómeno (3.74 km/h menor la velocidad del viento que en 1994). En cambio en 1994, en los 13 días de presencia de polen antes de la floración, sólo se acumuló el 0.12% del total anual. El máximo de floración ocurrió después que el máximo polínico (1 y 9 días en cada año), habiéndose acumulado un porcentaje de polen similar (69.17% y 65.65%). Al finalizar la floración, el polen llegaba al 98.40% y 98.77% del total anual, aunque la

presencia de polen se extendió 38 y 51 días más cada año. A pesar de las diferencias al principio de 1993, los dos eventos (polen-floración) estuvieron correlacionados significativamente en los dos años ($r_{s1993}=0.848$, $P=0.0039$; $r_{s1994}=0.839$, $p=0.0047$).

La temperatura durante la polinización de 1993 fue, en promedio, 0.36°C menor que en 1994, la humedad relativa 3.63% mayor y la velocidad del viento 4.14 km/h menor, condiciones que no serían favorables para la dispersión, aunque los vientos de los sectores N-NE fueron 11.91% más frecuentes. Las precipitaciones de 1993 fueron 88.16 mm menores pero si no consideramos los 119.8 mm registrados al final de la floración de 1994, la diferencia se invierte siendo en 1993 31.64 mm mayor a las precipitaciones de 1994. Entre el inicio y máximo de la floración, las precipitaciones de 1993 fueron sólo de 3.72 mm; en 1994 fueron de 53.9 mm y produjo una evidente disminución de la concentración de polen. El 22/9/94 se registró el máximo polínico y también se registró 41.5 mm, aunque probablemente en horas posteriores; al día siguiente la concentración fue mínima, registrándose también precipitaciones. Estas lluvias de 1994 pueden haber contribuido a que se registren un menor número de granos que los producidos-emitidos, aunque al durar sólo dos días parecen no explicar la menor concentración total observada respecto a 1993. En ninguno de los dos años se detectó una correlación significativa del polen con las variables meteorológicas.

Otra vez, las condiciones climáticas estacionales previas a la floración explican la productividad diferencial observada en los dos años, y sólo los vientos levemente más frecuentes en 1993 podrían en parte favorecer la dispersión de granos.

JUGLANS (Fig. 5.14)

Los ejemplares de *Juglans regia* generalmente están de a dos en las calles y su porcentaje respecto del total de árboles es muy bajo (0.62%). La mayor densidad se concentra en los sectores O y NO (55% de los nogales).

En los dos años, la duración del período de floración y el de polen fue aproximadamente igual (8 y 1 días más extenso el segundo evento). Sin embargo, existió un retraso de 12 y 17 días cada año entre la emisión (inicio

floración) y la captura (inicio polinización). Los granos de *Juglans* son grandes y relativamente densos, por lo que es posible que el retardo entre la emisión y la captura se deba a que los primeros granos liberados provengan de plantas no cercanas al muestreador. El final de la polinización también se registró después que el final de la floración (25 y 13 días cada año) aunque después se registró 7.41% y 2.62% del total anual. El máximo de floración ocurrió 1 y 3 días antes que el máximo de polen por lo que hasta ese momento sólo se había acumulado 33.33% y 41.89% de polen. A pesar del defasaje observado cada año, las etapas de los dos eventos estuvieron significativamente correlacionadas ($r_{s1993}=0.877$, $p=0.00039$; $r_{s1994}=0.811$, $p=0.0025$).

Durante el período de floración de 1994 se registraron 195.68 mm más de precipitaciones, aunque 118.9 mm se registraron en un sólo día. Esto pudo haber contribuido a que se hayan registrado menos granos de polen en la atmósfera en ese año. Sin embargo, no se observó correlación significativa entre el polen y las precipitaciones.

LIQUIDAMBAR (Fig. 5.15)

El porcentaje aportado al espectro polínico arbóreo fue escaso, ya que el porcentaje de árboles de *Liquidambar styraciflua* es extremadamente bajo (0.34% respecto del total de árboles).

El período de polinización de 1994 duró 38 días menos que en 1993 (comenzó 11 días después y finalizó 27 días antes). Sin embargo, el máximo polínico ocurrió con sólo dos días de diferencia (dos días antes en 1994).

El máximo de floración fue de 68% en 1994 pero en 1993 sólo alcanzó 25%. Este bajo porcentaje evidencia una gran variación entre árboles en 1993 y un comportamiento diferencial entre años (coeficiente de variación promedio: 25% mayor en 1993).

El porcentaje de polen acumulado al inicio de la floración fue más o menos similar entre años (8% y 5.88%) aunque el inicio del registro de granos fue 23 días antes en 1993 y sólo 6 días antes en 1994. Una gran diferencia se observó en el máximo de floración, en 1993 se acumuló sólo 41% del polen total y en 1994 el 100%. Esta gran diferencia puede ser atribuida a que el máximo de polen se registró 7 días antes que el máximo de floración en 1994, pero 1 día

después en 1993. El final de la polinización en 1993 se observó 20 días después del final de la floración, habiéndose acumulado hasta ese momento el 98% del total anual. El período de polen duró 43 días más que el de floración en 1993, pero 7 días menos en 1994.

Se observó una correlación significativa entre el polen y la floración ($r_{s1993}=0.716$, $p=0.03$; $r_{s1994}=0.898$, $p=0.001$); la mayor cantidad de polen se registró en la primera mitad de la etapa de floración. Sin embargo en esta etapa no se registraron lluvias en 1993 pero sí en 1994 (75.4 mm). Además, durante todo el período de floración, las precipitaciones también fueron mucho mayores en 1994 (175.3 mm). Esto pudo haber afectado la dispersión polínica y evitado que luego del máximo de floración de 1994 ya no se registraran más granos en la atmósfera.

DISCUSION

1. Relación entre el desarrollo floral y el aporte polínico de la comunidad arbórea anemófila

La curva de polen acumulado sigue el mismo patrón del desarrollo floral. Esto es indicativo de que los datos aerobiológicos son adecuados para analizar el desarrollo floral de la comunidad vegetal. Es posible entonces, a partir de la ecuación de regresión presentada (pág. 181), estimar en forma preliminar el estado fenológico de la comunidad emisora. El estudio del ritmo fenológico colectivo, contribuye válidamente al conocimiento de las características bioecológicas y de la dinámica de la comunidad vegetal (Arrigoni *et al*, 1977). Como las plantas son excelentes indicadores de las diferencias climáticas, las observaciones aerobiológicas que concuerdan con las fenofases florales representan una alternativa más adecuada que los instrumentos mecánicos meteorológicos para la caracterización de áreas locales (Taylor, 1974). El análisis del polen atmosférico se convierte así, en un instrumento bioclimático de la región sumamente importante que refleja la respuesta de los organismos al ambiente.

Por otra parte, la ventaja práctica no sólo se debe al menor esfuerzo de muestreo, sino también a la posibilidad de realizar esta estimación en forma

retrospectiva, y quizás también con la incorporación de mayor cantidad de años de monitoreo, una estimación prospectiva del comportamiento reproductivo de la vegetación en su conjunto. Como los árboles tienen una plasticidad considerable y son capaces de responder fenotípicamente a cambios en su clima local, son particularmente sensibles para evaluar el impacto del calentamiento climático global que parece estar ocurriendo (Kramer, 1995; Spano *et al.*, 1999). La utilización de modelos matemáticos relacionados a este tema y a la predicción del rendimiento de cosechas o para el aprovechamiento forestal, es actualmente uno de los temas más importantes a escala mundial. La limitación es que se requiere de la disponibilidad de una serie temporal larga de datos apropiados; no obstante los datos fenológicos/aerobiológicos representan una perspectiva prometedora (Mechlia & Carroll, 1989; Schwartz, 1999).

2. Comparación de las fases principales entre los fenómenos aerobiológicos y fenológicos

De acuerdo a los resultados obtenidos, los granos de polen se registran en promedio, hasta 19 días después de finalizada la floración. En principio, esto parece indicar que el registro de granos de polen de la atmósfera no es preciso en determinar el final de la floración. Sin embargo, la cantidad de granos en la atmósfera que queda remanente después de la floración es muy baja y representaría polen resuspendido (O'Rourke, 1990). Otra posibilidad es que las fuentes de este polen se encuentren alejadas (Mandrioli, 1980; Hjelmroos & van Hage-Hams, 1993). La vegetación del centro de la ciudad puede florecer 1-2 semanas antes que el resto de la ciudad, especialmente en la periferia, debido al efecto de isla de calor (Emberlin *et al.*, 1990; Caramiello *et al.*, 1994). En Mar del Plata la diferencia de temperatura entre el área urbana y suburbana es de aproximadamente, 2° C (Pérez, com. pres.). Sin embargo, sólo para *Populus* en 1993 y para *Ulmus* en 1994, se registró una cantidad relativamente importante de polen después de finalizada la floración. De todas maneras, el origen de este polen es secundario (reflotado o transportado desde media-larga distancia) (ver más adelante).

Un objetivo de suma importancia en estudios ecológicos y genéticos, es determinar el inicio y el final de la estación de floración. Para ello, se han propuestos varios métodos utilizando los datos aerobiológicos (Hänninen, 1984; Sarvas, 1972). El método de Hänninen (1984) se basa en el análisis estadístico de varios años y se fundamenta en premisas teóricas pero sin el apoyo empírico de observaciones fenológicas. El período de floración puede ser estimado con la ayuda de datos de polen aerotransportado y de acuerdo con el porcentaje de polen acumulado en el momento en que ocurre cada fenofase floral. De acuerdo con los resultados obtenidos aquí, los períodos de floración se extienden desde el día en que se registra el 1% del total anual hasta el día en que se ha acumulado el 96% de lo emitido por el taxón. Esta redefinición de la estación polínica evita distorsiones al comienzo de la estación debido a la ocurrencia fortuita de una floración anormal de árboles no muestreados y la resuspensión de granos al final. El máximo de floración coincide en promedio, con el registro del 60% del polen total. El período de floración definido así, se asemeja a las distintas definiciones del período principal de polinización el cual, teóricamente, se corresponde con la floración de plantas locales (Lejoly-Gabriel, 1978; Nilsson & Persson, 1981; Goldberg *et al.*, 1988; Emberlin *et al.*, 1997). Pero en este estudio está basado en observaciones detalladas de la fenología floral y no sólo en datos aerobiológicos.

El porcentaje de polen alcanzado en el momento de las fases máximas y finales de la floración fueron similares entre años y entre taxones. Por el contrario, el porcentaje de polen acumulado antes de que se detectaron flores abiertas fue variable entre años debido a algunos taxones particulares. Los datos utilizados aquí, no son suficientes para una estimación más exacta del comienzo de la floración. Existen taxones cuya variabilidad respecto a la apertura floral no es uniforme dentro o entre individuos y es mayor si se la compara con otras especies (Cap. 2; Latorre & Bianchi, 1997). Quizás el comienzo de la floración debería ajustarse particularmente para cada taxón (como en Hänninen, 1984) y/o por otros métodos como la suma de temperaturas diarias o unidades de calor acumuladas (Bowers & Dimmitt, 1994).

Dado que las condiciones climático-estacionales de cualquier región, y consecuentemente el comportamiento fenológico de muchas especies varía año a año (Zerboni *et al.*, 1991), fue necesario considerar esta variable de tiempo. A

pesar de que pueden existir pequeñas fluctuaciones entre los períodos de floración y de polen al comienzo, la duración, el máximo y el final (si no se tiene en cuenta el polen secundario) en general, es constante para todas las especies y en los dos años analizados. El patrón de descarga polínica es un atributo de la población que está fijado de acuerdo con la biología reproductiva de la especie, por lo que se repite año a año (Comtois & Sherknies, 1987).

3. Análisis integral de los taxones más importantes

En los dos años de muestreo y en todos los géneros analizados, excepto en *Fraxinus* y en *Ulmus* sólo durante 1994, se observó que existe una buena correspondencia entre los patrones fenológicos y los aerobiológicos. Únicamente en Italia (Zerboni *et al.*, 1991), y en algunos países escandinavos relacionados con la posibilidad de contaminación genética de cultivares silvícolas (Luomajoki, 1993), se han realizado anteriormente estudios comparativos similares a éste entre la fenología floral y la concentración de polen en los cuales también se determinó que ambas variables están bien correlacionadas.

En la mayoría de los taxones analizados y especialmente en *Platanus*, *Populus*, *Acer* y *Betula*, las diferentes concentraciones a lo largo del período de polinización representan exactamente las fenofases florales de las especies más importantes. La precisión del registro aerobiológico además, permite identificar la floración bimodal (con dos pulsos de alto número de flores abiertas separados en el tiempo por días con bajo número) que presentan algunos taxones como *Ulmus*, *Salix* y *Betula*. Este particular ritmo de floración está representado en la curva polínica como dos aumentos importantes en la concentración.

Las discrepancias entre el polen y la floración observadas en ciertos casos, se deben a contingencias meteorológicas (muchas veces propias de las zonas urbanas) o a condiciones biológicas de fuentes particulares.

En el caso del género *Fraxinus* el ajuste de las curvas de polen a las de floración no es, en general, adecuado si no se tienen en cuenta diversos factores. La alta variabilidad entre individuos de una misma especie y entre ramas de un mismo individuo en la fenología floral de las especies del género (indicada en parte por el bajo porcentaje de máxima floración alcanzado) y la dinámica de

apertura floral dentro de cada individuo (Latorre & Bianchi, 1998), resulta en numerosos picos de concentración polínica. Esto podría ser una adaptación de la polinización anemófila a la diecia que presentan (Tapper, 1996). La correspondencia de cada curva de polen con su correspondiente curva fenológica es compleja debido a la alta variabilidad fenológica intrínseca del género (Cap. 2), a su mecanismo de emisión por pulsos y a las características típicamente anemófilas del grano que favorecen su dispersión. Todo ésto, sumado a las sucesivas floraciones de las distintas especies, hace que varios picos de concentración representen al género.

La resuspensión o permanencia de los granos en la atmósfera y/o el de transporte de larga distancia son dos fenómenos que explican la falta de coincidencia entre el polen y la floración, y que dan cuenta del registro de concentraciones relativamente altas luego de finalizada la floración como en los casos de *Fraxinus*, de *Populus* en 1993 y de *Ulmus* en 1994. Para Mandrioli *et al.* (1980) en estudios sobre *Corylus*, el transporte de larga distancia es infrecuente por lo que la resuspensión de partículas depositadas durante el período de floración puede jugar un rol muy importante en reincorporar polen a la atmósfera después de finalizada la floración. En cambio para O'Rourke (1989) y Meiffren (1988), el polen es refltado fuera de la estación de polinización sólo bajo condiciones excepcionales de corrientes convectivas y turbulencias previas a las tormentas. Por otra parte, el transporte de media-larga distancia ha sido probado en estudios donde concentraciones importantes se registran antes del inicio de la floración local (Hjelmroos, 1991) o en ausencia de fuentes locales (Johansen, 1992).

En relación a lo anterior, se observó que parte del polen emitido por *F. americana* (especie que aporta más del 60% al género) permanece en suspensión luego de finalizada la floración. El requerimiento de una presencia constante de polen para asegurar la fertilización del óvulo de las especies anemófilas, como fue mencionado anteriormente, puede verse favorecido por las características aerodinámicas de los granos (livianos y de exinas delgadas) que facilitan su permanencia en la atmósfera luego de ser liberados (Aljaro & Hoffman, 1979). También puede existir un mezcla con el polen proveniente de fuentes alejadas con una floración tardía (media-larga distancia) o de *F. aurea*

que florece a continuación. Sin embargo, se estima que el aporte de *F. aurea* es bajo por el reducido número de ejemplares en la ciudad, y porque no existe ningún pico de concentración importante que se corresponda con su período de floración. Los vientos de los sectores con mayor abundancia de *F. americana* fueron más frecuentes y las precipitaciones fueron menores durante su floración en 1993. Estas condiciones habrían potenciado no sólo las diferencias interanuales de concentración debidas a la mayor productividad polínica de ese año, sino también la captura de un mayor número de granos.

