



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**GEOLOGÍA**

Biología Experimental

**Establecimiento del calendario polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec, y detección de las proteínas de granos de polen de *Fraxinus* spp. en muestras de aire.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**Tania Robledo Retana**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:** Dra. María del Carmen Leticia Calderón Ezquerro

Centro de Ciencias de la Atmósfera

**COMITÉ TUTOR:** Dra. María Hilda Flores Olvera

Instituto de Biología

Dr. Francisco Jesús Arenas Huertero

Facultad de Medicina

**TUTORA INVITADA:** Dra. María del Rocío Alicia Reyes Montes

Facultad de Medicina

**MÉXICO, D.F. DICIEMBRE, 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**GEOLOGÍA**

Biología Experimental

**Establecimiento del calendario polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec, y detección de las proteínas de granos de polen de *Fraxinus* spp. en muestras de aire.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**Tania Robledo Retana**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:** Dra. María del Carmen Leticia Calderón Ezquerro

Centro de Ciencias de la Atmósfera

**COMITÉ TUTOR:** Dra. María Hilda Flores Olvera

Instituto de Biología

Dr. Francisco Jesús Arenas Huertero

Facultad de Medicina

**TUTORA INVITADA:** Dra. María del Rocío Alicia Reyes Montes

Facultad de Medicina

**MÉXICO, D.F. DICIEMBRE, 2013**



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión de subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 28 de octubre, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **ROBLEDO RETANA TANIA** con número de cuenta **512012586** con la tesis titulada **"Establecimiento del calendario polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec y detección de proteínas de granos de polen de *Fraxinus* spp. en muestras de aire."**, realizada bajo la dirección de la **DRA. MARIA DEL CARMEN CALDERON EZQUERRO**:

Presidente: DR. EDGAR ARTURO ZENTENO GALINDO  
Vocal: DR. YOHAN ALEXANDER CORREA METRIO  
Secretario: DRA. MARÍA HILDA FLORES OLVERA  
Suplente: DRA. MARÍA ELENA CALDERÓN SEGURA  
Suplente: DR. RICARDO LASCURAIN LEDESMA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 21 de noviembre de 2013.

**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**

c.c.p. Expediente

# Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, por permitirme realizar el estudio de maestría en la UNAM

A la Universidad Autónoma de México (UNAM), por permitirme estudiar en esta institución

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo monetario recibido con la beca de maestría (CVU/becario) 312407/262391 durante 2011-2013.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera por permitir la realización de este estudio, así como los apoyos otorgados a estudiantes y a la REMA para que sea posible que las estaciones de muestreo continúen funcionando.

Al Programa de Apoyo para los Estudios de Posgrado (PAEP) de la UNAM, por el apoyo para la asistencia a dos congresos del PAAA (PanAmerican Aerobiology Association) en 2012 y 2013. Así como el apoyo otorgado para la impresión de tesis.

A la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), por los apoyos, para las estancias realizadas al Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga (2008 - 2013)

A PAPIIT por el apoyo al Proyecto de la REMA, con el número IN201109-3 (2009 y renovado en 2010 y 2011).

Al Centro Virtual de Cambio Climático (2008-2009)

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología en Innovación del Distrito Federal (anteriormente ICyTDF)

A todos los Doctores que formaron parte de mi comité tutorial: La Dra. Calderón Ezquerro, por darme la oportunidad de iniciar este proyecto con ella. Así como compartir su tiempo y experiencia, para que este proyecto saliera adelante. A la Dra. Hilda Flores por su tiempo para formar parte del comité tutorial, además de las ideas aportadas para mejorar el trabajo. A la Dra. Rocío Reyes, por aceptar ser parte del comité tutor siendo tutor invitado, así como las ideas y el tiempo invertido de su parte, para la revisión de la tesis. Al Dr. Francisco Arenas, por su tiempo y preocupación para el desarrollo de este trabajo, así como de mi persona.

Finalmente a los Doctores que formaron parte del jurado para la presentación de este examen. La Dra. Ma. Hilda Flores Overa, Dra. Ma. Elena Calderón Segura, Dr. Edgar Zenteno, Dr. Ricardo Lascurain Ledesma y el Dr. Alexander Correa-Metrio.

# Agradecimientos a título personal

Al Departamento de Bioquímica, de la Facultad de Medicina, en especial al Laboratorio 6 por haber aportado todo lo necesario para la realización de la parte inmunológica de este estudio, como material, equipo y experiencia de la Dra. C. Agundis Mata, Dr. E. Zenteno y el Dr. MA. Pereira.

Al Museo de Historia Natural (2ª sección del Bosque de Chapultepec), y al equipo que trabaja ahí, en especial el equipo de mantenimiento y vigilancia por todo el apoyo brindado hasta la fecha para la realización de los muestreos, cada semana.

Al Programa de Estaciones Meteorológicas de Bachillerato Universitario (PEMBU), por proporcionar los datos meteorológicos de la estación ENP4

Al departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga, por el apoyo y los conocimientos aportados para la realización de este estudio, en especial a la Dra. Ma del Mar Trigo Pérez por la orientación palinológica para el inicio de este trabajo. Así como a, la Dra. Marta Recio Criado, la Dra. Silvia Docampo Fernández y el Dr. José García Sánchez.

Al equipo de instrumentación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, los Ingenieros León Manuel García Espinoza y Wilfrido Gutiérrez López.

Al Biólogo Miguel Meneses, por la construcción de la trampa pasiva de esporas, con sus respectivas modificaciones.

# Dedicatorias

Este trabajo está dedicado a todas las personas que son importantes en mi vida o en este trabajo, iniciando con mis papás que siempre me han apoyado, ya sea personal o económicamente, porque sin su apoyo, no habría sido posible la realización de este trabajo.

A mis hermanas, Maritza y Miriam por estar ahí.

A toda mi familia, mi abuela Malena, y a todos mis tíos, que siempre están ahí para apoyarme y obtener distintos logros y dichas.

A la Dra Calderón, por el ofrecimiento para iniciar este estudio y ser parte de la creación de la REMA, que nos ha dado mucho trabajo, así como satisfacciones. Además de compartir su tiempo y conocimientos conmigo.

Al Dr. Zenteno por todo el apoyo que me brindó para la realización de la parte inmunológica de este estudio y estar siempre dispuesto a discutir los resultados de los experimentos.

Al lab. 6 del Depto de Química, la Dra Agundis, el Dr. Alí Pereira, Joserra, José Luis, por ayudarme en los experimentos y hacer divertido trabajar en el lab 6.