Para *Ulmus* también se da una situación particular. Durante 1993, las fuentes principales son árboles de *U. pumila* creciendo en los alrededores del muestreador (locales-extralocales). En cambio, en 1994, se observó además un alto porcentaje polínico del género luego del final de la floración de las fuentes locales-extralocales que proviene de fuentes alejadas ubicadas al Oeste del muestreador. En este sector es más abundante *U. pumila* (la especie más importante) pero también está presente otra especie no local: *U. glabra*, reunida en "poblaciones" de relativamente alta densidad. Aunque por las características del grano del género (grandes y de exinas gruesas) se ha sugerido que la dispersión es limitada (Janssen, 1973; Cap. 4), la velocidad de depositación de cualquier grano, en general, disminuye linealmente con el aumento de la velocidad del viento (Tampieri et al., 1977). Las altas velocidades del viento registradas de las direcciones con mayor densidad de árboles han posibilitado el transporte de estos granos. Si bien, en muchos casos se ha observado que *Ulmus* está subrepresentado (especialmente en muestras de suelo y en zonas boscosas donde los filtros son más efectivos), existe una representación extralocal o regional considerable (Janssen, 1966). Específicamente, para *U. glabra* se ha determinado que el polen puede ser transportado distancias tan grandes como 30-60 km si se dan condiciones atmosféricas adecuadas (Johansen, 1992). Además, puede existir cierta cantidad de polen reflatado, ya que se han observado granos con ausencia de citoplasma y exinas dañadas (Latorre & Bianchi, 1998). La lejanía de las fuentes emisoras de este polen regional y/o su retraso en la floración por condiciones microclimáticas diferentes, hace que se registren importantes concentraciones más allá de la floración de las plantas locales-extralocales.

Debido a las características de los granos de polen de *Populus* (con exinas muy delgadas), el fenómeno de resuspensión a la atmósfera o su permanencia después de finalizada la floración, parece ser la situación normal. Existen diferencias importantes entre distintos tipos de granos en cuanto a la velocidad de sedimentación (ej. *Pinus* sedimenta más rápido que *Betula*) que determina la extensión del período en el cual los granos se mantienen en suspensión (Lindgren *et al.*, 1995). Se ha observado en muchas ocasiones y en varias ciudades que el polen de *Populus* está presente en la atmósfera por períodos notoriamente más prolongados que el correspondiente a la duración de su floración. Esto podría deberse a las características morfológicas del polen tales como peso y contenido de humedad que le permite mantenerse en suspensión por más tiempo (Aljaro & Hoffman, 1979). Sin embargo, si se registran fuertes lluvias como las observadas después de finalizada la floración de 1994, este fenómeno no tiene lugar. Las lluvias influyen diferencialmente según el tamaño del grano: los granos grandes son lavados más rápidamente de la atmósfera que los pequeños (Norris-Hill & Emberlin, 1993). Si bien el de *Populus* es un grano liviano, tiene gran tamaño lo cual favorecería su sedimentación con las precipitaciones.

Otro factor que se debe tener en cuenta al interpretar los resultados obtenidos a partir del registro de polen es la estrategia de polinización. De las tres especies principales de *Acer* presentes en la ciudad, la anemófila *A. negundo* representa la fuente principal de polen del total genérico. Las curvas de floración de esta especie y las de polen son similares y simultáneas en sus fases principales. Por otra parte, *Salix* es considerado por algunos autores como un género con características entomófilas ya que su polen es pegajoso y tiende a mantenerse en grupos por lo que necesitaría fuertes vientos para ser transportado (Käpylä, 1984), siendo este transporte de corta distancia (Janssen, 1966)). Sin embargo, como tiene una alta productividad (Faegri & van der Pijl, 1979), la curva polínica refleja la de floración. Durante el trabajo de campo se observaron abejas visitando plantas de *S. caprea* y, sumado a su menor densidad de árboles en la zona, podría postularse que es *S. alba* la especie que más contribuye al espectro polínico.

Tanto para *Q. robur* en 1993 como para *Q. ilex* en los dos años, la mayor concentración polínica, aún el máximo, ocurre antes del máximo de floración. Si bien estas diferencias pueden resultar no significativas por la periodicidad del muestreo fenológico, en gran medida resultan de dos eventos diferentes. Uno de ellos, se relaciona con la cercanía del mayor número de fuentes emisoras que evita un retraso entre la emisión y la captura (Latorre, 1999; Cap. 4). La situación inversa parece suceder en *Juglans*, en el cual sí existe un retraso entre la emisión y la captura que se relaciona con la distancia lejana de las fuentes emisoras, hecho favorecido por las características del grano de gran tamaño. En general, si los vientos son fuertes y hay turbulencia, no hay diferencias temporales entre la descarga y la captura de polen (Subba Reddi & Reddi, 1985).

El otro evento se relaciona con que casi todo el polen emitido puede ser liberado inmediatamente luego de la apertura floral y aunque las flores masculinas permanecen en el árbol, ya no contengan polen (Latorre, 1993). En otros taxones como en *Platanus*, también el máximo de polen ocurre unos días antes que el máximo de floración. Lo anterior sugiere que el ritmo de descarga polínica puede ser diferente a lo largo del tiempo en que la flor permanece abierta, y que las anteras se descarguen inmediatamente. La humedad relativa instantánea, la temperatura y la velocidad del viento son factores que afectan la liberación del polen. Las anteras se abren cuando las condiciones son favorables: caluroso, seco y ventoso en el caso de especies anemófilas (Bassani *et al.*, 1994). Pero el ritmo de descarga también puede ser diferente entre especies. La última fase de la antesis es distinta en cada especie de árbol y, en general, la antesis de especies arbóreas es más independiente de las condiciones meteorológicas instantáneas que en especies herbáceas (Käpylä, 1984). Para evaluar como posibles los factores anteriormente mencionados, habría que descartar primero que las diferencias temporales entre los máximos sean significativas, y ésto se lograría con el aumento de la intensidad del muestreo fenológico (por ej. diariamente).

En *Liquidambar*, también la mayor cantidad de polen se registra en las primeras etapas de la floración, aunque en este caso las precipitaciones pueden haber contribuido a que luego del máximo y hasta el final de la floración de

1994, pocos granos sean observados. El efecto de las precipitaciones resulta más efectivo en estos granos de gran tamaño.

En el año 1993, en el cual se observó una mayor productividad general (mayor concentración de polen correspondiente a un mayor número de flores), la concordancia entre los patrones fenológicos y los aerobiológicos fue más clara que en el año 1994 para algunos taxones. Si bien, en algunos casos (ej. *Betula*, *Platanus*, *Juglans*) las condiciones meteorológicas durante la dispersión de polen han sido favorables para su registro y pueden haber influido en parte en la diferencia interanual observada, en otros casos (ej. *Acer*, *Liquidambar*) las condiciones favorables para su mantenimiento en suspensión y llegada al muestreador ocurrieron en el año con menor cantidad de polen anual. Es por ello, que las mejores condiciones climático-estacionales previas a la floración para la mayor productividad polínica durante 1993 y, en el caso de *B. pendula* y de *Q. ilex* el ritmo endógeno reproductivo, siguen siendo las hipótesis principales para explicar la diferencia interanual de concentración polínica. La principal influencia en la concentración de polen es la productividad de las plantas (O'Rourke, 1986). Sin embargo, no debe descartarse que el efecto instantáneo durante la dispersión polínica se suma al mecanismo reproductivo, aumentando la diferencia entre las concentraciones polínicas entre un año y otro.

Un resultado importante para su proyección en distintas áreas es que la dinámica de la vegetación local-extralocal está expresada en el espectro polínico atmosférico registrado por este único muestreador de la ciudad de Mar del Plata. Si bien no puede descartarse que una pequeña proporción de polen regional (o aún extrarregional) se mezcle con el polen local-extralocal, para que se exprese la vegetación regional de una forma destacable se requiere de condiciones meteorológicas particulares como vientos (fuertes) de la dirección de mayor abundancia de las fuentes, y escasas o nulas precipitaciones. Estas condiciones atmosféricas también son las adecuadas para la permanencia de polen en la atmósfera, aunque el tamaño y tipo de grano de polen intervienen como factores adicionales para que ocurra este fenómeno.

Como corolario puede decirse que la complejidad de las estrategias reproductivas y su expresión en el espectro de polen aerotransportado, hace necesario incorporar las variables fenológicas al estudio de la aerobiota (Solomon & Durham, 1967). El patrón de polen atmosférico de cada género se ajusta al patrón de floración de las especies que lo integran. Por ello, gracias al análisis de los datos fenológicos es posible, a partir del registro de polen, acceder a la determinación de cuáles son las especies responsables (fuentes), y establecer sus períodos de floración identificando los picos de máxima intensidad (Zerboni & Manfredi, 1988). Los datos fenológicos resultan ser el único soporte empírico para interpretar los datos aerobiológicos (Zerboni & Manfredi, 1989).

Teniendo en cuenta que las especies analizadas son fundamentalmente causantes de afecciones alérgicas respiratorias, la verificación de que los períodos de floración de las plantas se correlacionan con la aparición progresiva en la atmósfera de los granos de polen emitidos adquiere una relevancia práctica importante y directamente aplicable, más allá de todo progreso y profundización en el conocimiento de este tema (Keynan *et al.*, 1989).

CONCLUSIONES

1. Dado que el estado fenológico de la comunidad arbórea anemófila puede ser estimado a partir de la concentración de polen atmosférico, el registro aerobiológico deviene un instrumento bioclimático sumamente importante.
2. A pesar de que las mayores diferencias temporales se encuentran entre el momento en que se registra el final de la floración y el final de la estación de polen (3 semanas en promedio), este dato es el de menor variación entre años y también entre taxones.
3. El escaso polen más allá de la estación de floración representa polen de origen secundario.
4. El período de floración definido a partir de datos polínicos en base a observaciones fenológicas reúne el 95% del total anual y se extiende desde el día en que se registra el 1% hasta el día en que se alcanza el 96%.
5. La concentración de polen en el aire depende básicamente del ritmo innato de descarga polínica de las plantas, el cual depende de su desarrollo

fenológico reproductivo. Es por ello que, el análisis aerobiológico hace posible el seguimiento detallado y preciso de la floración ya que las variaciones en la concentración de polen se corresponden con distintas fenofases florales.

6. La acción conjunta de ciertas condiciones meteorológicas durante la dispersión polínica y biológicas particulares de las fuentes emisoras (pero actuando conjuntamente) pueden modificar la relación polen-floración y sesgar la curva polínica respecto de la curva de floración (ej. fuertes vientos provenientes de las direcciones apropiadas, precipitaciones, fuentes lejanas en alta densidad, granos livianos y fácilmente aerotransportados). Esto generalmente, sólo ocurre en la fase final del ciclo reproductivo, de modo que no altera el patrón general de representación. La excepción es el género *Fraxinus*, para el cual la relación polen-floración es compleja.
7. La resuspensión o mantenimiento más prolongado de los granos de polen en la atmósfera fue observado principalmente en *Populus*, y en parte en *Fraxinus*, debido a las características del grano de polen.
8. La dinámica floral de la vegetación local-extralocal es la que principalmente y más fielmente está reflejada en el espectro de polen atmosférico, aunque bajo condiciones especiales la floración de fuentes alejadas puede ser determinada a partir del registro polínico. En *Ulmus* se observó el aporte de fuentes regionales cuando las condiciones meteorológicas fueron adecuadas para que ocurriera el transporte de media-larga distancia.

Tabla 5.1: Porcentaje acumulado del polen registrado al inicio, máximo y final del período de floración en 1993 y 1994.

	inicio		máximo		final	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994
media	1.62	0.71	56.04	63.28	95.04	96.27
desviación estándar	2.44	1.75	25.60	31.69	5.9	6.58
número de taxones	11	11	10	10	11	11

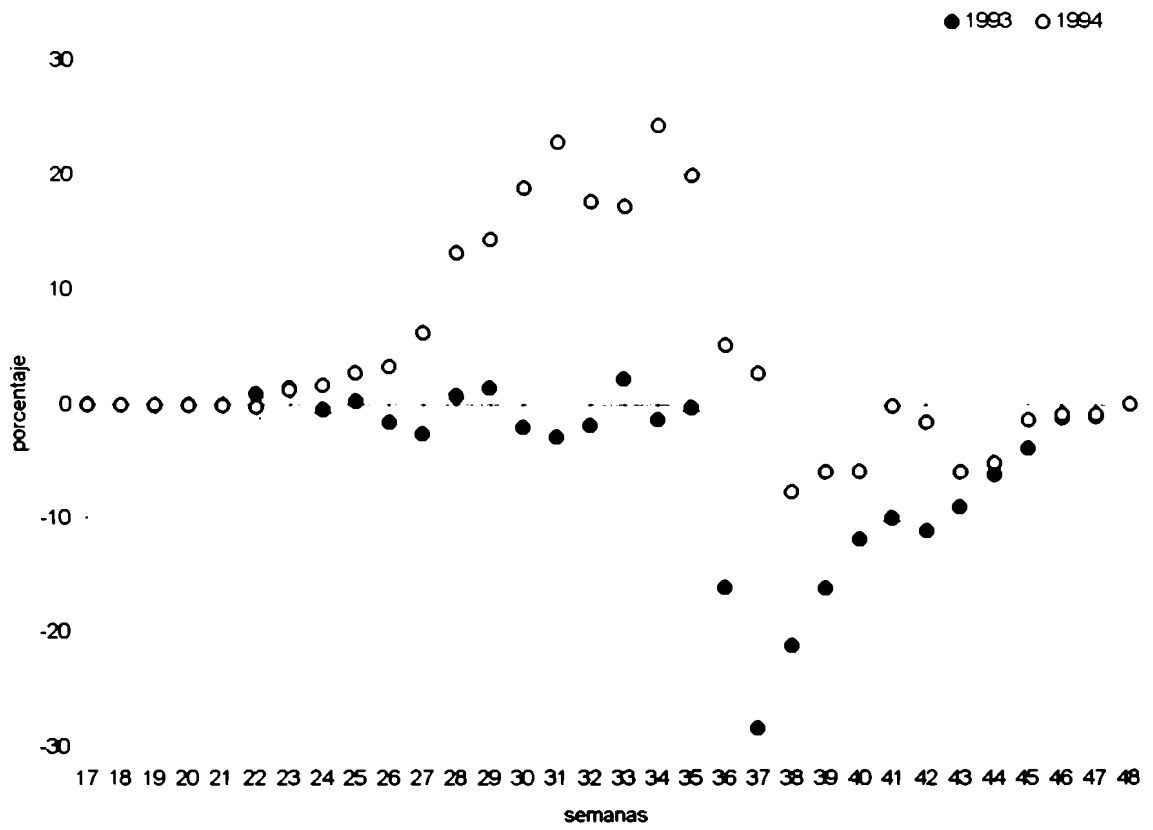
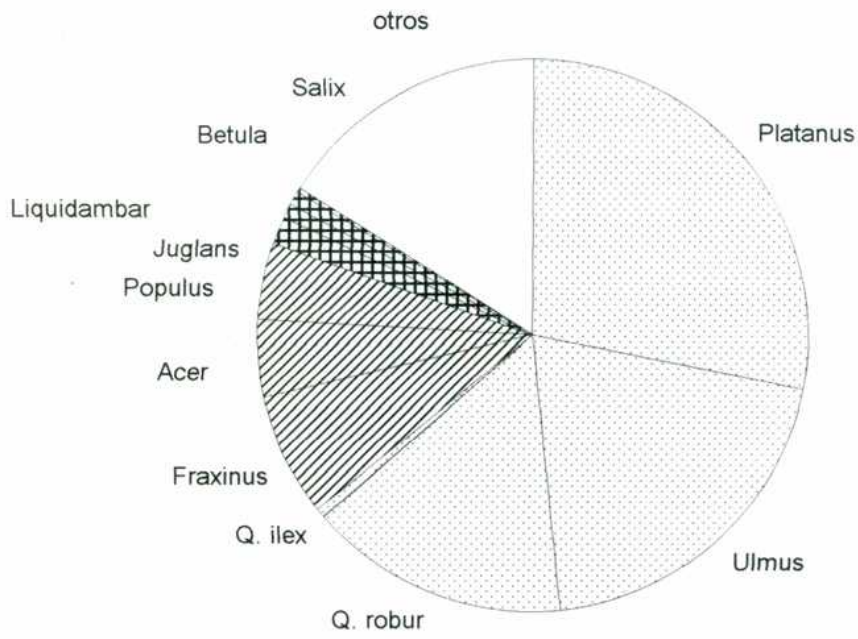


Figura 5.1: Diferencia entre las fenofases florales y el polen acumulado de la "comunidad" arbórea anemófila en cada semana durante 1993 y 1994.