A todo el grupo del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Ma Carmen, Adriana, Fernando, Felipe, César e Ivonn, por formar parte del grupo de trabajo de la REMA y contribuir con esta tesis

A Sofía, siempre dispuesta a escuchar y apoyar.

Así como a todas las personas que me faltaron por nombrar, pero igual saben que quiero mucho y les agradezco por estar en mi vida.

# Índice

<b>Resumen</b>	i
<b>Abstract</b>	iii
<b>Introducción</b>	1
<b>Marco Teórico</b>	2
Aerobiología	2
Proceso aerobiológico de los granos de polen	3
Suspensión y Transporte	5
Resuspensión	6
Depositación e Impactación	6
Morfología Polínica	6
Composición química de los granos de polen	13
Los granos de polen y las alergias	13
Reconocimiento de Alergenos	14
Fra e 1	15
<b>Antecedentes</b>	16
Redes aerobiológicas	17
Calendarios Polínicos	18
Antecedentes Nacionales	20
Aeroalergenos	23
<b>Justificación</b>	25
<b>Objetivo general</b>	26
<b>Objetivos particulares</b>	26
<b>Área de estudio</b>	26
Datos meteorológicos	29
<b>Métodos</b>	30
Obtención del Calendario Polínico	30
Muestreo de granos de polen de la atmósfera del Bosque de Chapultepec con la trampa de esporas tipo Hirst	30
Montaje y tinción de las muestras	31
Conteo e identificación de tipos polínicos en el microscopio óptico a partir de cintas de celofán	32
Análisis de los datos generados durante el muestreo	33
Establecimiento del PPP (Periodo Principal de Polinación)	33
Establecimiento de la VID (Variación Intradía)	33
Relación con los datos meteorológicos	33
Formación del Calendario Polínico	37
Muestreo para la detección del aeroalergeno Fra e 1, principal alergeno de <i>Fraxinus</i> spp.	37
Muestreo con la trampa de esporas Ciclón multi-vial	37
Muestreo con la Trampa Pasiva de Esporas	38
Detección Proteica de aeropartículas	39
Extracción de proteínas de granos de polen de <i>Fraxinus</i> spp. obtenidos directamente de la planta.	39
Caracterización del extracto de polen	39
Determinación de proteína	39

Caracterización electroforética del extracto de <i>Fraxinus</i> spp.	39
Electroforesis Bidimensional	39
Inmunotransferencia (Western-Blot)	40
Determinación de glicoproteínas con Lectinas	40
Determinación de la actividad enzimática del extracto.	41
Producción de Anticuerpos Policlonales	41
Inmunización del conejo	41
Titulación de anticuerpos por medio de ELISA	42
Detección de las proteínas inmunogénicas del extracto de polen	42
<b>Resultados</b>	44
Tipos polínicos registrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec	44
Índice Polínico Anual	45
Variación Estacional	49
Calendario Polínico	51
Principales tipos polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec	52
<i>Fraxinus</i>	52
Cupressaceae	57
<i>Alnus</i>	61
Pinaceae	64
<i>Casuarina</i>	69
Myrtaceae	72
Poaceae	76
<i>Quercus</i>	80
Urticaceae	84
<i>Ligustrum</i>	88
<i>Schinus</i>	92
Moraceae	95
<i>Ulmus</i>	99
Amaranthaceae-Chenopodiaceae	102
Rosaceae	105
<i>Salix</i>	109
<i>Citrus</i>	112
<i>Plantago</i>	115
<i>Populus</i>	118
<i>Rumex</i>	120
<i>Ambrosia</i>	123
<i>Liquidambar</i>	126
<i>Ricinus</i>	129
Asteraceae	132
<i>Artemisia</i>	136
Tilaceae	139
Extracción proteica de la fracción soluble de los granos de polen de <i>Fraxinus</i> spp.	142
Caracterización Protéica del extracto soluble de <i>Fraxinus</i> spp.	142
Determinación de proteínas por medio de lectinas	143
Actividad proteolítica del extracto	144
Producción y Titulación de anticuerpos policlonales anti $\alpha$ <i>Fraxinus</i> spp.	145

Inmunodetección de Proteínas de <i>Fraxinus</i>	146
Inmunodetección de Proteínas de <i>Fraxinus</i> en muestras de aire	148
<b>Discusión General</b>	152
<b>Conclusiones</b>	157
<b>Perspectivas</b>	158
<b>Bibliografía</b>	159
Anexo 1	180
Anexo 2	181
Anexo 3	182
Anexo 4	183
Anexo 5	184
Anexo 6	191

## Índice de Figuras

Figura		Página
1.	Proceso Aerobiológico	3
2.	Ciclo Biológico de los granos de polen	4
3.	Microesporogénesis de los granos de polen	4
4.	Grados de unión que presentan los granos de polen	7
5.	Modelo de polaridad que presentan los granos de polen	7
6.	Simetría de los granos de polen	7
7.	Formas de los granos de polen con relación P/E	8
8.	Capas de la esporodermis en corte transversal	9
9.	Estructuras suprategmiales de los granos de polen	10
10.	Tipos de tectum más frecuentes que presentan los granos de polen	10
11.	Aperturas de los granos de polen	11
12.	Tipos de aperturas	11
13.	Estructura de las aperturas	12
14.	Tipos pónicos	12
15.	Ubicación del Museo de Historia Natural	27
16.	Estaciones de muestreo de la REMA	27
17.	Mapa del muestreador y la estación meteorológica del PEMBU	30
18.	Trampa de Esporas tipo Hirst	31
19.	Corte y Montaje de la Cinta	31
20.	Laminilla montada y teñida de la estación de Chapultepec	32
21.	Temperatura media mensual	34
22.	Temperatura máxima mensual	34
23.	Temperatura mínima mensual	35
24.	Precipitación media mensual	35
25.	Humedad relativa mensual	36
26.	Vientos	36
27.	Escala del Calendario Polínico	37
28.	Muestreador multi-vial "Ciclón"	38
29.	Trampa Pasiva de Esporas	38