1993



1994

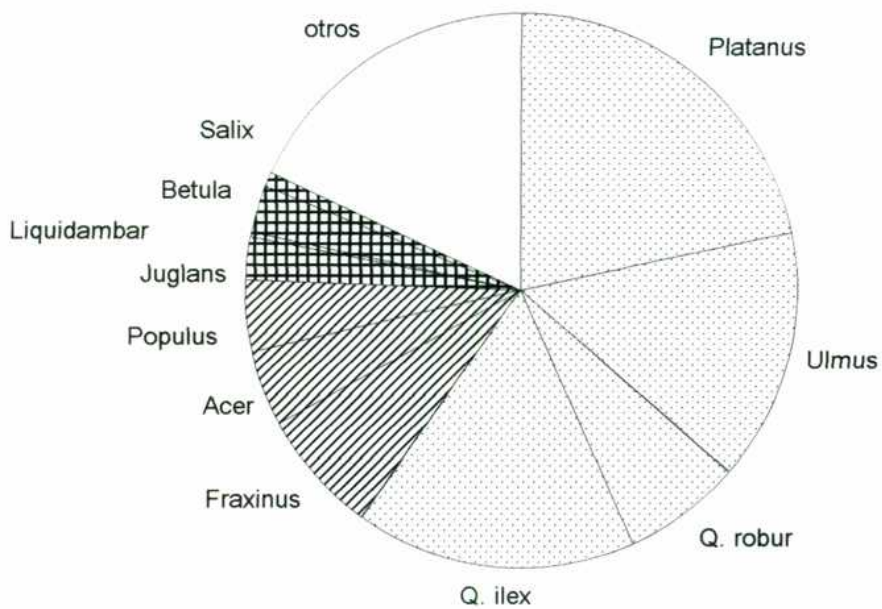


Figura 5.2: Contribución relativa de cada taxón en el período junio-noviembre en 1993 y 1994. El ranking de la concentración es: 1061-354 gr/m³ (puntos), 281-109 gr/m³ (líneas) y 69-5 gr/m³ (cuadrados).

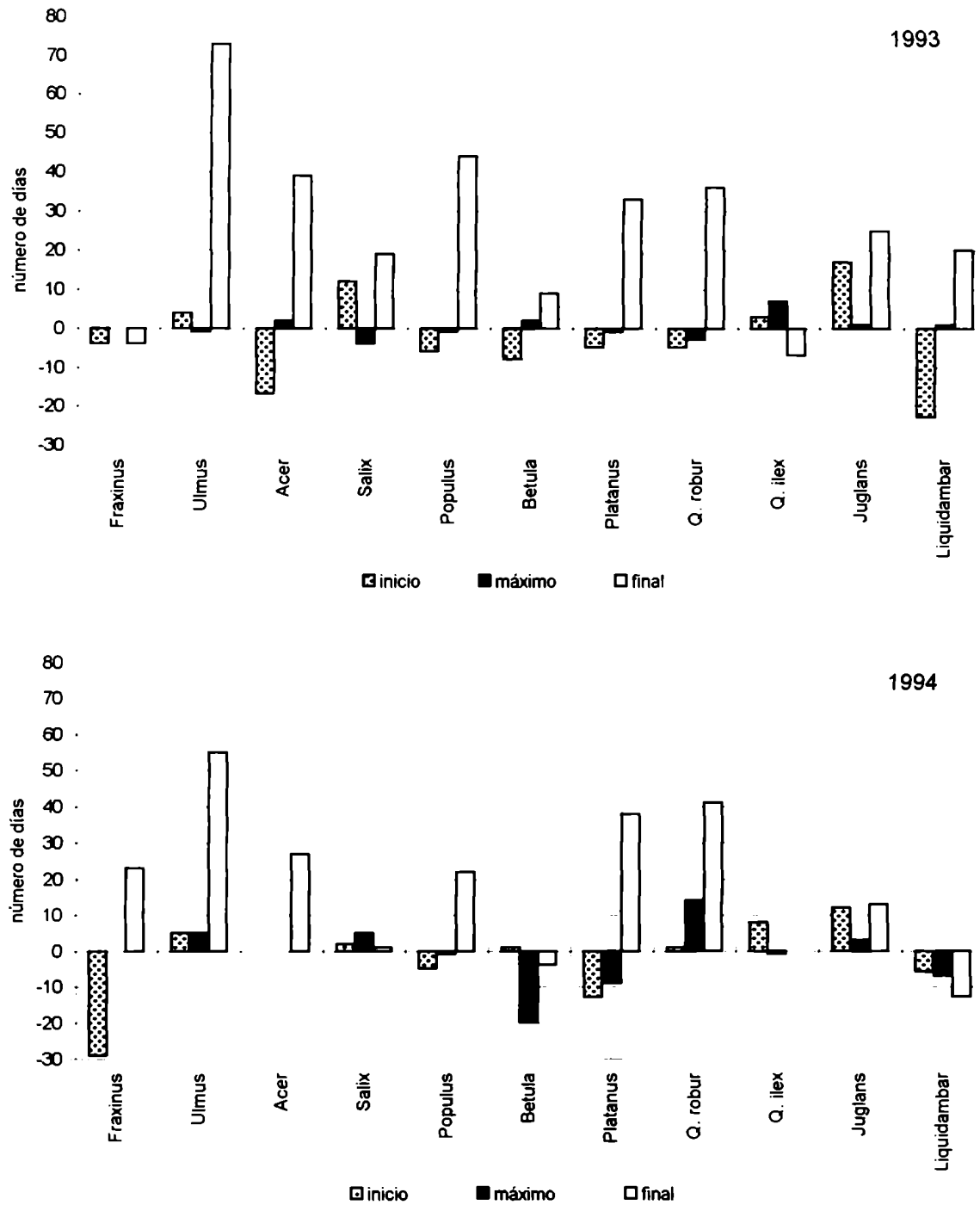
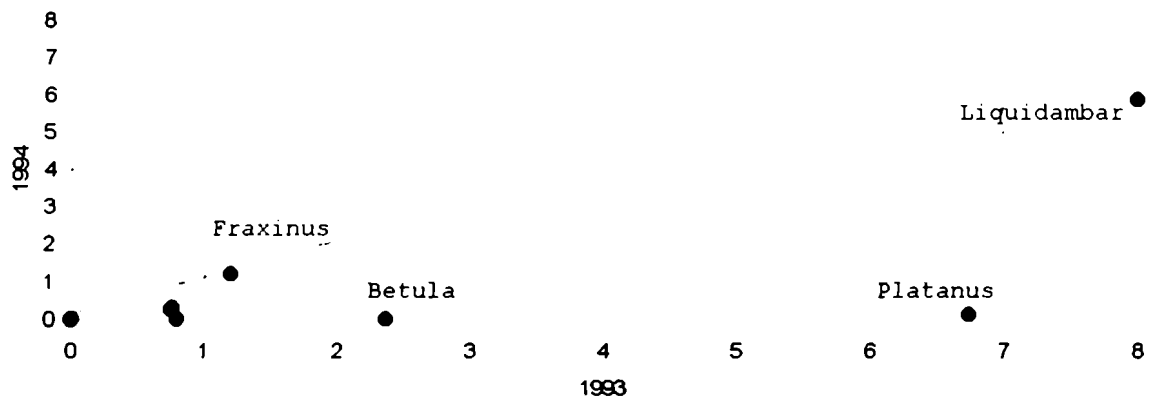
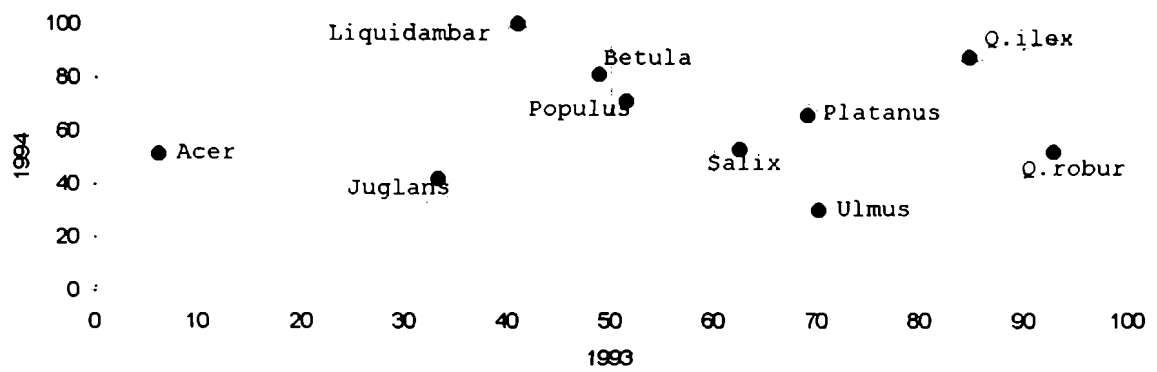


Figura 5.3: Diferencia (en días) entre los períodos de polinización y de floración para cada fase en 1993 y 1994. Los valores positivos indican que la fenofase floral precede a la fase polínica correspondiente; los valores negativos indican la relación opuesta.



b. Porcentaje de polen acumulado hasta el máximo de floración



c. Porcentaje de polen acumulado al final de la floración

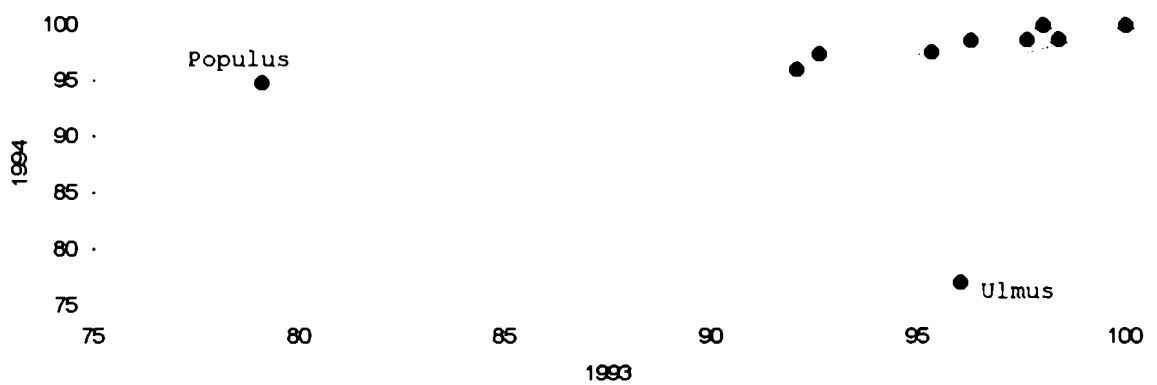


Figura 5.4: Porcentaje de polen acumulado en cada fenofase floral principal para cada taxón.

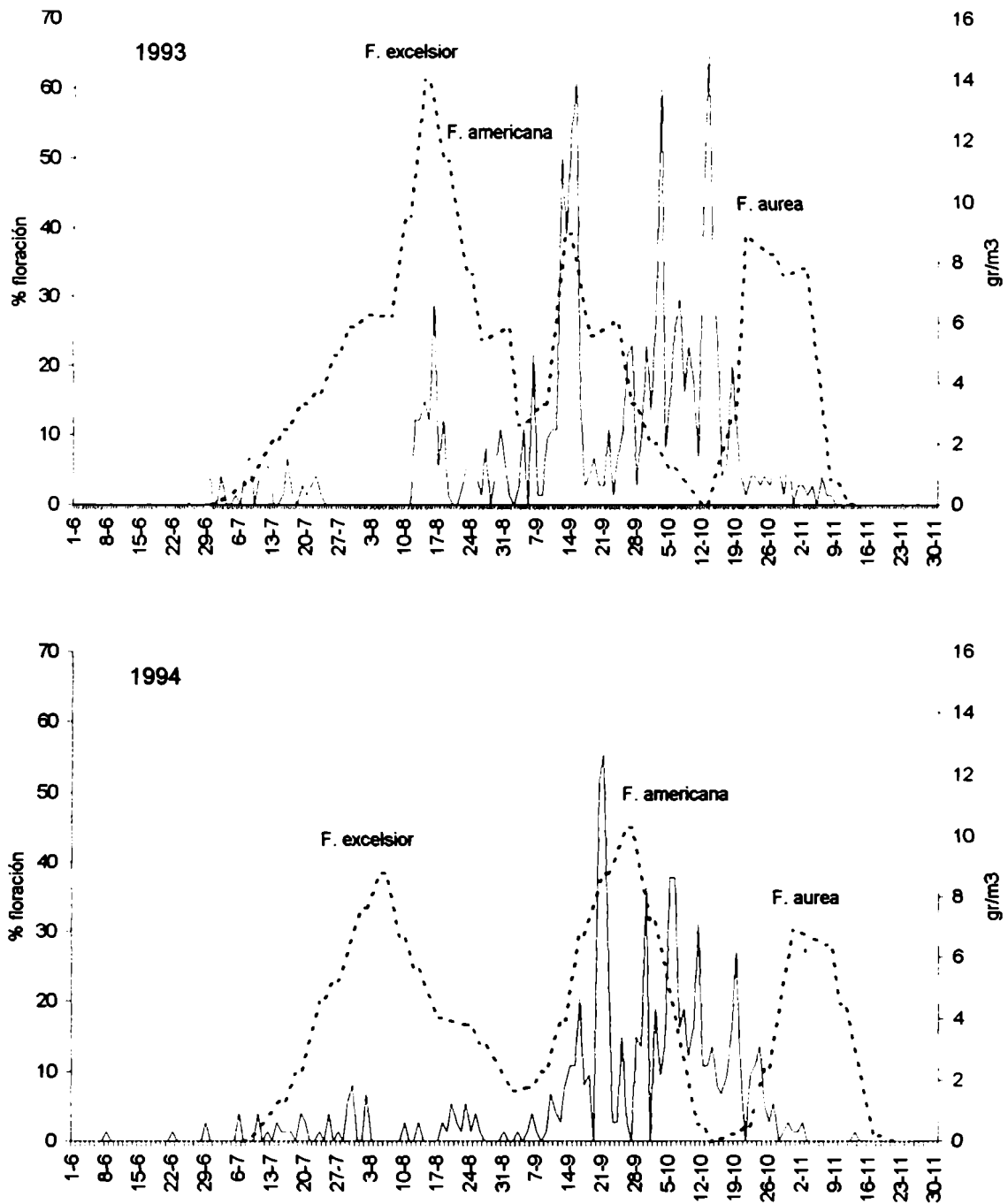


Figura 5.5: Concentración polínica (línea continua) y porcentaje de floración (línea de puntos) de *Fraxinus* en cada año.