30.	Variación estacional de granos de polen totales	49
31.	Variación estacional de los granos de polen de árboles	49
32.	Variación estacional de los granos de polen de herbáceas	50
33.	Calendario Polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec	51
34.	<i>Fraxinus</i>	53
35.	Variación intradiaria de <i>Fraxinus</i>	55
36.	Cupressaceae	58
37.	<i>Alnus</i>	61
38.	Pinaceae	65
39.	<i>Casuarina</i>	69
40.	Myrtaceae	73
41.	Poaceae	77
42.	<i>Quercus</i>	81
43.	Urticaceae	85
44.	<i>Ligustrum</i>	89
45.	<i>Schinus</i>	92
46.	Moraceae	96
47.	<i>Ulmus</i>	99
48.	Amaranthaceae	103
49.	Rosaceae	106
50.	<i>Salix</i>	110
51.	<i>Citrus</i>	113
52.	<i>Plantago</i>	116
53.	<i>Populus</i>	118
54.	<i>Rumex</i>	121
55.	<i>Ambrosia</i>	124
56.	<i>Liquidambar</i>	127
57.	<i>Ricinus</i>	130
58.	Asteraceae	132
59.	<i>Artemisia</i>	137
60.	Tilaceae	139
61.	Electroforesis del extracto soluble de <i>Fraxinus</i> spp.	142
62.	Electroforesis bidimensional del extracto soluble de <i>Fraxinus</i> spp.	143
63.	Detección de Proteínas en el extracto de <i>Fraxinus</i> spp. con lectinas	144
64.	Actividad Proteolítica del extracto	144
65.	Titulación de anticuerpos	145
66.	Curva de concentración del extracto de <i>Fraxinus</i> detectado con los anticuerpos policlonales	145
67.	Inmunodetección de las proteínas inmunodominantes en la electroforesis del extracto soluble de <i>Fraxinus</i> .	146
68.	Inmunodetección de las proteínas inmunodominantes en la electroforesis bi-dimensional del extracto soluble de <i>Fraxinus</i> spp	147
69.	Inmunodetección de <i>Fraxinus</i> en polvo obtenido de muestras de aire (Western-Blot)	148
70.	Inmunodetección de <i>Fraxinus</i> en muestras de aire (ciclón)	148
71.	Inmunodetección de <i>Fraxinus</i> en muestras de aire (TPE)	149
72.	Curva de concentración en cintas con silicona	150

# Índice de Tablas

	Página
Tabla 1	Categorización de los tamaños de polen según Erdtman 8
Tabla 2	Proteínas alergénicas de granos de polen anemófilos 24
Tabla 3	Tipos polínicos de árboles y arbustos identificados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec 44
Tabla 4	Tipos polínicos de herbáceas identificados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec 44
Tabla 5	Índice Polínico Anual (octubre 2008 – Septiembre 2009) 45
Tabla 6	Índice Polínico Anual (octubre 2009 – Septiembre 2010) 46
Tabla 7	Índice Polínico Anual (octubre 2010 – Septiembre 2011) 47
Tabla 8	Índice Polínico Anual (octubre 2011 – Septiembre 2012) 48
Tabla 9	Correlación de los granos de polen de <i>Fraxinus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos 54
Tabla 10	Correlación de los granos de polen de <i>Fraxinus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos 54
Tabla 11	Correlación de los granos de polen de Cupressaceae (Prepico) y los factores meteorológicos 59
Tabla 12	Correlación de los granos de polen de Cupressaceae (Postpico) y los factores meteorológicos 59
Tabla 13	Correlación de los granos de polen de <i>Alnus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos 62
Tabla 14	Correlación de los granos de polen de <i>Alnus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos 63
Tabla 15	Correlación de los granos de polen de Pinaceae (Prepico) y los factores meteorológicos 66
Tabla 16	Correlación de los granos de polen de Pinaceae (Postpico) y los factores meteorológicos 67
Tabla 17	Correlación de los granos de polen de <i>Casuarina</i> (Postpico) y los factores meteorológicos 70
Tabla 18	Correlación de los granos de polen de <i>Casuarina</i> (Postpico) y los factores meteorológicos 71
Tabla 19	Correlación de los granos de polen de Myrtaceae (Prepico) y los factores meteorológicos 74
Tabla 20	Correlación de los granos de polen de Myrtaceae (Postpico) y los factores meteorológicos 74
Tabla 21	Correlación de los granos de polen de Poaceae (Prepico) y los factores meteorológicos 78
Tabla 22	Correlación de los granos de polen de Poaceae (Postpico) y los factores meteorológicos 79
Tabla 23	Correlación de los granos de polen de <i>Quercus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos 82
Tabla 24	Correlación de los granos de polen de <i>Quercus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos 83
Tabla 25	Correlación de los granos de polen de Urticaceae (Prepico) y los factores meteorológicos 86

Tabla 26	Correlación de los granos de polen de Urticaceae (Postpico) y los factores meteorológicos	86
Tabla 27	Correlación de los granos de polen de <i>Ligustrum</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	90
Tabla 28	Correlación de los granos de polen de <i>Ligustrum</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	90
Tabla 29	Correlación de los granos de polen de <i>Schinus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	93
Tabla 30	Correlación de los granos de polen de <i>Schinus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	94
Tabla 31	Correlación de los granos de polen de Moraceae (Prepico) y los factores meteorológicos	97
Tabla 32	Correlación de los granos de polen de Moraceae (Postpico) y los factores meteorológicos	97
Tabla 33	Correlación de los granos de polen de <i>Ulmus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	100
Tabla 34	Correlación de los granos de polen de <i>Ulmus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	101
Tabla 35	Correlación de los granos de polen de Amaranthaceae (Prepico) y los factores meteorológicos	104
Tabla 36	Correlación de los granos de polen de Amaranthaceae (Postpico) y los factores meteorológicos	104
Tabla 37	Correlación de los granos de polen de Rosaceae (Prepico) y los factores meteorológicos	107
Tabla 38	Correlación de los granos de polen de Rosaceae (Postpico) y los factores meteorológicos	108
Tabla 39	Correlación de los granos de polen de <i>Salix</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	111
Tabla 40	Correlación de los granos de polen de <i>Salix</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	111
Tabla 41	Correlación de los granos de polen de <i>Citrus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	114
Tabla 42	Correlación de los granos de polen de <i>Citrus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	114
Tabla 43	Correlación de los granos de polen de <i>Plantago</i> (Total) y los factores meteorológicos	117
Tabla 44	Correlación de los granos de polen de <i>Populus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	119
Tabla 45	Correlación de los granos de polen de <i>Rumex</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	122
Tabla 46	Correlación de los granos de polen de <i>Rumex</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	122
Tabla 47	Correlación de los granos de polen de <i>Ambrosia</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	125
Tabla 48	Correlación de los granos de polen de <i>Ambrosia</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	125
Tabla 49	Correlación de los granos de polen de <i>Liquidambar</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	128

Tabla 50	Correlación de los granos de polen de <i>Liquidambar</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	128
Tabla 51	Correlación de los granos de polen de <i>Ricinus</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	133
Tabla 52	Correlación de los granos de polen de <i>Ricinus</i> (Postpico) y los factores meteorológicos	133
Tabla 53	Correlación de los granos de polen de Asteraceae (Prepico) y los factores meteorológicos	134
Tabla 54	Correlación de los granos de polen de Asteraceae (Postpico) y los factores meteorológicos	135
Tabla 55	Correlación de los granos de polen de <i>Artemisia</i> (Prepico) y los factores meteorológicos	138
Tabla 56	Correlación de los granos de polen de <i>Artemisia</i> (Total) y los factores meteorológicos	138
Tabla 57	Correlación de los granos de polen de Tiliaceae (Prepico) y los factores meteorológicos	140
Tabla 58	Correlación de los granos de polen de Tiliaceae (Postpico) y los factores meteorológicos	141
Tabla 59	Principales proteínas reconocidas por los anticuerpos anti extracto de <i>Fraxinus</i>	147

# Resumen

Las plantas y sus granos de polen han coexistido con el hombre a lo largo de la historia, y son parte de la reproducción sexual de algunas plantas, sin embargo, debido a su tamaño y composición química, es posible que al entrar en contacto con las mucosas de algún individuo sensible, se desencadene una reacción alérgica que recibe el nombre de polinosis, debido a la interacción entre una persona sensibilizada y las proteínas de algunos granos de polen. Actualmente, la reacción alérgica a los pólenes es una enfermedad más común cada día, y se ve incrementada por factores externos como las condiciones ambientales, la urbanización, contaminantes, entre otras cosas.

El Bosque de Chapultepec es el parque urbano más grande de América Latina, recibiendo gran cantidad de visitantes todos los días, los cuales se encuentran expuestos a las distintas partículas presentes en la atmósfera, dentro de las cuales hay granos de polen, por lo que es importante establecer el calendario polínico de la zona, con el fin de prevenir a pacientes sensibles a ciertos tipos polínicos, sobre posibles incrementos en las concentraciones de granos de polen atmosférico.

El estudio de las concentraciones de polen atmosférico y el consecuente establecimiento del calendario polínico de distintas ciudades, se considera de gran importancia a nivel mundial, sin embargo, la Ciudad de México no contaba con un calendario polínico hasta la creación de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), que se ha dedicado al estudio y monitoreo aeropalinológico, con el fin de establecer el calendario polínico de distintas zonas en la ciudad.

Dentro de la atmósfera del Bosque de Chapultepec, se identificaron 53 tipos polínicos, donde *Populus*, Cupressaceae, *Ligustrum*, *Morus*, *Fraxinus*, *Alnus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Rumex*, *Artemisia*, *Ambrosia*, *Citrus*, *Corylus*, Rosaceae, Myrtaceae, *Plantago*, Poaceae, Urticaceae, *Pinus*, *Quercus*, *Schinus*, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Salix*, *Liquidámbar*, *Casuarina*, Asteraceae tipo: *Helianthus*, Asteraceae tipo: Anthemideae y Asteraceae tipo: *Senecio*; fueron los tipos polínicos que se incluyeron en el Calendario Polínico de la zona, debido a que éstos presentaron al menos 1 gp/m<sup>3</sup> de aire como media semanal durante todo el muestreo. Los dos tipos polínicos más importantes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, fueron *Fraxinus* y Cupressaceae, ya que la suma de ambos representa cerca del 50% de la producción total anual.

Debido a la posibilidad de encontrar las proteínas de los granos de polen como partículas paucimicrónicas en la atmósfera, se consideró importante comparar las concentraciones de los granos de polen atmosférico, con sus proteínas en la atmósfera, estableciendo un sistema de inmunodetección a partir de la prueba de ELISA y anticuerpos policlonales de conejo específicos para el extracto de *Fraxinus*.

Los anticuerpos policlonales se produjeron con múltiples inmunizaciones a un conejo, con extracto proteico de los granos de polen de *Fraxinus*, los cuales detectaron seis bandas de 38.5, 35.2, 29.4, 28.5, 24.6 y 22 Kd, con la prueba de inmunotransferencia. Mientras que con la prueba de ELISA, se detectaron concentraciones mínimas de 0.5 µg de las proteínas del extracto. Para la

detección de las proteínas en muestras de aire, se realizaron muestreo con el muestreador ciclón multi-vial (Burkard Co., UK), y una trampa de pasiva de esporas.

Las concentraciones de proteínas de *Fraxinus* detectadas con el ciclón multi-vial, mostró que éstas, tuvieron un comportamiento similar al polen atmosférico cuando sus concentraciones son muy altas en el aire, sin embargo, cuando éstas son bajas, existen marcadas diferencias entre la presencia y concentración de las proteínas detectadas en el aire. Por lo que es necesario continuar con estudios, sobre la calidad y cantidad de proteínas que produzcan los granos de polen a lo largo del año y de los propios procesos fenológicos de la planta.

# Abstract

Plants and their pollen grains have coexisted with human kind throughout history, these pollen grains are part of the sexual reproduction of some plants, and, its size and chemical composition, facilitates the contact with the mucous of the respiratory tract, which can result in triggering allergic reactions in sensitized individuals. The allergic reactions triggered by the proteins produced by pollen grains is called pollinosis. Actually, pollinosis is considered a disease more common every day, and it is incremented by external factors, like environmental conditions, urbanization, pollutants, among others.

The Chapultepec Forest is the biggest urban forest in Latin America, with great amount of visitors every day, that are exposed to different particles present in the atmosphere, within which are some pollen grains, so it is important to establish the pollinic calendar of the zone, in order to forecast possible increments on airborne pollen concentrations and advice the allergic patients about that.

The study of airborne pollen concentrations and posterior establishment of the pollinic calendar is considered very important in different cities around the world, nevertheless, Mexico city did not have a pollen calendar until the creation of the Mexican Aerobiology Network (REMA) was created, that has been devoted to studying the airborne pollen, in order to establish the pollinic calendar of different zones from the city.

53 pollen types were identified in the Chapultepec Forest atmosphere, where *Populus*, Cupressaceae, *Ligustrum*, *Morus*, *Fraxinus*, *Alnus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Rumex*, *Artemisia*, *Ambrosia*, *Citrus*, *Corylus*, Rosaceae, Myrtaceae, *Plantago*, Poaceae, Urticaceae, *Pinus*, *Quercus*, *Schinus*, Amaranthacea-Chenopodiaceae, *Salix*, *Liquidámbar*, *Casuarina*, Asteraceae type: *Helianthus*, Asteraceae type: Anthemideae and Asteraceae type: *Senecio* are the pollen types included in the pollinic calendar from this area, because they presented at least 1 pg/m<sup>3</sup> of air as a weekly average during the study. *Fraxinus* and Cupressaceae types were the most important pollen types in Chapultepec Forest's atmosphere, since the sum of the two represents nearly 50% of the total annual production.