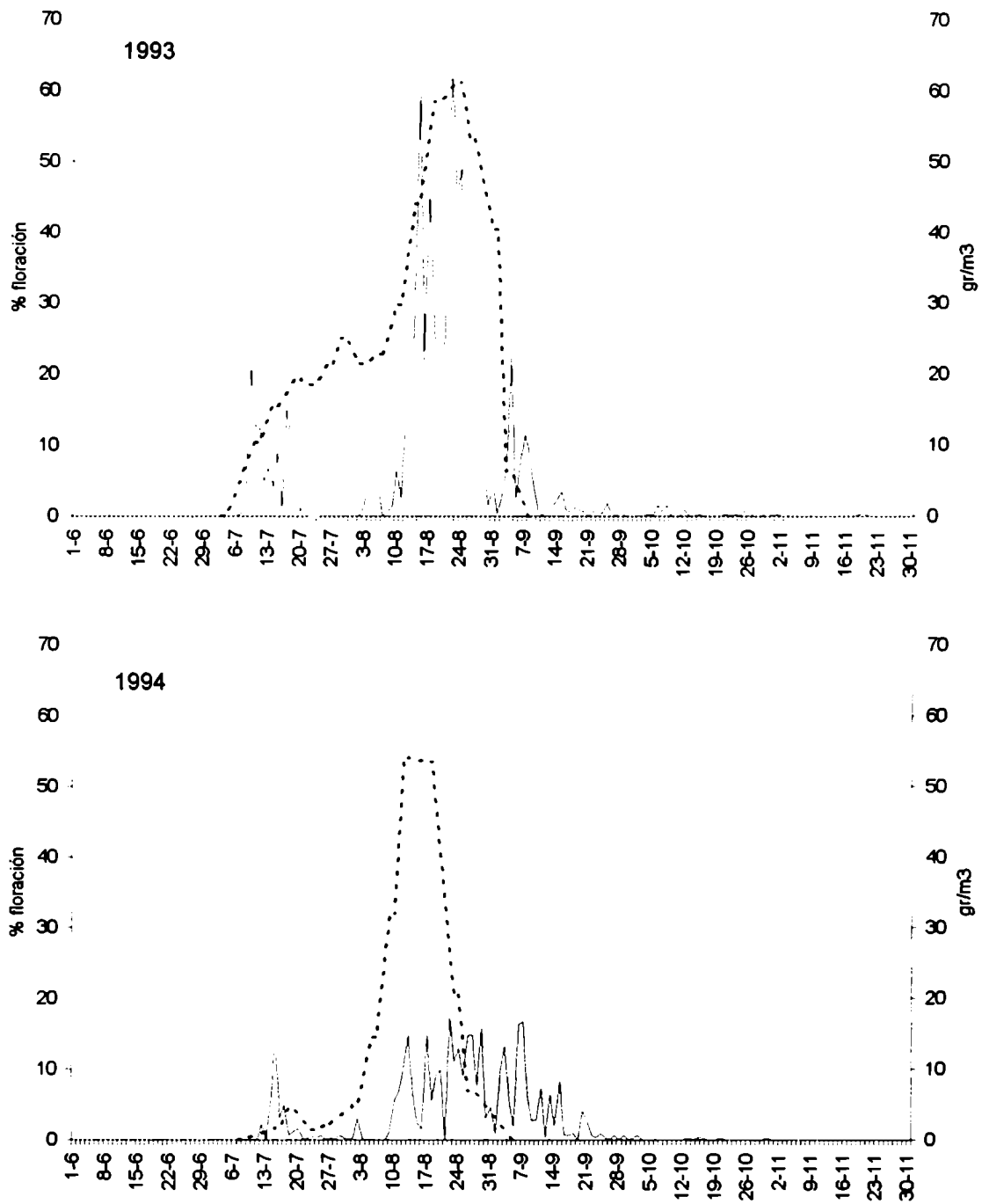


Figura 5.6: Concentración polínica de *Ulmus* (línea continua) y porcentaje de floración promedio de *U. pumila* y *U. procera* (línea de puntos) en cada año.

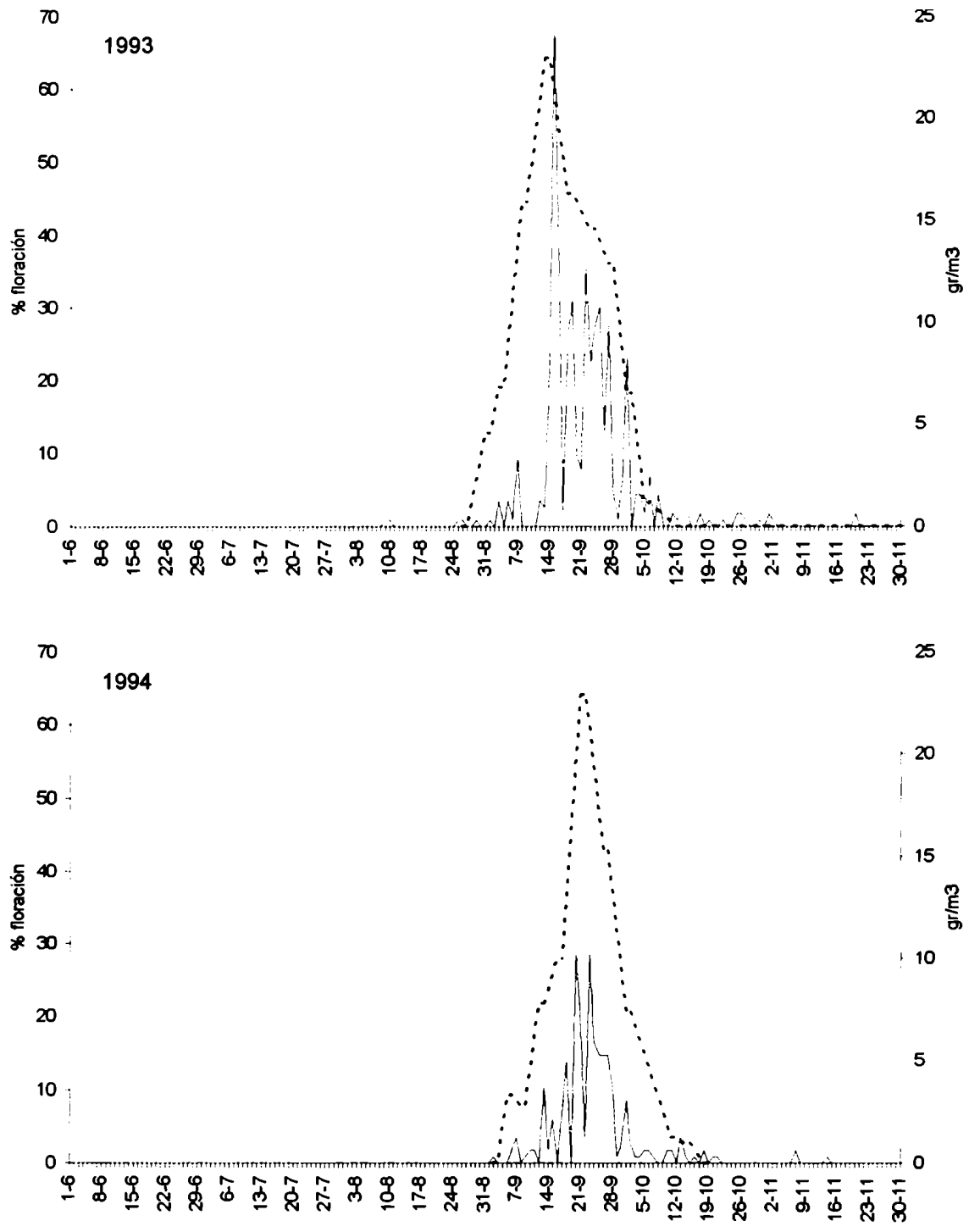


Figura 5.7: Concentración polínica de Acer (línea continua) y porcentaje de floración de A. negundo (línea de puntos) en cada año.

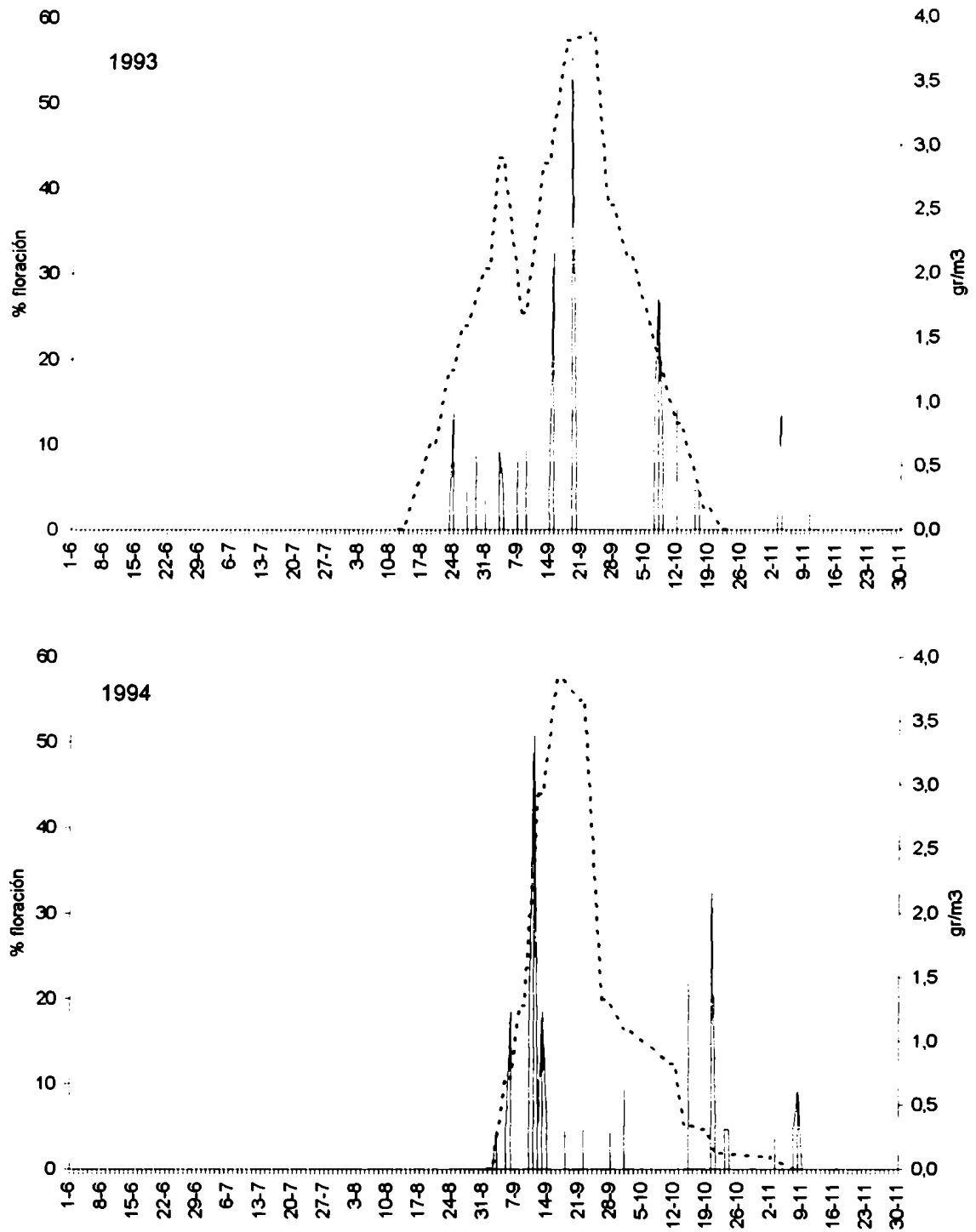


Figura 5.8: Concentración polínica de *Salix* (línea continua) y porcentaje de floración promedio de *S. alba* y *S. caprea* (línea de puntos) en cada año.

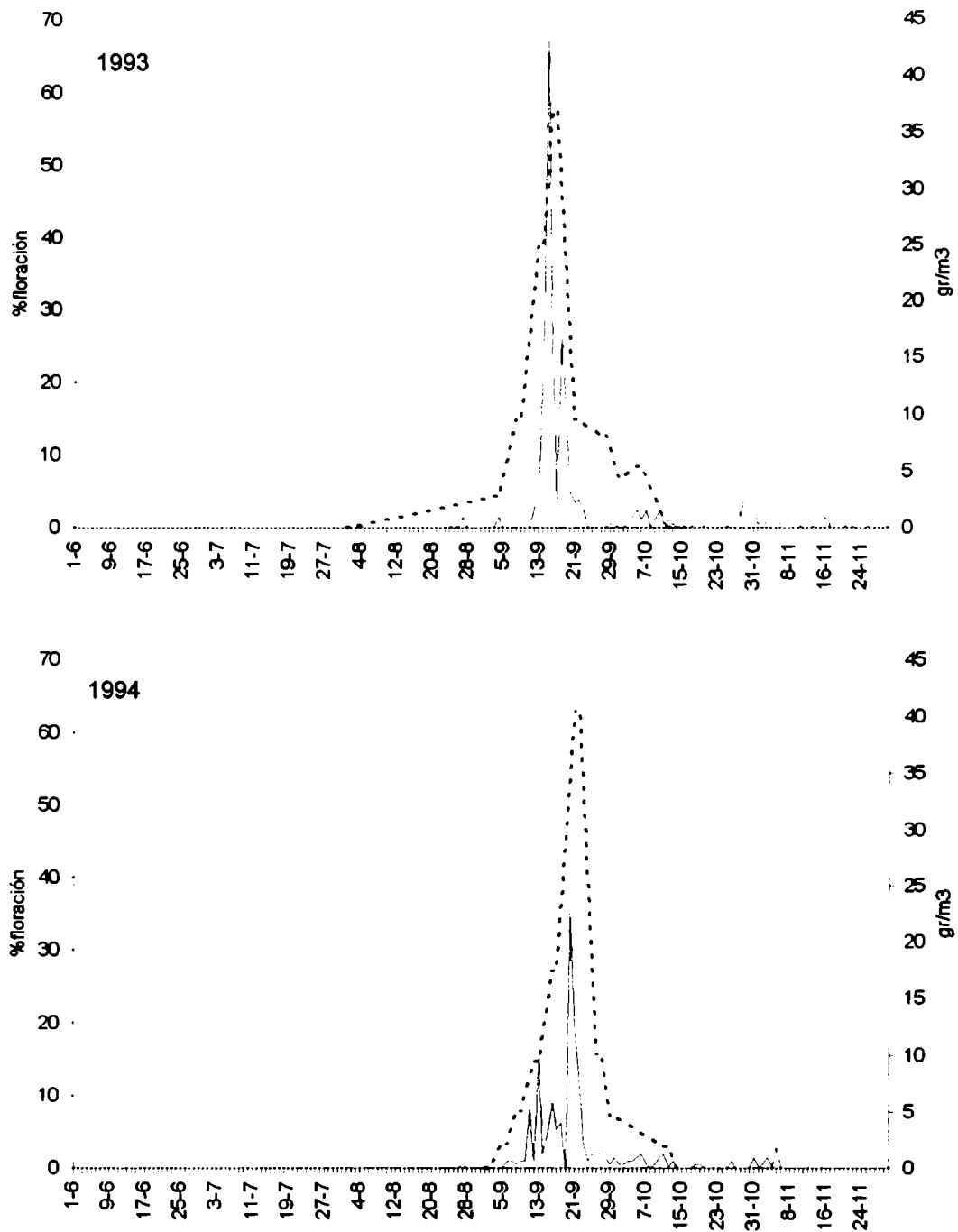


Figura 5.9: Concentración polínica de Populus (línea continua) y porcentaje promedio de floración de *P. x canadensis* y *P. canescens* (línea de puntos) en cada año.

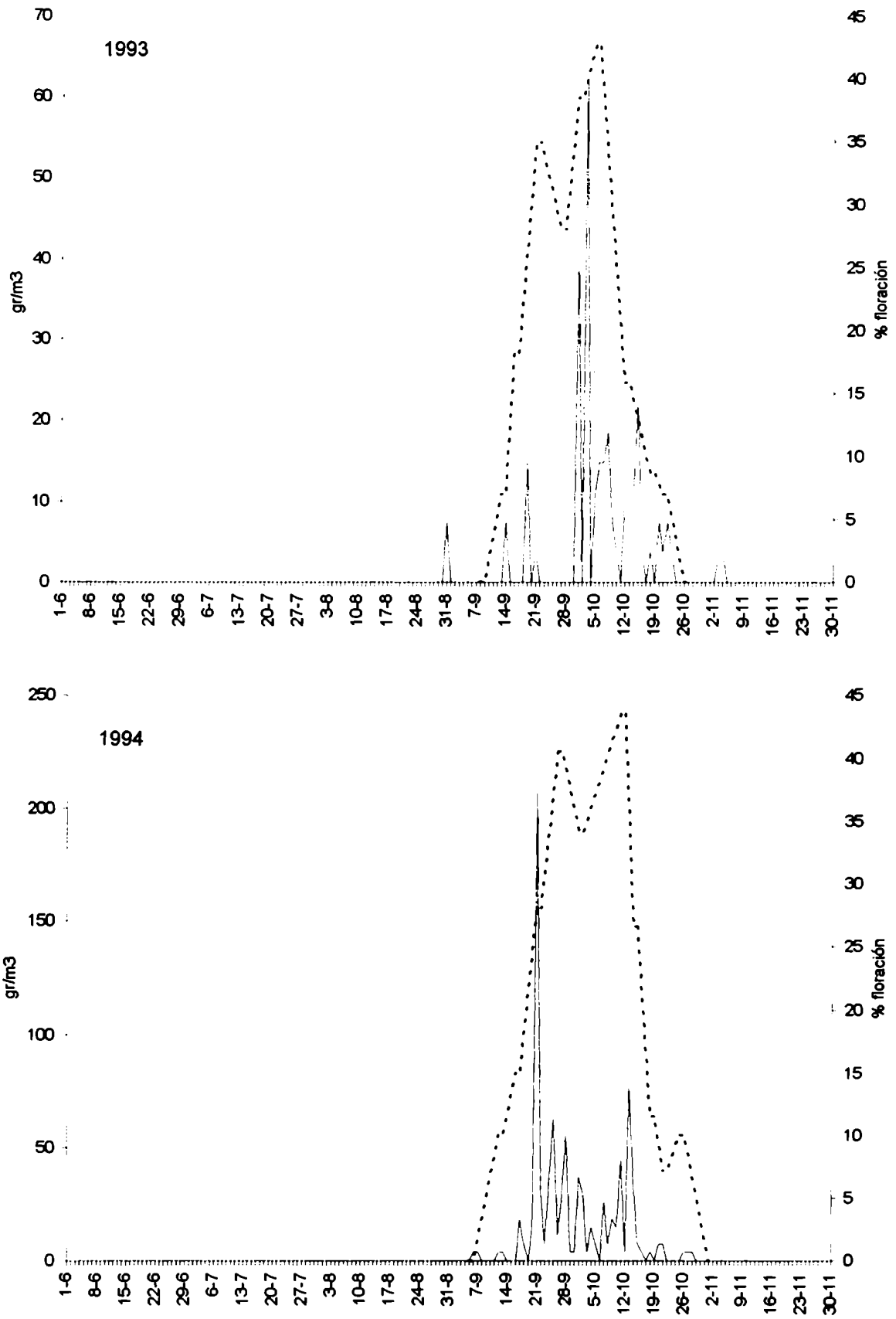


Figura 5.10: Concentración polínica de Betula (línea continua) y porcentaje de floración de *B. pendula* (línea de puntos) en cada año.

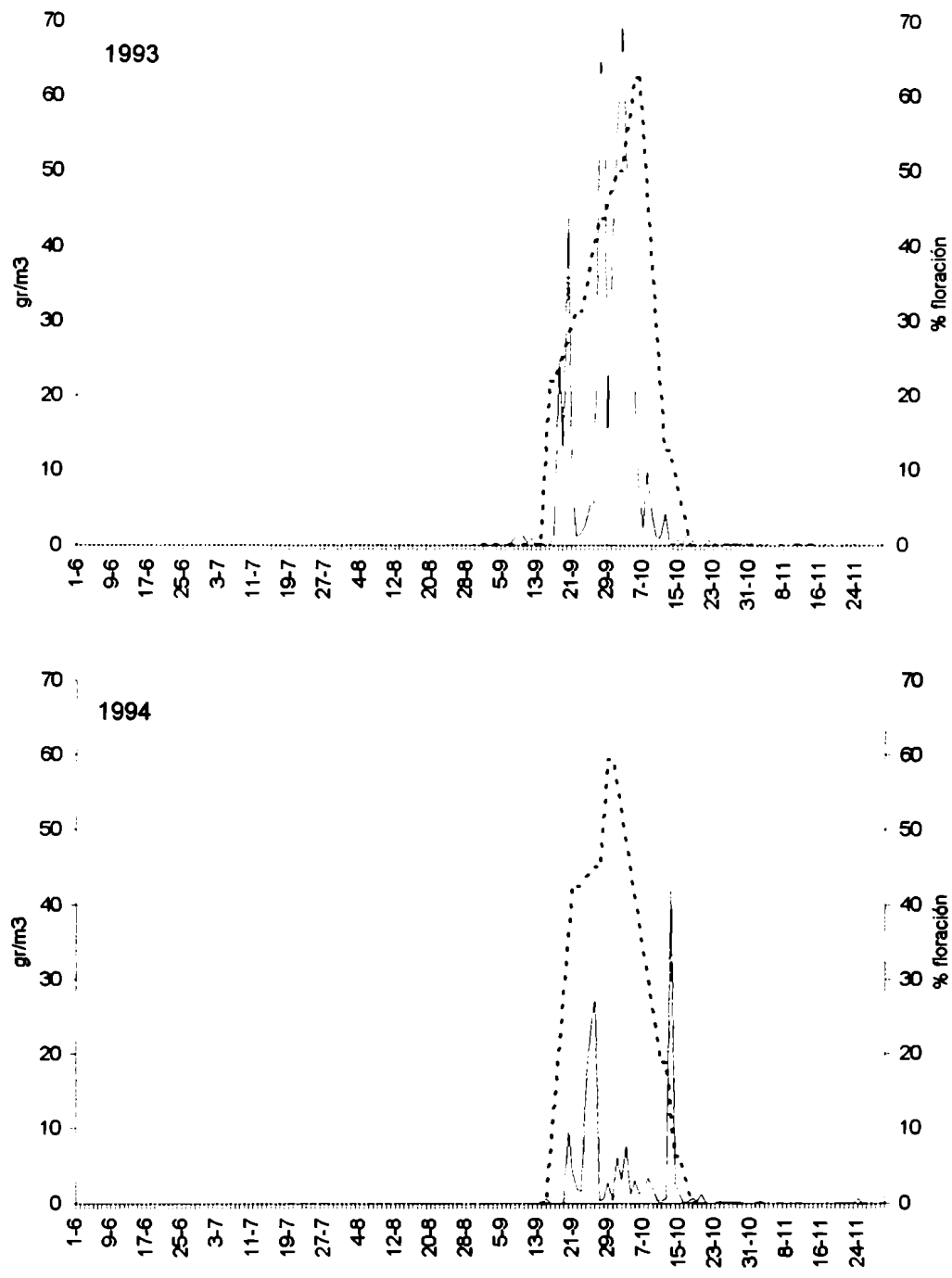


Figura 5.11: Concentración polínica (línea continua) y porcentaje de floración (línea de puntos) de *Quercus robur* en cada año.

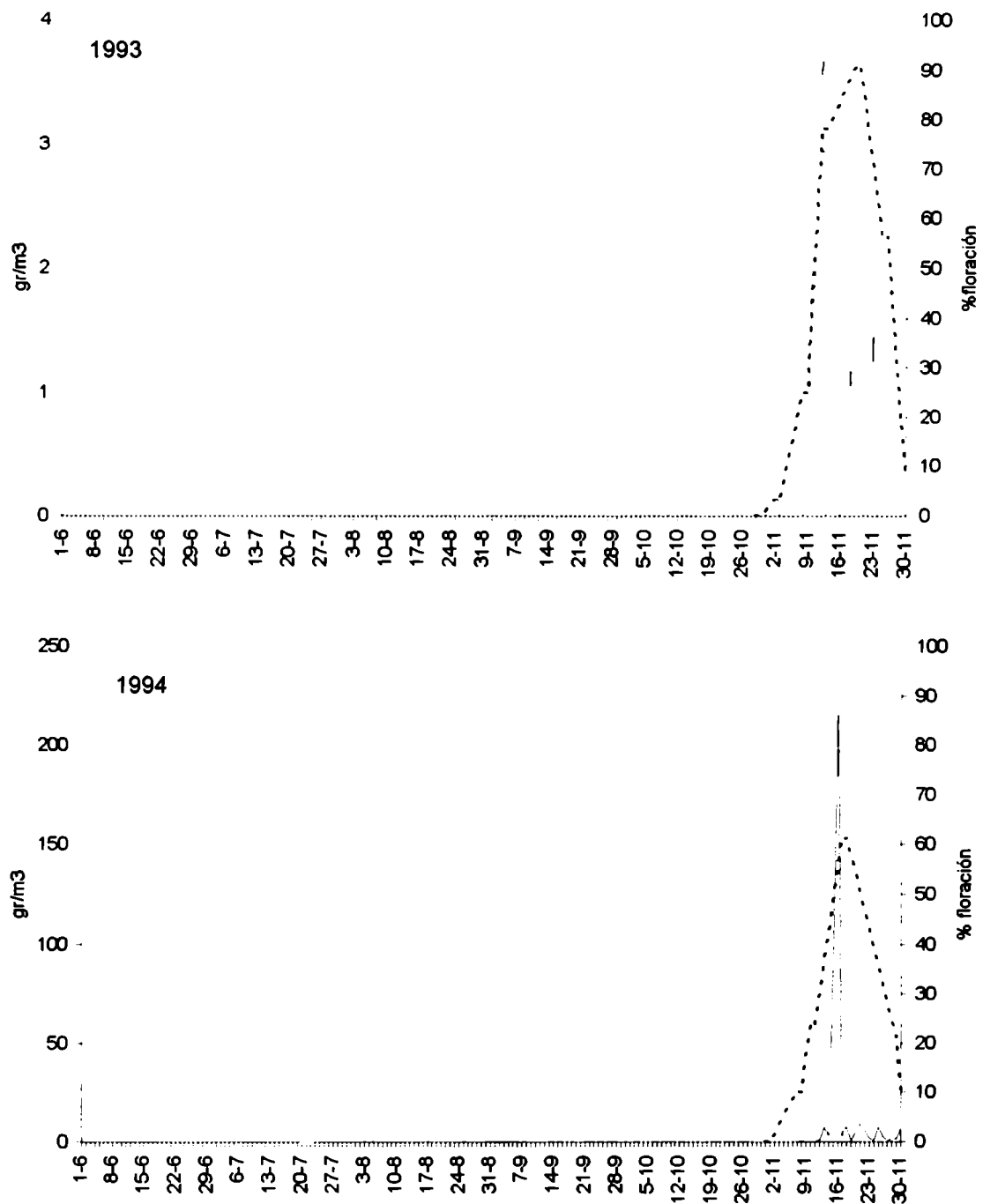


Figura 5.12: Concentración polínica (línea continua) y porcentaje de floración (línea de puntos) de *Quercus ilex* en cada año.

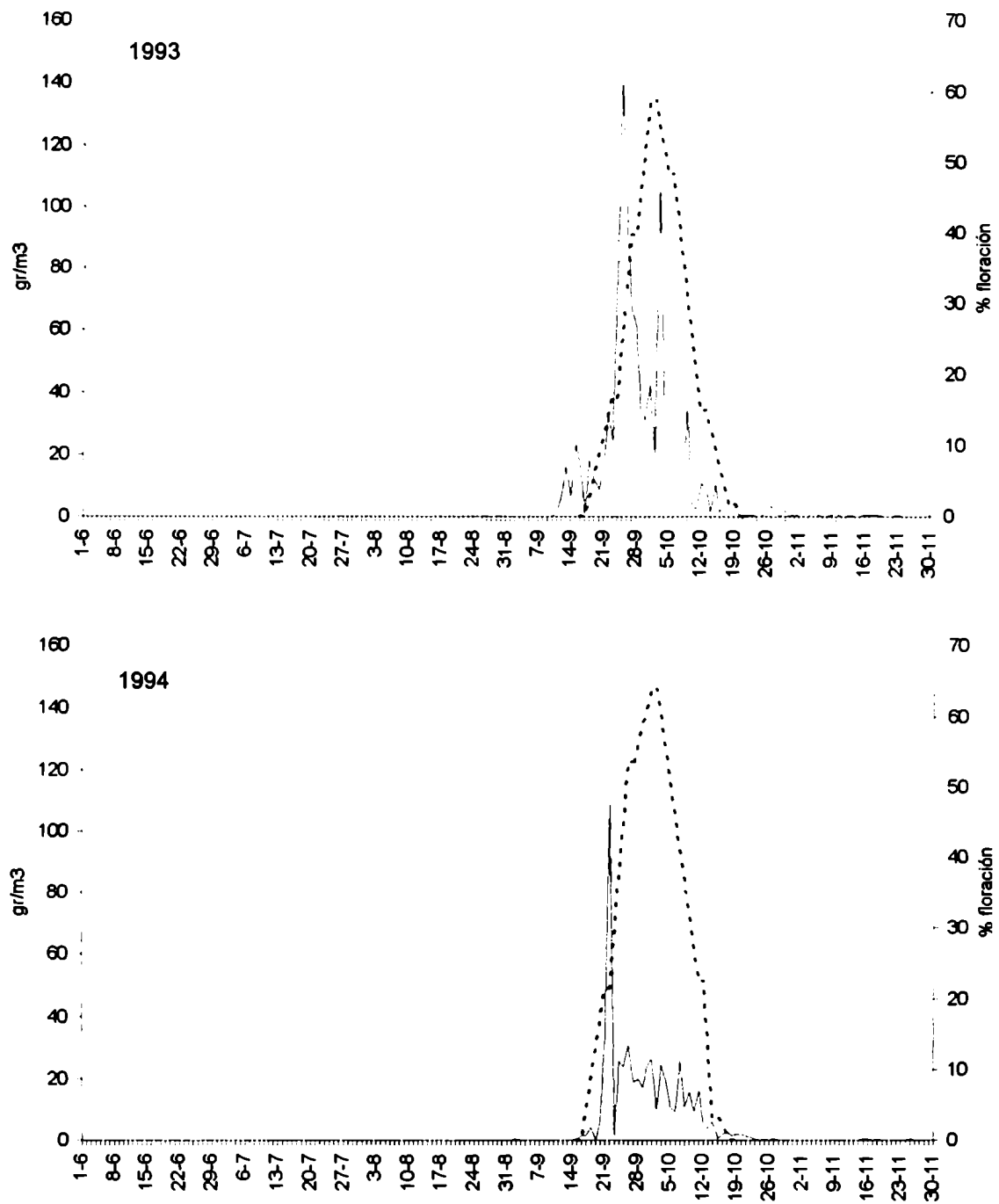


Figura 5.13: Concentración polínica de *Platanus* (línea continua) y porcentaje de floración de *P. acerifolia* (línea de puntos) en cada año.

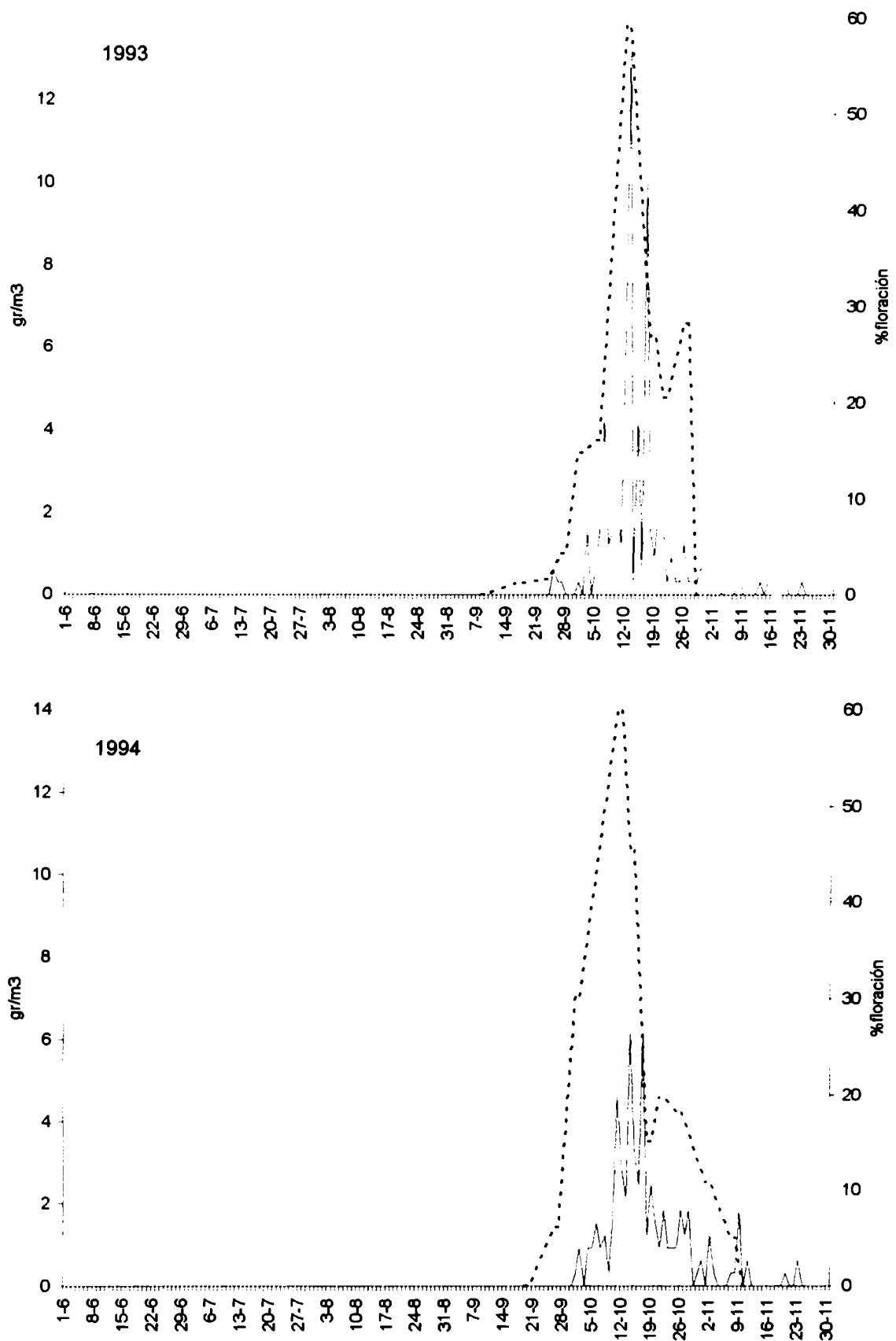


Figura 5.14: Concentración polínica de Juglans (línea continua) y porcentaje de floración de *J. regia* (línea de puntos) en cada año.