Due to the possibility of finding proteins produced by pollen grains as paucimicrónicas particles in the atmosphere, it was important to compare the concentrations of atmospheric pollen grains, with its proteins in the atmosphere, establishing an immunodetection system performed by ELISA test and polyclonal antibodies, specific for the *Fraxinus* extract.

The polyclonal antibodies were produced with multiples immunizations of a rabbit, the shots were prepared with the protein extract, obtained from *Fraxinus* pollen grains. These antibodies detected six bands of 38.5, 35.2, 29.4, 28.5, 24.6 and 22 Kd, in Western-Blot. Meanwhile, with the ELISA test, a minimum concentration of 0.5 µg of *Fraxinus* proteins was detected.

The protein detection in air samples was performed with dust obtained with the cyclone multi-vial (Burkard Co., UK), well as a passive spore trap. The concentrations of *Fraxinus* proteins detected in samples obtained with the cyclone, showed that they behaved similarly to atmospheric *Fraxinus* pollen grains, when their concentrations were very high in the air, however,

when they are low, there are marked differences between the presence of pollen grains and its airborne protein concentration. So it is necessary to continue studies on the quality and quantity of proteins that produce pollen grains throughout the year and during different plant phenological processes.

# Introducción

Las partículas suspendidas en la atmósfera se dividen en orgánicas e inorgánicas, y algunas de ellas pueden ser respiradas, debido a su pequeño tamaño, como es el caso de los granos de polen. Éstos son de gran importancia en el contexto de salud, ya que algunos tienen la capacidad de desencadenar reacciones alérgicas en humanos sensibilizados, lo que actualmente se conoce como polinosis (Galán *et al.*, 2007; González *et al.*, 2009). La primera definición de polinosis fue dada por Bostck en 1819, nombrando esta enfermedad como la “Fiebre del heno” en el trabajo titulado: “Un caso de afección periódica de los ojos y el tórax”, publicado en Londres, a pesar de esto, fueron necesarias cuatro décadas para que Blackley estableciera la relación que existe entre las reacciones alérgicas que se presentan con la fiebre del heno y la exposición a los granos de polen que son los principales desencadenantes (García, 1999).

Los granos de polen son estructuras de reproducción que contienen los gametofitos masculinos de las plantas con flores. Éstos se producen en los sacos polínicos por meiosis (divisiones celulares) a partir de las células madre del polen. Cuando alcanzan la etapa de madurez, son transportados al pistilo (la parte femenina de la flor) para fecundarla. El transporte (llamado polinización) puede ser por aire (anemófilo), agua (hidrófilo) o con ayuda de animales (zoófilo), entre otros (Guidos y Almeida, 2005; Trigo *et al.*, 2008; Botanical-online, 2010). Para facilitar su transporte, los granos de polen pueden contar con gran variedad de estructuras características de cada tipo polínico grupo, como sacos, espinas, yemas, etc. (Scott, 1990). Incluso, algunas especies cuentan con proteínas alérgicas en su composición, por lo que existen tipos polínicos capaces de producir reacciones alérgicas en individuos sensibilizados (Feo Brito, 2003). Éstas reacciones alérgicas son conocidas como polinosis y se presentan al momento en que los granos de polen o sus proteínas alérgicas son respiradas, siendo los síntomas más comunes: asma, alergia respiratoria, cutánea o conjuntival (Guidos y Almeida, 2005). Se ha reportado que la presencia de reacciones alérgicas provocadas por granos de polen, aumenta en ciudades muy contaminadas o altamente industrializadas como la Ciudad de México (Jiménez Cisneros, 2001), ya que la capacidad alérgica de los granos de polen podría potencializarse cuando se combina con los hidrocarburos de combustibles que también se encuentran suspendidos en la atmósfera (Knox *et al.*, 1997).

La concentración de los granos de polen suspendidos en la atmósfera varía dependiendo de distintos factores, como la distribución de la vegetación, horas de sol, vientos, temporada de lluvias o secas (González *et al.*, 1997), además de las condiciones meteorológicas durante y antes de la liberación del polen, afectando su producción y maduración (D’Amato *et al.*, 2007).

Debido a los efectos en la salud causados por la inhalación de granos de polen y sus proteínas, es importante conocer la diversidad de tipos polínicos y sus concentraciones en la atmósfera. Así, uno de los objetivos principales de este trabajo es la formación de un calendario polínico, con el que los médicos y la población en general puedan conocer la estacionalidad de las concentraciones atmosféricas de los granos de polen del Bosque de Chapultepec, con el fin de prevenir complicaciones respiratorias en pacientes sensibles a los granos de polen o sus proteínas (Burge, 2002).

Se ha reportado el estudio y detección de distintas proteínas de los granos de polen, fuera de este o adheridas a distintas aeropartículas, como Lol p 1 de pasto (Knox *et al.*, 1997), Pla a 1 de *Platanus acerifolia* (Fernández *et al.*, 2010), Par o 1 (Asturias *et al.*, 2004), Par j 1 y 2 (Arilla, *et al.*, 2006) producidos por *Parietaria judica*, entre otros. *Fraxinus* representa uno de los mayores productores de granos de polen presentes en la atmósfera de la Ciudad de México, siendo uno de los principales aeroalergenos a los que se encuentra expuesta la población (Fuentes, 2012; Olivé, 2012). En este trabajo se plantea el estudio del alérgeno principal de *Fraxinus* (Fra e 1) (Barderas *et al.*, 2005) presente en la atmósfera de Chapultepec, comparándolo con las concentraciones de granos de polen atmosférico, registradas en el calendario polínico.

## Marco Teórico

### Aerobiología

La Aerobiología es una disciplina encargada del estudio de las biopartículas dispersas en la atmósfera, definiéndola de manera integral y dinámica como una ciencia multidisciplinaria que comprende la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de los organismos y partículas biológicas en la atmósfera, así como su repercusión en el entorno. Actualmente, se incluye dentro de esta disciplina a las partículas o los gases abióticos que afectan a los organismos vivos, como el mercurio, plomo, asbestos, cadmio, monóxido de carbono, dióxido sulfúrico, ozono, etc. (Pathirane, 1975; Edmonds, 1979; Belmonte y Roure, 2007). Las partículas suspendidas en la atmósfera reciben el nombre de aerosoles atmosféricos (Marcano, 2006; Uherek, 2004), éstos pueden ser de origen orgánico e inorgánico, y se encuentran distribuidos de manera homogénea en el aire, esta distribución es conocida como aerolización (Edmonds, 1979).