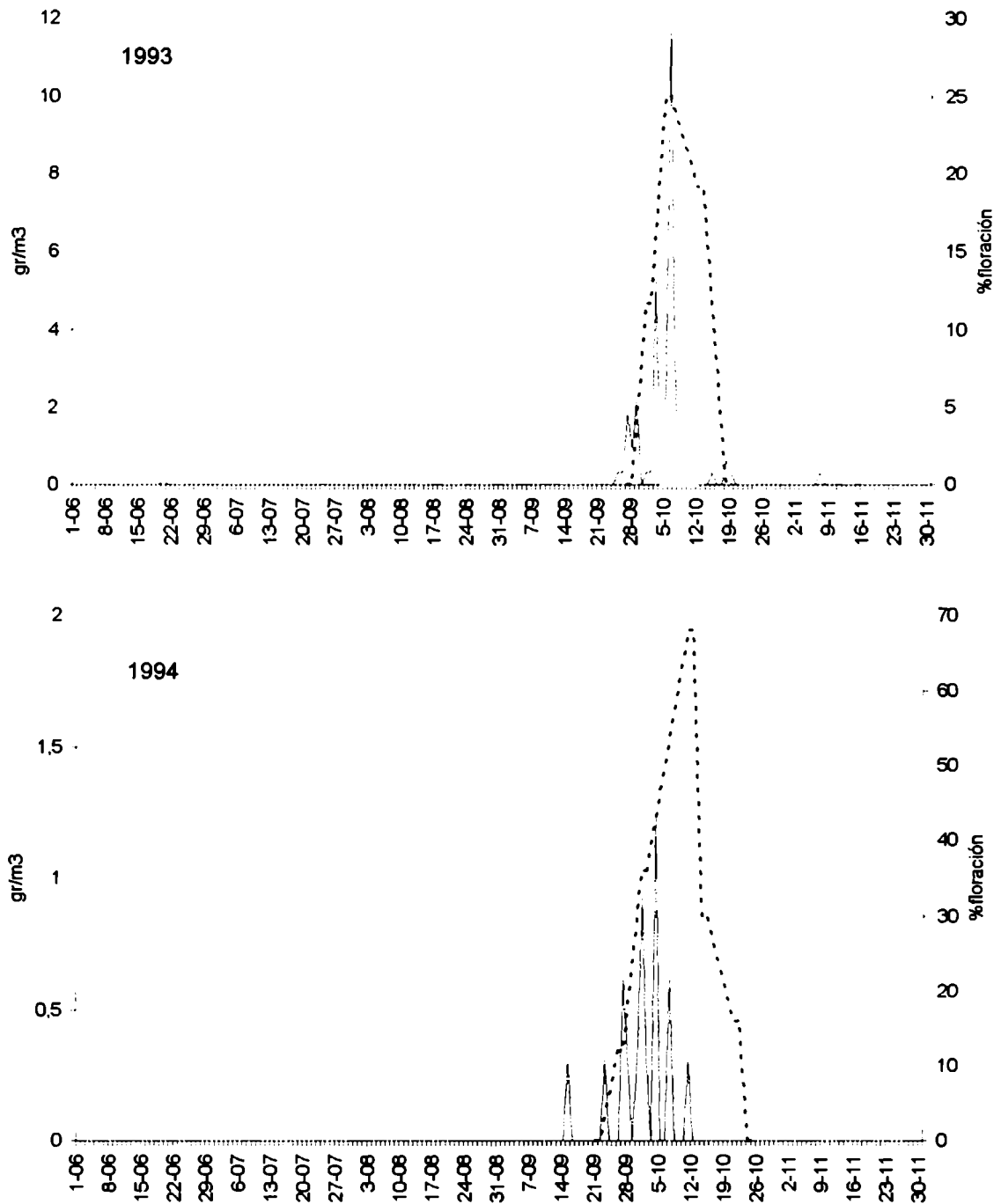


Figura 5.15: Concentración polínica de Liquidambar (línea continua) y porcentaje de floración de *L. styraciflua* (línea de puntos) en cada año.

PARTE IV

CONSIDERACIONES FINALES

CONSIDERACIONES FINALES

En el **Capítulo 1** se estudió detalladamente a la vegetación urbana ya que su conocimiento fue la base necesaria y el punto de partida para el estudio aerobiológico integral que se propuso. La composición florística de la vegetación arbórea implantada en el área de Mar del Plata resultó ser muy variada, aunque son escasos los géneros más abundantes. Las dos especies más frecuentes (*Prunus cerasifera* var. *atropurpurea* Rehd y *Lagerstroemia indica*) son entomófilas y por lo tanto, de escasa o nula presencia en el espectro polínico. Entre los géneros más importantes como fuentes de polen se encuentran: *Fraxinus*, *Ulmus*, *Populus*, *Platanus*, *Acer*, *Callistemon*, *Cupressus* y *Cedrus*.

La composición de la vegetación de los alrededores del muestreador (local y extralocal) es representativa de la presente en el resto de la ciudad (regional). Existen algunas diferencias en cuanto a géneros dominantes en el área más urbanizada, donde hay una mayor proporción de *Platanus*, y en las áreas más residenciales con abundancia de *Ulmus*, *Populus*, *Myoporum*, *Eucalyptus* y *Cupressus*. Del mismo modo, la vegetación herbácea varía en composición de acuerdo al efecto antrópico que es mayor en las zonas más edificadas. Las familias de plantas herbáceas más importantes son: Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Apiaceae y Brassicaceae.

Analizando la fenología floral de la vegetación en el **Capítulo 2**, se observó que según la estrategia reproductiva, las especies vegetales florecen en distinta época del año. Así, las fenofases florales de las plantas anemófilas se relacionan con las bajas temperaturas de fines del invierno y principios de primavera, y las de las plantas entomófilas coinciden con las más altas temperaturas del año (fines de primavera y verano) al igual que la floración de las plantas herbáceas.

La floración de la mayoría de las especies arbóreas es de extensión media (entre 1 y 2 meses) y, en general, la fase ascendente de la floración tiene la misma duración que la fase descendente de la misma. La variabilidad intraespecífica de los árboles es relativamente baja; la mayor diferencia entre árboles se registra en especies de floración temprana y extensa como *Eucalyptus* y *Fraxinus*. En las especies herbáceas la alta variabilidad intraespecífica determina en cierto modo, la duración más prolongada de sus fenofases florales.

Con respecto a la comparación interanual de la floración, se observaron diferencias en cuanto al inicio y duración de la floración (antes y más extensa en el primer año analizado), diferencias entre árboles (más importantes también en el primer año) y número de flores producidas (mayores en el primer año). Durante ese primer año analizado, las condiciones climáticas estacionales previas a la floración (específicamente la temperatura) fueron más favorables para la reproducción de los árboles: verano más cálido, invierno más frío pero cálido antes de la antesis. Las precipitaciones, en general, no condicionan la floración.

Analizando las especies conjuntamente, se estableció que las fenofases iniciales de la floración son lentas; luego siguen cambios rápidos con velocidad de apertura floral alta y constante, para después disminuir y terminar con el progreso lento de las últimas fenofases hasta el final de la floración. El desarrollo de la floración de las especies arbóreas anemófilas consideradas como grupo ecológico o comunidad, concuerda con el progresivo aumento de temperatura. Esto permite caracterizar la estacionalidad climática de la región a través del requerimiento fisiológico de su flora.

En el **Capítulo 3** se analizó la composición de polen en la atmósfera. Se determinó que, al igual que en vegetación, la diversidad polínica es alta aunque son pocos (13%) los taxones que presentan concentraciones moderadas y altas; sólo 7 (*Platanus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Myrtaceae*, *Pinaceae* y *Plantago*) reúnen más del 50% del polen total anual. Además, la mitad de los tipos polínicos corresponden a taxones entomófilos que no suman más del 6% del polen total anual.

La caracterización aeropalínológica de la atmósfera de Mar del Plata reveló que la concentración polínica total varía a lo largo del año, siendo mayor entre fines de invierno y en primavera. La estacionalidad de los tipos polínicos arbóreos (dominantes en primavera) y no arbóreos (dominantes en verano) coincide con los patrones de floración respectivos. Los tipos polínicos son en su mayoría alergénicos y por ello, de especial interés.

La concentración del polen arbóreo fue mayor en el primer año analizado, reflejando la mayor productividad polínica esperada de acuerdo a lo analizado en el capítulo anterior. Los rasgos característicos de los períodos de floración: inicio temprano y mayor duración en el primer año, se repitieron en los períodos

de polinización. Sólo en dos taxones importantes (*Quercus ilex* y *Betula pendula*), las productividades son opuestas al resto y se relaciona con un ritmo cíclico bianual de reproducción independiente de las condiciones climáticas estacionales previas a la floración. Para el polen herbáceo, las concentraciones en cada año fueron relativamente iguales.

La mayor variabilidad interanual del período de polinización con respecto al período de floración, sólo se encuentra en la etapa final ya que el polen se sigue registrando después de finalizada la floración por efecto de resuspensión por factores meteorológicos particulares o por mantenimiento en suspensión por características particulares de los granos de polen. El período de floración de cada taxón se corresponde con el 95% de la concentración total de ese tipo polínico.

La evolución temporal de la concentración de polen en la atmósfera sigue el mismo patrón que el progreso de las fenofases florales de la comunidad arbórea anemófila (con máximos en setiembre y octubre), reflejándose así en el espectro polínico, el desarrollo fenológico floral de la vegetación.

Las condiciones meteorológicas como factores que modifican la concentración de polen sólo se observa a escala diaria. El ritmo circadiano de temperatura, humedad relativa y velocidad de vientos, determina que las mayores concentraciones se registren alrededor del mediodía y las mínimas durante las horas de la noche. El efecto de las precipitaciones sobre la concentración de polen, debido a su efecto instantáneo, debe analizarse particularmente mediante la comparación con la fase fenológica de la especie en cuestión. No es posible realizar una generalización a escala estacional o diaria.

En el **Capítulo 4** se determinó la representatividad de la vegetación arbórea en el registro polínico atmosférico dando como resultado que la concentración polínica atmosférica de los taxones anemófilos puede ser estimada a partir del número de fuentes emisoras debido a que entre ambas variables existe dependencia lineal. La cercanía de numerosas fuentes emisoras agrupadas (como en el caso de los *Quercus*) pueden determinar una concentración mayor a la esperada, por lo que estos factores locales deben tenerse en cuenta al efectuar las estimaciones correspondientes.

También pudo observarse un transporte de media distancia (para *Ulmus*) y larga distancia (para *Celtis tala* y *Nothofagus*), aunque no es un fenómeno

frecuente. La ocurrencia de polen regional o extrarregional depende de factores meteorológicos especiales y de las características de los tipos polínicos y de sus fuentes emisoras.

Por su parte, los taxones entomófilos generalmente se encuentran subrepresentados en el espectro polínico. Su presencia en la atmósfera es indicativo de la presencia en la vegetación pero no es posible estimar la proporción de vegetación a partir de su concentración polínica. Además, su ausencia en el registro no es indicativa de la ausencia en vegetación.

Al intergrar todos los datos e información obtenida en los capítulos previos, pudo evaluarse en el **Capítulo 5**, la relación existente entre el polen y la floración, y determinar los factores que la modifican. En este sentido, la concentración de polen en el aire depende básicamente del ritmo genéticamente determinado de descarga polínica de las plantas, el cual depende de su desarrollo fenológico reproductivo. Es por ello que mediante el análisis aerobiológico es posible estimar el comportamiento reproductivo de la comunidad anemófila ya que las variaciones en la concentración de polen se corresponden con distintas fenofases florales. Además, la extensión del período de floración puede ser definida a partir de la concentración polínica: desde el día en que se registra el 1% del total anual hasta que se alcanza el 96% del mismo.

La acción conjunta de ciertas condiciones meteorológicas durante la dispersión polínica y biológicas particulares de las fuentes emisoras (actuando conjuntamente) pueden modificar la relación polen-floración y sesgar la curva polínica respecto de la curva de floración. Esto generalmente, ocurre en la fase final del ciclo reproductivo, de modo que no altera el patrón general de representación.

En síntesis, se ha puesto en evidencia que el conocimiento básico de los tipos polínicos presentes en el aire debe complementarse con estudios fitogeográficos, meteorológicos y ecológicos sobre la biología reproductiva y variabilidad específica de cada taxón en particular, para lograr una correcta caracterización del complejo proceso aerobiológico que incluye la producción, emisión, dispersión y captura de los granos de polen.

CONCLUSIONES FINALES

- La Hipótesis I se vio apoyada empíricamente de tal manera que: la variabilidad en el desarrollo fenológico depende, en la mayoría de las especies, de los requerimientos fisiológicos determinados genéticamente y relacionados con las condiciones climáticas estacionales previas, especialmente con la temperatura. Se registran algunas excepciones donde un ritmo endógeno reproductivo independiente de las condiciones anteriormente mencionadas es responsable de las variaciones interanuales e interespecíficas.
- En relación a la Hipótesis II, las variaciones en la concentración de polen atmosférico reflejan la variabilidad fenológica floral de las especies anemófilas emisoras. La falta de coincidencia entre cada etapa de la floración (fenofase floral) y la concentración de polen se debe a factores meteorológicos como precipitaciones y vientos que influyen durante la etapa de dispersión y a características especiales de los distintos tipos polínicos.
- La Hipótesis III fue corroborada, dado que: el polen en la atmósfera es representativo de la vegetación emisora. Además en las especies anemófilas, existe una dependencia lineal entre la concentración de polen y la abundancia de plantas.
- Finalmente, y respecto a la Hipótesis general propuesta, puede concluirse que: los patrones de polen en la atmósfera reflejan los patrones fenológicos florales de la vegetación de los alrededores, siendo la influencia de los parámetros atmosféricos un factor que modifica momentáneamente la cantidad de polen emitido. El comportamiento fenológico de la vegetación puede ser investigado a partir del análisis de polen en el aire. La floración está determinada genéticamente en la especie, pero las condiciones climáticas determinan el momento e intensidad de la floración, y por lo tanto, de la concentración de polen en el aire.