El transporte y viabilidad de los aerosoles es afectada por cambios meteorológicos (condiciones de lugar y tiempo específicos) y climatológicos (promedio de condiciones del ambiente) (Albentosa, 1990), de igual manera se ha observado que los movimientos de cada una de éstas partículas en el aire depende de su tamaño y características, además de las corrientes de aire (Uherek, 2004; Marcano, 2006).

Distintos investigadores han reportado que la liberación de granos de polen disminuye cuando se presentan días lluviosos o nublados, resultando en el aumento en la duración del Periodo Principal de Polinización (PPP) (Corden *et al.*, 2000; Clot, 2001; Latalowa *et al.*, 2002; Dopazo *et al.*, 2003). La distribución y transporte de los granos de polen, al igual que el resto de los aerosoles, se da gracias a la ruta aerobiológica, que es el concepto con el que Edmonds y Benninghoff (1973) explican el camino que siguen todas las partículas en el aire. Éste concepto fue establecido por Edmonds (1979) y Cox (1987), en el que incluyen procesos como la producción, liberación, dispersión, deposición e impacto.

Isard y Gage (2001) proponen el concepto del “Proceso Aerobiológico”, basándose en el trabajo de Edmonds y Benninghoff (1973). Este modelo conceptual se compone de cinco componentes o etapas: pre-acondicionamiento en un área fuente, liberación y ascenso, transporte horizontal, descenso y deposición, e impacto en el área de destino (figura 1). Estas etapas pueden ser aplicadas para todo tipo de aerosoles, desde microorganismos hasta aves.

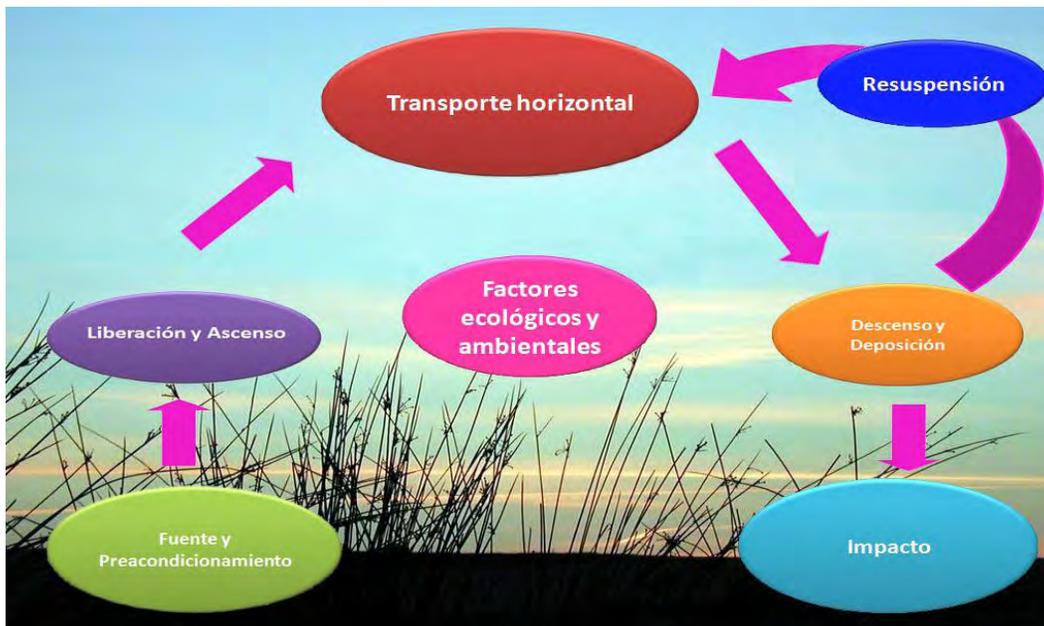


Figura 1. El proceso aerobiológico (Isard & Gage, 2001)

De ésta manera se pueden conceptualizar las interacciones biológicas y meteorológicas que guían el movimiento de las biopartículas y organismos en la atmósfera, involucrando distintas variables que hacen al sistema más complejo, incluyendo las ecorregiones de fuente y destino, así como el ambiente atmosférico durante su transporte y el conocimiento sobre la estructura del sistema y su comportamiento (Isard y Gage, 2001).

### Proceso aerobiológico de los granos de polen

El proceso aerobiológico de los granos de polen está relacionado con el ciclo sexual de las plantas, ya que los granos de polen son las estructuras que transportan los gametofitos masculinos de las angiospermas y gimnospermas (figura 2). Los granos de polen funcionan como la cubierta que protege el material genético desde el sitio de producción (estambres) hasta el sitio donde se lleva a cabo la fecundación (Shukla *et al.*, 1998). Existen plantas hermafroditas, que cuentan con estructuras masculinas y femeninas y otras dioicas, que solo cuentan con un tipo de flores en la misma planta (Taiz y Zeiger, 2010). La cantidad de granos de polen que se producen, dependen de la especie, del tipo de transporte del grano de polen y de las condiciones climáticas durante su producción. La formación de los granos de polen se da como resultado de un proceso de reproducción sexual de las plantas, donde se producen gametofitos haploides ( $n$ ), por medio de la meiosis. Esto permite la variabilidad y recombinación genética dentro de la misma especie al momento de presentarse la fecundación del gametofito femenino ( $n$ ), formando un embrión diploide ( $2n$ ), que cuenta con una carga genética completa (Shukla *et al.*, 1998).

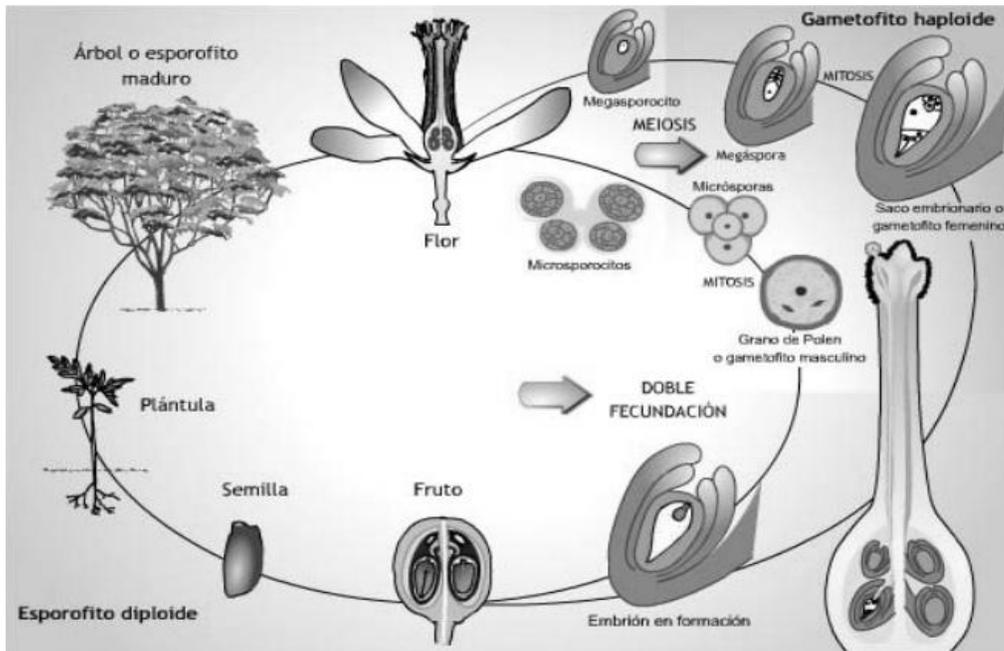


Figura 2. Ciclo biológico de los granos de polen. Reproducción de una flor angiosperma con doble fecundación (URL 45).

Las flores e inflorescencias son las estructuras reproductoras de las plantas que producen polen, por lo que la floración es una etapa fundamental para la producción y liberación de los granos de polen (Shukla *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 2010). La generación de los granos de polen se da en la antera, donde se encuentran las células esporogénicas que darán lugar a los granos de polen. Las células esporogénicas fértiles son rodeadas por tejido estéril que formará la pared polínica. El proceso donde se forman los granos de polen por medio de meiosis recibe el nombre de microesporogénesis (figura 3), donde se producen 4 células haploides a partir de la célula madre (miocito), que es diploide. Esta división da finaliza en una tétrada de microsporas haploides que se van a liberar de la tétrada por acción de la enzima calaza, que rompe las paredes de calosa que contenían los granos de polen para que estos inicien un proceso de diferenciación, en contenido citoplasmático, forma, tamaño, estructuras, etc., formando, entre otras cosas la exina y la intina (Shukla *et al.*, 1998).

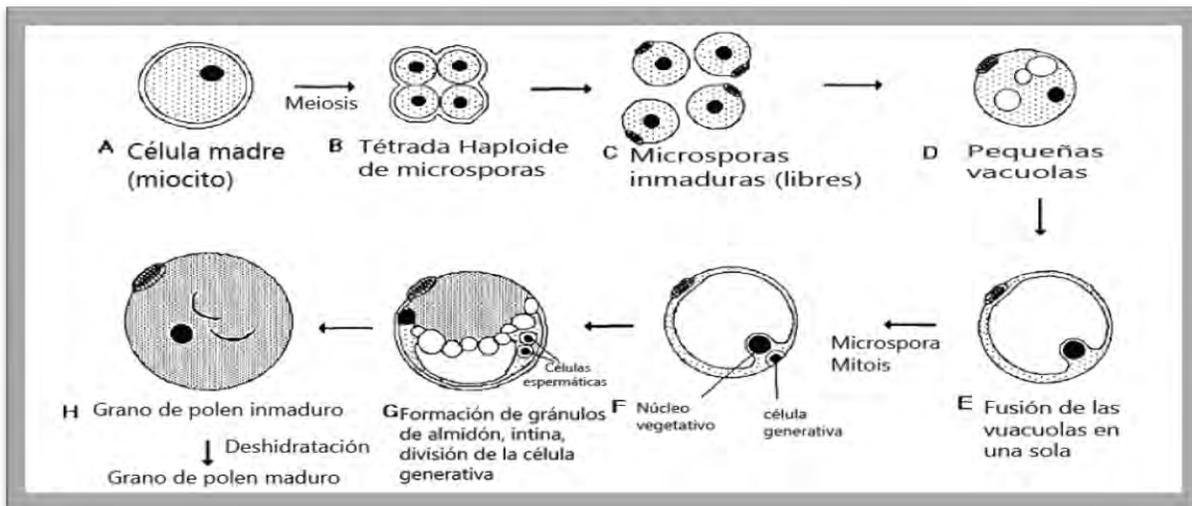


Figura 3. Microesporogénesis de los granos de polen. Modificado de Bedinger, 1992

Los distintos procesos que llevan a cabo las plantas para su crecimiento y reproducción son conocidos como procesos fenológicos. Está reportado que distintos factores meteorológicos como temperatura, precipitación, humedad relativa, horas de sol, etc., promueven la regulación de éstos procesos en las plantas, favoreciendo la producción de hormonas, liberación de enzimas, etc., sincronizando los procesos fenológicos con el medio ambiente (Taiz y Zeiger, 2010). Por lo que se considera que al presentarse variaciones en el clima, procesos como la floración y el desenrollamiento de las hojas pueden ser modificados (Van Vliet *et al.*, 2002), siendo la temperatura uno de los factores principales que afectan éstos procesos (Menzel *et al.*, 2006).

Está registrado que la mayor producción floral en árboles de *Citrus* spp. se presenta cuando la temperatura del aire y del suelo oscila entre 11-15°C, siendo esta última la temperatura mínima necesaria para florecer (Lovatt *et al.*, 1988; Hall *et al.*, 1977; Taiz y Zeiger, 2010). El aumento en la temperatura del aire y/o suelo, resulta en la disminución de la producción floral, presentando distintas respuestas que dependen de la sección de la planta en la que se incrementa la temperatura, así como de la especie (Hall *et al.*, 1977; Poerwanto y Inoue, 1990; Southwick y Davenport, 1986). Del mismo modo, se ha demostrado que la exposición prolongada a temperaturas entre los 11- 15°C aumenta el número de flores en la planta (Valiente y Albrigo, 2004).

## **Suspensión y Transporte**

Una vez que se producen y maduran los granos de polen, es necesario que sean liberados para fecundar la parte femenina de la flor, ya sea a la misma flor o en otra, en la misma planta o en otra. Para lograr esto, existen distintas posibilidades: cuando se transportan por medio del aire (anemófilas), del agua (hidrófilas) y por animales (zoidiofilias), en esta última, existe una diferenciación entre las transportadas por insectos (entomófila) y animales (zoófila) (Taiz y Zeiger, 2010). La suspensión de los granos de polen en la atmósfera depende en gran parte del tipo de transporte que utilicen, cuando los granos de polen son anemófilos, es necesario que sean liberados a la atmósfera, donde se encontrarán suspendidos para ser transportados. Para esto, las anteras de las flores se encargan de exponer a los granos de polen al medio ambiente, donde son liberados por acción del viento. Los granos de polen suspendidos en la atmósfera son aerosoles que pueden tener diversas características estructurales, e incluso algunos taxa han creado estructuras para facilitar la suspensión y transporte en el aire, asegurando su sobrevivencia al momento de estar suspendidos en la atmósfera (Edmonds, 1979; De la Rosa y Ullán, 2002). Los movimientos de cada una de estas partículas dependerán en gran parte de su forma, volumen, tamaño, peso, elasticidad, etc. (Gregory, 1973; D'Amato y Spieksma, 1992; Uherek, 2004; Marcano, 2006).