BIBLIOGRAFIA

- Agashe, S.N. & Alfadil, A.G. 1989. Atmospheric biopollutant monitoring in relation to meteorological parameters. *Grana* 28: 97-104.
- Al-Eisawi, D. & Dajani, A.J. 1988. Airborne pollen of Jordan. *Grana* 27: 219-227.
- Aljaro, M.E. & Hoffmann, A.J. 1979. Períodos de polinización de especies anemófilas de Santiago (1975-1978). *Rev. Méd. Chile* 107: 588.
- Alonso, S.I., Montes, L., Nuciari, M. & Clausen, A. 1984. Arboles y arbustos. Clave vegetativa ilustrada de las principales especies cultivadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Fac. de Ciencias Agrarias, UNMDP, Balcarce*.
- Andersen, S.Th. 1973. The differential pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of a pollen diagram from a forested region. En: *Quaternary plant ecology*. Eds. H.J.B. Birks & R.G. West) pp. 109-115. Blackwell, Oxford.
- Andersen, S.T. 1980. Wind conditions and pollen deposition in a mixed deciduos forest. I. Wind conditions and pollen dispersal. *Grana* 14: 57-63.
- Arrigoni, P.V., Lamioni, S. & Marconcini, C. 1977. Ricerche sinfenologiche in alcuni boschi della Toscana. *Webbia* 31 (1): 1-33.
- Bassett, I.J., Crompton, C.W. & Parmelee, J.A. 1978. An Atlas of airborne pollen grains and common fungus spores of Canada. Monograph N° 18. Canada Department of Agriculture.
- Berggren, B. Nilsson, S. & Boëthius, G. 1995. Diurnal variation of airborne birch pollen at some sites in Sweden. *Grana* 34: 251-259.
- Bianchi, M.M. 1992. Calendario polínico de la ciudad de Mar del Plata (Agosto 1987 - Agosto 1989). *Arch. Arg. Alerg. Inmunol. Clin.* 23: 73-86.
- Bianchi, M.M. 1994. El muestreo aerobiológico en Mar del Plata. Aportes de una nueva metodología al análisis de polen. Su aplicación en el diagnóstico de la polinosis. Monogr. 10. Acad. Nac. Cs. Ex., Fís. y Nat. Buenos Aires.
- Bianchi, M.M., Arizmendi, C.M. & Sánchez, J. 1992. Detection of Chaos: new approach to atmospheric pollen times series analysis. *Int. J. Biometeorol.* 36: 172-175.
- Birks, H.B. & Gordon, A.D., 1985. Numerical methods in quaternary pollen analysis. Academic press INC. (London) LTd. Cap. 5, pp. 141-182.
- Borromei, A.M. & Quattrocchio, M. 1990. Dispersión del polen actual en el área de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). *An. Asoc. Palinol. Leng. Esp.* 5: 39-52.

- Boussioud-Combières, F. 1988. Contribution a la biologie urbaine: étude comparée des relevés de phénologie florale faits a la station de Saint-Maur (1935-1966) et a la station de Créteil (1986, 1987, 1988). Etablissement de calendriers de floraison. *Ann. Sci. Nat.*, 13 Sér. 9: 79-88.
- Boussioud-Combières, F. & Barthélémy, L. 1990. Floraison et contenu pollinique atmosphérique en région parisienne (1987-1988). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 137, Actual. bot. (2): 135-136.
- Bowers, J.E. & Dimmitt, M.A. 1994. Flowering phenology of six woody plants in the Northern Sonoran Desert. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 121 (3): 215-229.
- Braun-Blanquet, J. 1972. *Plant Sociology. The study of plant communities.* Hafner Pub. Co., INC. pp. 439.
- Burkard Ltd. 1984. Burkard seven day volumetric trap operating manual.
- Burgos, J.J. & Vidal, A.L. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Dir. Gen. del S.M.N. Ser. Agrometeorol. Public.3:3-32.* Buenos Aires.
- Cabrera, A.L. 1958. Fitogeografía, La Argentina *Suma de Geografía*, T. III: 103-207.
- Cabrera, A.L. & Zardini, E.M. 1978 *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires.* De. ACME S.A.I.C., Buenos Aires, 755 pp.
- Cadman, A. 1990. Airspora of Johannesburg and Pretoria, South Africa 1987/88. 1. Pollen calendars. *Grana* 29:311-317.
- Cadman, A., Dames, J. & Terblanche, A.P.S. 1994. Airspora concentrations in the Vaal Triangle: monitoring and potential health effects. 1, pollen. *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Wetenskap* 90, 607-610.
- Calcote, R. 1995. Pollen source area and pollen productivity evidence from forest hollows. *Journal of Ecology* 83: 591-602.
- Caramiello, R., Polini, V., Siniscalco, C. and Mercalli, L. 1990. A pollen calendar from Turin (1981-1983) with reference to geography and climate. *Grana* 29: 239-249.
- Caramiello, R., Siniscalco, C. & Piervittori, R. 1991. The relationship between vegetation and pollen deposition in soil and in biological traps. *Grana* 30: 291-300.
- Caramiello, R., Potenza, A., Miglietta, P. & Siniscalco, C. 1992. Re-planning the layout of an inner city park by planting species with a low allergological impact. *Aerobiologia* 8: 133-140.

- Caramiello, R., Siniscalco, C., Mercalli, L. & Potenza, A. 1994. The relationship between airborne pollen grains and unusual weather conditions in Turin (Italy) in 1989, 1990 and 1991. *Grana* 33: 327-332.
- Caramiello Lomagno, R. 1986. Dati aerobiologici e rapporto con le specie sul territorio. *Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat.* 19 (329): 297-307.
- Caramiello Lomagno, R., Polini, V. & Siniscalco, C. 1983-84. I pollini aerodiffusi di specie arboree ed arbustive in Torino (1981, 82, 83) nel periodo di massima concentrazione. *Allonia* 26: 97-101.
- Chronopoulos, G & Christodoulakis, D. 1996. Contribution to the urban ecology of Greece: the flora of the city of Patras and the surrounding area. *Bot. Helv.* 106: 159-176.
- Comtois, P. & Sherknies, D. 1987. An aerobiological model for pollen forecasting. 18th Conference on Agricultural and forest meteorology & 8th Conference on biometeorology and aerobiology. Sept 14-18.
- Comtois, P., Batchelder, G. & Sherknies, D., 1989. Pre-season forecasting. *Aerobiology - Health Environment, A Symposium.* Paul Comtois Ed. Université de Montréal, pp. 1-14.
- Cuadrado, G. A. 1978. Polen atmosférico de la ciudad de Corrientes (Argentina). *Facena* 3:55-68.
- Daubenmire, R. 1972. Phenology and other characteristics of tropical semi-deciduous forests in the North-western Costa Rica. *J. Ecol.* 60: 147-170.
- Delcourt, H.R. & Pittillo, J.D. 1986. Comparison of contemporary vegetation and pollen assemblages. *Grana* 25: 131-141.
- Di-Giovanni, F.; Beckett, P.M. & Flenley, J.R. 1989. Modelling of dispersion and deposition of tree pollen within a forest area. *Grana* 28: 129-139.
- Dimitri, M.J., 1980. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería.* Ed. Acme S.A.C.I., 3° edición.
- Donini, D. & Sutra, J. 1987. *Récherches aéropalynologiques a Paris et dans sa banlieue: Nouveaux résultats. Etude préliminaire.* *Grana* 26 (1).
- Driessen, M.N.B.M. & Derksen, J.W.M. 1989. The principal airborne pollen species in the Netherlands. *Aerobiologia* 5: 87-93.
- Edmonds, R. 1979. *Aerobiology.* Dowden, Hutchinson and Ross. Stroudsburg, 386p.
- El-Ghazaly, G., El-Ghazaly, P-K, Larsson, K-A & Nilsson, S. 1993. Comparison of airborne pollen grains in Huddinge and Stockholm, Sweden. *Aerobiologia* 9: 53-67.

- Emberlin, J.C., Norris-Hill, J. & Bryant, R.H. 1990. A calendar for tree pollen in London. *Grana* 29: 301-310.
- Emberlin, J.C., Savage, M. & Woodman, R. 1993. Annual variations in the concentration of *Betula* pollen in the London area. 1961-90. *Grana* 32: 359-364.
- Emberlin, J.C. & Norris-Hill, J. 1996. The influence of wind speed on the ambient concentrations of pollen from Gramineae, *Platanus* and *Betula* in the air of London, England. En: *Proceedings of the Pan-American Aerobiology Association. Aerobiology*. Eds. M. Muilenberg & H. Burge, CRS. Lewis Publishers, London.
- Emberlin, J.; Mullins, J.; Corden, J.; Millington, W.; Brooke, M.; Savage, M. & Jones, S. 1997. The trend to earlier birch pollen seasons in the U.K.: A biotic response to changes in weather conditions? *Grana* 36: 29-33.
- Erdtman, G. 1971. Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. Hafner Publishing Co. New York.
- Famularo, G., Petrucci, C., Di Stanislao, C. Giacconelli, R, Tiriticco, T., Bologna, G. & Tonnetti, G. 1992. Aerobiological survey in L'Aquila (Italy) throughout 1988 to 1990. *Aerobiologia* 8: 359-363.
- Fægri, K. & Iversen, J. 1964 Text book of pollen analysis 2nd. rev. ed. 237 pp. Hafner Publishing Co., New York.
- Fægri, K. & van der Pijl, L. 1979. The principles of pollination ecology. Pergamon Press. pp. 244.
- Fehér, Z. & Járαι-Komlódi, M. 1996. Relationship between ragweed pollen concentration and macrosynoptic weather types in Budapest, Hungary. *Ann. Agric. Environ. Med.* 3: 121-126.
- Fitter, A.H., Fitter, R.S.R., Harris, I.T.B. & Williamson, M.H. 1995. Relationship between first flowering date and temperature in the flora of a locality of central England. *Func. Ecol.* 9: 55-60.
- Fournier, O., Fournier, L.A. & Charpantier, C. 1975. *Turrialba* 25 (1): 45-48.
- Frenguelli, G., Spieksma, F.Th.M., Bricchi, E., Romano, B., Mincigrucci, G., Nikkels, A.H., Dankkaart, W. & Ferranti, F. 1991. The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana* 30: 196-200.
- Frenguelli, G., Bricchi, E., Romano, B., Mincigrucci, G., Ferranti, F. & Antognozzi, E. 1992. The role of air temperature in determining dormancy release and flowering of *Corylus avellana* L. 1992. *Aerobiologia* 8: 415-418.

- Fripp, Y.J.; Griffin, A.R. & Morand, G.F. 1987. Variation in allele frequencies in the outcross pollen of *Eucalyptus regnans* F. Muell. throughout a flowering season. *Heredity* 59: 161-171.
- Gagnon, L. & Comtois, P. 1989. Urban Aeropalynology: Is one sampling station representative of the pollen rain? *Aerobiology Health _ Environment, A Symposium*. Paul Comtois Ed. Université de Montréal, pp. 43-54.
- Galán, G.; Tormo, R.; Cuevas, J.; Infante, F. & Dimínguez, E. 1991. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the south-west of Spain. *Grana* 30: 201-209.
- García de Albano, M.E. 1991. Aeropalinología de Santiago del Estero. - *Arch. Arg. Alerg. Inmunol. Clin.* 22: 6-12.
- Ghazanfar, S.A. 1997. The phenology of desert plants: a 3-year study in a gravel desert wadi in northern Oman. *Journal of arid environments* 35: 407-417.
- Goldberg, C.H., Buch, H., Moseholm, L. & Weeke, E. 1988. Airborne pollen records in Denmark, 1977-1986. *Grana* 27 (3): 209-218.
- Halwagy, M.H. 1988. Concentration of airborne pollen at three sites in Kuwait. *Grana* 27: 53-62.
- Hänninen, H. 1983. A method for identifying the flowering season from aerobiological data. 5th. Nord. Symp. Aerobiol. Session IV.
- Hänninen, H. 1984. A method for identifying the flowering season from aerobiological data. *Nordic Aerobiology*, 51-57. ISBN 91-22-00766-0. (5th. Nord. Symp. Aerobiol. 1983. Session IV).
- Hänninen, H. 1990. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta For. Fenn.* 213: 1-47.
- Hart, M.T.; Wentworth, J.E. & Bailey, J.P. 1994. The effects of trap height and weather variables on recorded pollen concentration at Leicester. *Grana* 33: 100-103.
- Heide, O.M. 1994. Control of flowering and reproduction in temperate grasses. *New Phytol.* 128: 347-362.
- Heim, J. 1970. Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. *Mem. n° 4 de la Soc. Roy. Bot. Belg.*: 1-181. En Montanari, C; Guido, M.A. & Bottero, M. 1986. La pioggia pollinica rilevata al suolo nell'area urbana di Geneva. *Archivio Notanico e Biogeografico Italiano* 62 (3-4): 146-174.
- Herrero, B. 1997. Contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de Palencia. *Lazaroa* 18: 95-103.
- Heusser, C.J. 1971. Pollen and spores of Chile. Univ. Arizona Press, Tucson. pp. 167.

- Hicks, S. 1992. Aerobiology and palaeoecology. *Aerobiologia* 8: 220-230.
- Hirst, J.M. 1952. An automatic volumetric spore trap. *Ann. Appl. Biol.* 39: 257-265.
- Hirst, J.M. 1991. Aerobiology in Plant Pathology. *Grana* 30: 25-29.
- Hjelmroos, M. 1991. Evidence of long - distance transport of *Betula* pollen. *Grana* 30: 215-228.
- Hjelmroos, M. & van Hage-Hamsten, M. 1993. Birch pollen dispersal on the Baltic Island, Gotland. *Grana Suppl.* 2: 75-79.
- Hoffmann, A.J., Montenegro, G., Aljaro, M.E. & Hoffmann, A.E. 1976. Períodos de polinización de especies alergénicas en el área urbana de Santiago (1975-1976). *Rev. Méd. Chile* 104: 787-790.
- Hurtado, I. & Alson, J. 1990. Air pollen dispersal in a tropical area. *Aerobiologia* 6: 122-127.
- Ickovic, M.R., Boussioud-Combieres, F., Sutra, J.P. & Thibaudon, M. 1989. Hay fever symptoms compared to atmospheric pollen counts and floral phenology within Paris suburban area in 1987 and 1988. *Aerobiologia* 5: 30-36.
- Jackson, S.T. & Wong, A. 1994. Using forest patchiness to determine pollen source areas of closed-canopy pollen assemblages. *Journal of Ecology* 82: 89-99.
- Jäger, S., Spiexma, F.T.M. & Nolard, N., 1991. Fluctuations and trends in airborne pollen types, monitored at Vienna, Leiden, and Brussels. *Grana* 30(2): 309-312).
- Janssen, C.R. 1966. Recent pollen spectra from the deciduous and coniferous deciduous forests of northeastern Minnesota: A study in pollen dispersal. *Ecology* 47: 804-825.
- Janssen, C.R. 1973. Local and regional pollen deposition. - In: *Quaternary plant ecology.* (ed. H.B.J. Gordon & R.G. West), pp. 31-42. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Johansen, S. 1992. Aerobiological studies in subalpine birch forest at Down Fjell, Central Norway, 1982-1984. *Grana* 31: 131-142.
- Kapp, R.O. 1969. How to know pollen and spores. W.M. C. Brown Co. Publishers. pp. 249.
- Käpylä, M. 1984. Diurnal variation of tree pollen in the air in Finland. *Grana* 23: 167-176.
- Kawashima, S. & Takahashi, Y. 1995. Modelling and simulation of mesoscale dispersion process for airborne cedar pollen. *Grana* 34: 142-150.

- Keynan, N., Waisel, Y., Shomer-Ilan, A. & Tamir, R. 1989. Forecasting pollen pollution: correlation with floral development. *Ann. Allergy* 63: 417-420. En Geller-Berstein, C., Keynan, N., Kenett, R., Shomer-Ilan, A. & Waisel, Y. 1991. *Aerobiology as a tool for prevention of hay fever*. Grana 30: 76-78.
- Kramer, K. 1995. Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climate warming. *Plant, Cell and Environment* 18: 93-104. 1995.
- Latorre, F. 1993. Relación entre la concentración de polen en la atmósfera y la vegetación arbórea de la ciudad de Mar del Plata. Tesis de Licenciatura. Univ. Nac. de Mar del Plata. pp. 74.
- Latorre, F. 1997. Comparison between phenological and aerobiological patterns of some arboreal species of Mar del Plata (Argentina). *Aerobiologia* 13: 49-59.
- Latorre, F. & Bianchi, M.M. 1997. Relación entre la concentración polínica atmosférica y la vegetación arbórea de Mar del Plata (Argentina). *Polen* 8: 43-59.
- Latorre, F. & Pérez, C.F. 1997. One year of airborne pollen sampling in Mar del Plata (Argentina). *Grana* 36: 49-53.
- Latorre, F. 1999a. Differences between airborne pollen and flowering phenology of urban trees with reference to production, dispersal and interannual climate. *International Journal of Aerobiology* 1-11. En prensa.
- Latorre, F. 1999b. Variaciones interanuales del polen en la atmósfera de Mar del Plata en relación a la fenología floral. Caso especial: *Quercus* (Fagaceae). Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana: Publicación Especial 6. En prensa.
- Latorre, F. & Bianchi, M.M. 1999. Flowering development of the urban trees: *Ulmus pumila* and *Fraxinus excelsior*. Relationship to airborne pollen. *Grana* 16: 1-6. En prensa.
- Lejoly-Gabriel, M. 1978. Recherches écologiques sur la pluie pollinique en Belgique. *Acta Geograph. Lovaniensa* 13: 1-279.
- Leuschner, R. 1991. Twenty one years of airborne determinations. *Journal of Palynology* 27: 305-320.
- Lewis, W.H.; Dixit, A.B. & Wedner, H.J. 1990. Aeropollen of herbaceous plants at Corpus Christi, Texas. *Aerobiologia* 6: 414-146.
- Lewis, W.H. & Vinay, P. 1983. North American pollinosis due to insect-pollinated plants. *An. Allergy* 42: 309-318. En *Aerobiology, Health, Environment. A Symposium*. Paul Comtois Ed. Université de Montréal.
- Li, D-W & Kendrick, B. 1995. A year-round study on functional relationships of airborne fungi with meteorological factors. *Int. J. Biometeorol.* 39: 74-80.

- Lindgreen, D.; Paule, L.; Xihuan, S.; Yazlani, R.; Segerström, U.; Wallin, J. & Lejdebros, L. 1995. Can viable pollen carry Scots pine genes over long distances? *Grana* 34: 64-69.
- Luomajoki, A. 1993. Climatic adaptation of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) in Finland based on male flowering phenology. *Acta Forestalia Fennica* 242: 1-28.
- Madrizal Jiménez, T.A. 1997. Fenología y ecofisiología de *Quercus oocarpa* (Fagaceae), Cartago, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 45(1): 117-123.
- Majas, F.D., Noetinger, M. & Romero, E.J. 1992. Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires city: a preliminary report. Part I. Trees and shrubs (AP). *Aerobiologia* 8: 285-296.
- Mandrioli, P. 1988. The Italian Network for the allergenic pollen monitoring. *Aerobiologia* 4: 34-37.
- Mandrioli, P., Puppi, G. & Tampieri, F. 1977. Dispersione anemofila di pollini in Valle Padana. *Giorn. Bot. Ital.* 111 (3): 153-164.
- Mandrioli, P., Negrini, M.G., Scarini, C., Tampieri, F. & Trombetti, F. 1980. Mesoscale transport of *Corylus* pollen grains in winter atmosphere. *Grana* 19: 227-233.
- Marletto, V., Puppi Branzi, G. & Sirotti, M. 1992. Forecasting flowering dates of lawn species with air temperature: application boundaries of the linear approach. *Aerobiologia* 8: 75-83.
- Marcello, A. 1935. Nuovi criteri per osservazioni fito-fenologiche. *Nuovo Giornale Italiano*, n.s., 42 (3): 534-556.
- Markgraf, V. & D'Antoni, H.L. 1978. Pollen flora of Argentina. Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae. The Univ. Arizona Press, Tucson.
- Marletto, V.; Puppi Branzi, G. & Sirotti, M. 1992. Forecasting flowering dates of lawn species with air temperature: application boundaries of the linear approach. *Aerobiologia* 8: 75-83.
- Mathov, E. 1972. Alergia e inmunología. *Publicaciones Médicas Argentinas*.
- Matteucci, S.D. & Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. *Monografía n° 22*. O.E.A.
- Mechlia, N.B. & Carroll, J.J. 1989. Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. *Citrus* response formulation. *Int. J. Biometeorol.* 33: 36-51.
- Meiffren, I. 1988. Airborne pollen of Toulouse, southern France. Comparison with Bordeaux and Montpellier. *Grana* 27: 183-201.

- Michaud, H., Lumaret, R. & Romane, F. 1992. Variation in the genetic structure and reproductive biology of holm oak populations. *Vegetatio* (99-100): 107-113.
- Mincigrucci, G.P.; Romano, B.; Frenguelli, G. & Bricchi, E. 1981. Flora e vegetazione dell'Ascolano. I. Indagine introduttiva sulla composizione floristica dell'area urbana di Ascoli Piceno. *Annali della Facoltà di Agraria* 35: 437-503.
- Montanari, C. & Guido, M. 1989. Correlazioni tra pioggia pollinica e vegetazione in alcune aree campione della città di Genova. *Informatore Botanico Italiano* 21 (1-3): 353-358.
- Moseholm, L., Weeke, R.E. & Peterson, B.N., 1987. Forecast of pollen concentration of Poaceae (Grasses) in the air by Time Series Analysis. *Pollen et Spores* 29 (2-3): 305-322.
- Moore, P.D. & Webb, J.A. 1978. *An Illustrated Guide to Pollen Analysis*. Hodder and Stoughton. London - Sydney Auckland - Toronto.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collins, M.E. 1991. *Pollen Analysis*. Blackwell Sci. Publ., Oxford - London - Edinburgh - Boston - Melbourne.
- Murali, K.S. & Sukumar, R. 1994. Reproductive phenology of a tropical dry forest in Mudumalai, southern India. *Journal of Ecology* 82: 759-767.
- Mussey, G.J. & Potter, D.A. 1997. Phenological correlations between flowering and activity of urban landscape pest in Kentucky. *J. Econ. Entomol.* 90 (6): 1615-1627.
- Negrini, A.C. 1992. Pollens as allergens. *Aerobiologia* 8: 9-15.
- Nilsson, S. & Persson, S. 1981. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden). 1973-1980. *Grana* 20: 179-182.
- Noetinger, M. & Romero, E.J. 1997. Monitoreo diario y volumétrico del polen del aire en la Ciudad de Buenos Aires. *Bol. Soc. Arg. Botánica* 32(3-4): 185-194.
- Norris-Hill, J. & Emberling, J. 1990. Diurnal variation of pollen concentration in the air of north-central London. *Grana* 30: 229-234.
- Norris-Hill, J. & Emberling, J. 1993. The incidence of increased pollen concentrations during rainfall in the area of London. *Aerobiologia* 9: 27-32.
- Oke, T.R. 1997. Urban environments. Cap. 13. Surface climates of Canada. Series: Canadian Association of geographers series in Canadian geography: 303-327.
- Opler, P.A., Gordon, W.F. & Baker, H.G. 1980. Comparative phenological studies of tree and shrub species in the lowlands of Costa Rica. *J. Ecol.* 68: 167-188.

- O'Rourke, M.K. 1986. The implication of atmospheric pollen rain for fossil pollen profiles in the arid southwest. Tucson, Arizona. Ph. D. Thesis. University of Arizona.
- O'Rourke, M.K. 1989. Relationship between airborne pollen concentrations and weather parameters in an arid environment. *Aerobiology Health Environment, A Symposium*. Paul Comtois Ed. Université de Montréal, pp. 55-76.
- O'Rourke, M.K. 1990. Pollen reentrainment: contributions to the pollen rain in an arid environment. *Grana* 29: 147-152.
- Peet, R.K. 1974. The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 285-307.
- Pérez, C. 1991. Control diario del polen atmosférico de Mar del Plata. Caracterización del espectro polínico e identificación de sus determinantes meteorológicas. Tesis Lic. Univ. Nac. de Mar del Plata.
- Pérez, C.F. & Gardiol, J.M. 1996. Patrón de variación diario de la concentración polínica atmosférica en la ciudad de Mar del Plata. Primeros resultados. *Actas del VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Buenos Aires, pp. 467-468.
- Pessi, A.M. & Pulkkinen, P. 1994. Temporal and spatial variation of airborne Scots pine (*Pinus sylvestris*) pollen. *Grana* 33: 151-157.
- Pielou, E.C. 1974. *Population and community ecology: Principles and Methods*. New York: Gordon and Beach.
- Pla Dalmau, J.M. 1961. Polen. Estructura y características de los granos de polen. Precisiones morfológicas sobre el polen de especies recolectadas en el N.E. de España. *Polinización y Aeropalinología*. pp. 509.
- Prentice, C. 1985. Pollen representation, source area and basis size: unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research* 23: 76-86.
- Prieto, A.R. 1989. Palinología de Empalme Querandías, Provincia de Buenos Aires. Un modelo paleoambiental para el Pleistoceno tardío - Holoceno. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Mar del Plata. pp. 207.
- Proença, C.E.B. & Gibbs, P.E. 1994. Reproductive biology of eight sympatric Myrtaceae from central Brazil. *New Phytol.* 126: 343-354.
- Puppi, G. & Zanotti, A.L. 1988. Uso di modelli matematici in cartografia ambientale: due esempi di applicazione. *Bollettino della associazione italiana di cartografia* 13: 637-651.
- Puppi Branzi, G. & Zanotti, A.L. 1989. Methods in phenological mapping. *Aerobiologia* 5: 44-54.

- Puppi Branzi, G. & Zanotti, A.L. 1992. Estimate and mapping of the activity of airborne pollen sources. *Aerobiologia* 8: 69-74.
- Recio, M.; Cabezudo, B.; Trigo, M.M. & Toro, F.J. 1996. *Olea europaea* pollen in the atmosphere of Málaga (S. Spain) and its relationship with meteorological parameters. *Grana* 35: 308-313.
- Rizzi Longo, L. & Cristofolini, G. 1987. Airborne Pollen Sampling in Trieste (Italy) (1987). *Grana* 26: 91-96.
- Romano, B., Bricchi, E., Fornaciari, M., Frenguelli, G. & Mincigrucci, G. 1991. One year of pollen monitoring in an urban network, Perugia, Central Italy. *Grana* 30: 242-247.
- Sarvas, R. 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees; Active period. *Comm. Inst. For. Fenn.* 76 (3): 1-110.
- Schwartz, M.D. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21 st. century. *Int. J. Biometeorol.* 42: 113-118.
- Seeley, S.D., Anderson, J.M., Frisby, J.W. & Weeks, M.G. 1997. Temperature characteristics of anthesis phenology of deciduous fruit trees. *Acta Horticultivae* 416: 56-63.
- Shitaka, Y. & Hirose, T. 1998. Effects of shift in flowering time on the reproductive output of *Xanthium canadense* in a seasonal environment. *Oecologia* 114: 361-367.
- Siniscalco, C. & Montacchini, F. 1988. Relation between ruderal and turfgrass vegetation in the city of Torino (Italy). *Braun-Blanquetia* 3: 127-136). *Proceedings of the IAVS Symposium. Part One.*
- Smith-Ramírez, C. & Armesto, J.J. 1994. Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chiloé, Chile - ecologies and climatic constraints. *J. of Ecology* 82: 353-365.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica.* H. Blume, Madrid.
- Solomon, W.R. & Durham, O.C. 1967. Pollen and Plants that produce them. En *An anual of Clinical Allergy*, Cap. 16. J.M. Sheldom, R.G. Lovell y K.P. Mathews, Eds. W.B. Saunders Co. Philadelphia & London.
- Solomon, W.R. & Mathews, K.P. 1978. *Aerobiology and Inhalant Allergens.* In: *Allergy Principles and Practice* (ed. E. Addleton, Ch. Reed, E. Ellis). The C. Mosby Co., Missouri.
- Spano, D.; Cesaraccio, C.; Duce, P. & Snyder, R. 1999. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *Int. J. Biometeorol.* 42: 124-133.

- Spieksma, F.Th.M. 1983. Airborne pollen concentration in Leiden, The Neathelands, 1977-1981. I Trees and shrubs flowering in spring. Grana 22: 119-128.
- Spieksma, F.Th.M. 1986. Allergenic pollens in Europe. Presented at 2nd. National Congress of the Italian Association of Aerobiology, Capri, April 25.
- Spieksma, F.Th.M. 1990. Pollinosis in Europe: New observations and developments. Rev. Palaeobot. Palynol. 64: 35-40.
- Spieksma, F.Th.M.; Nikkels, B.H. & Bottema, S. 1994. Relationship between pollen deposition and airborne pollen concentration. Rev. Palaeobot. Palynol. 82: 141-145.
- Spieksma, F.Th.M., Emberlin, J.C., Hjelmroos, M., Jäger, S. & Leuschner, R.M. 1995. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. Grana 34: 51-57.
- Stacy, E.A.; Hamrick, J.L.; Nason, J.D.; Hubbell, S.P.; Foster, R.B. & Condit, R. 1996. Pollen dispersal in low-density populations of three neotropical tree species. Am. Nat. 148: 275-298.
- Subba Reddi, C. & Reddi, N.S. 1985. Relation of pollen release to pollen concentration in air. Grana 24: 109-113.
- Tampieri, F., Mandrioli, P. & Puppi, G.L. 1977. Medium range transport of airborne pollen. Agric. Meteor. 18: 9-20.
- Tapper, P.G. 1996. Long-term patterns of mast fruiting in *Fraxinus excelsior*. Ecology 77 (8): 2567-2572.
- Tauber, H. 1965. Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. Geological Survey of Denmark, 2nd. sec. 89: 34-41.
- Tauber, H. 1967. Differential pollen dispersion and filtration. En Quaternary Paleoecology. Cushing, E.J. y Wright, H.E.Jr. Eds. Yale University Press. pp. 131-142.
- Tauber, H. 1977. Investigations of aerial pollen transport in a forested area. Dansk Bot. Arkiv, 32. En: Montanari, C. 1986. Relazioni tra spetti pollinici e vegetazione attuale. Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat. 19 (328): 211-236.
- Taylor, F.G.Jr. 1974. Phenodynamics of production in a mesic desiduos forest. In: Phenology and Seasonality Modeling. Ecological Studies 8(ed. H. Lieth). Blackhuys Publ., Leiden.
- Thommen, A.A. 1931. Asthsma and hayfever. Thomas Springfield. En: Negrini, A.C., Ebbli, A., Troise, C. & Voltini, S. 1987. La sensibilizzazioni al polline delle piante arboree I. Note botaniche e resega della letteratura. Folia Allergol. Immunol. Clin. 34: 57-66.

- Timmons, A.M.; O'Brien, E.T.; Charters, Y.M.; Dubbels, S.J. & Wilkinson, M.J. 1995. Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* var. ssp. *oleifera*. *Euphytica* 85: 417-423.
- Torreguitart Zorrilla, A., Belmonte Soler, J. & Rourre Nolla, J.M. 1990. Estudio comparativo del contenido polínico atmosférico en las Islas Baleares. *Polen, esporas y sus aplicaciones* 377-384. Granada.
- Trigo, M.M.; Cabezudo, B.; Recio, M. & Toro, F.J. 1996. Annual, daily and diurnal variations of Urticaceae airborne pollen in Málaga (Spain). *Aerobiologia* 12: 85-90.
- Trigo, M.M.; Recio, M.; Toro, F.J. & Cabezudo, B. 1997. Intradivisional fluctuations an airborne pollen in Málaga (S. Spain): A quantitative method. *Grana* 36: 39-43.
- Tsou, Ch-H.; Tseng, I-J.; Lin, R-F. & Hong, H-Y. 1997. Aeropalynological investigation in Taichung Taiwan, 1993-1995. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 38: 57-62.
- Winer, B.J. 1971. *Statistical principles in experimental design*. McGraw-Hill, Inc.
- Wodehouse, R. 1965. *Pollen grains. Their structure, identification and significance in Science and Medicine*. Hafner, New York, fascimile of 1935 edition, 574 pp.
- Yazvenko, S.B. 1991. Modern pollen-vegetation relationships on the southeast Caucasus. *Grana* 30: 350-356.
- Zawisza, E., Samolinski, B., Tarchalska, B. & Rapiejko, P. 1993. Allergenic pollen and pollinosis in Warsaw. *Aerobiologia* 9: 47-651.
- Zerboni, R. & Manfredi, M. 1988. Utilization of aerobiological, phenological and phytogeographical data in allergology. *Aerobiologia* 4: 27-32.
- Zerboni, R. & Manfredi, M. 1989. Phenological and phytogeographical investigation as a model for the study of allergenic pollens. In: *Pollinosis in the Mediterranean area. Proc. Int. Symp. Naples 1989*. (ed. R. Curto) pp. 28-30. Napoli.
- Zerboni, R., Manfredi, M., Campi P. & Arrigoni, P.V. 1986. Correlation between aerobiological and phytogeographical investigations in the Florence area. *Aerobiologia* 2: 2-13.
- Zerboni, R., Arrigoni, P. V., Manfredi, M., Rizzotto, L., Paoletti, L. & Ricceri, C. 1991. Geobotanical and phenological monitoring of allergenic pollen grains in the Florence area. *Grana* 30: 357-363.