Como se ha dicho anteriormente, el transporte, permanencia y dispersión de los granos de polen se encuentran relacionados con fenómenos climáticos y meteorológicos, además de factores como la turbulencia del aire, el viento, la insolación, la lluvia, etc. Debido a las corrientes de convección, los vientos, la formación de los remolinos de aire, entre otros, los granos de polen pueden tener un transporte vertical en la atmósfera, diluyendo su concentración inicial (Gregory, 1973). Del mismo modo, se ha observado que los granos de polen pueden viajar largas distancias (Recio, 1995).

Generalmente, los granos de polen son liberados de manera individual, aunque existen grupos taxonómicos que realizan su liberación en grupos de dos (diadas), cuatro (tétradas) o de un número variable de granos de polen (poliadas) (fig. 4). Finalmente, cuando la masa completa de granos de polen formada en una antera se desplaza, recibe el nombre de polinia, aunque esto se observa principalmente en especies entomófilas limitando el medio por el que se dispersen (Trigo *et al.*, 2008).

## **Resuspensión**

El término de resuspensión es utilizado para nombrar el transporte de las partículas que se encuentran sobre una superficie, y es removido para ser depositado de nuevo en la atmósfera. Éste proceso es un modelo complicado y dependiente del límite de la capa turbulenta, así como del estado químico del aerosol cuando se encontraba depositado en la superficie (Loosmore, 2002).

## **Deposición e Impactación**

La trayectoria aerobiológica puede terminar en la deposición o la impactación de las partículas sobre gran variedad de sustratos, como el agua, suelo, vegetación, etc. La caída por acción de la gravedad es el mecanismo de deposición más importante, especialmente para las partículas de 10 - 50  $\mu\text{m}$ , donde se encuentran gran parte de los granos de polen anemófilos. El propósito de la liberación y transporte de los granos de polen en la atmósfera es la reproducción, de esta manera, es natural esperar que los granos de polen se depositen e impacten a las flores de su especie para fecundarlas y producir una semilla. Sin embargo, existen otros organismos, como los humanos, donde los granos de polen pueden depositarse en las vías respiratorias por medio de la inhalación, resultando en el desencadenamiento de una alergia, ya sea por contacto con mucosas o vías respiratorias (Driessen y Quanjer, 1991). El impacto que tenga cada una de las partículas tendrá distintos efectos en las personas, dependiendo de su composición proteica y tamaño, además de la sensibilidad de cada paciente.

## **Morfología Polínica**

La morfología polínica es una de las herramientas principales de la Palinología, siendo necesario conocer las bases morfológicas para el reconocimiento de los tipos polínicos estudiados, ya que existen gran variedad de características que es necesario considerar para realizar una correcta identificación morfológica, además de tener un conocimiento general de la vegetación presente en el área de estudio. A continuación se presentan algunas características que es necesario tomar en consideración al momento de realizar una identificación morfológica en Palinología:

**Grado de unión:** si es uno solo o más granos de polen juntos, como se observó en la sección de dispersión: un solo grano de polen, diadas, tétradas, poliadas (figura 4).

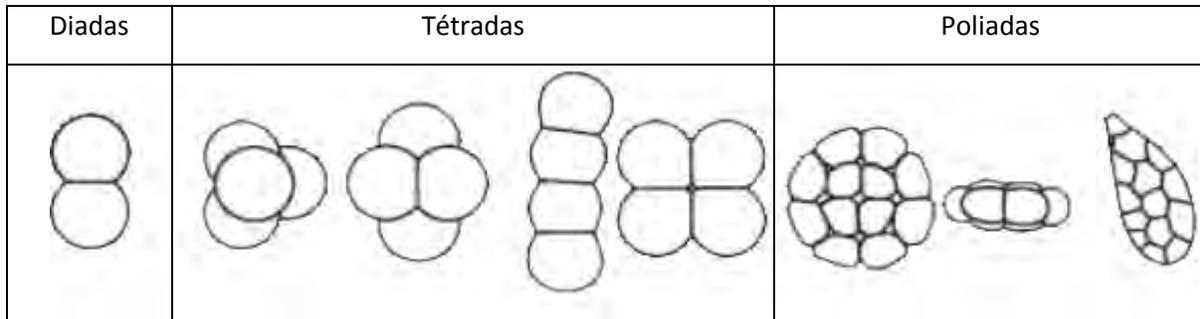


Figura 4. Grados de unión que presentan los granos de polen (Trigo *et al.*, 2008)

**Polaridad del grano de polen:** puede observarse en vista ecuatorial (e) o polar (p). Puede ser isopolar, heteropolar o apolar (redondo) (figura 5) (Trigo *et al.*, 2008).

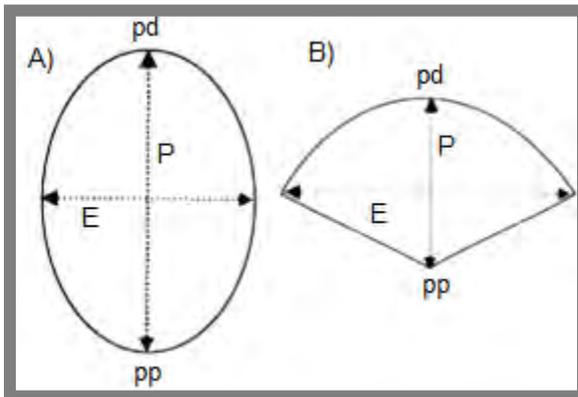


Figura 5. Modelo de polaridad que presentan los granos de polen. A) Grano de polen isopolar, que tiene ambos polos iguales. B) Grano de polen heteropolar: ambos polos diferentes. pd= polo distal, pp= polo proximal, P= eje polar, E= eje ecuatorial. Modificado de Aagaashe y Caulton, 2009

**Simetría:** Ésta se define con la vista polar, considerando las características que se nombran a continuación (figura 6). Radiosimétrico es aquel grano de polen que en vista polar y corte óptico ecuatorial presenta tres o más planos de simetría. Un polen bisimétrico posee solamente dos planos de simetría. Cuando no haya ningún plano de simetría presente en el grano de polen se le denomina asimétrico. La asimetría suele ser causada por la disposición de las aberturas (Trigo *et al.*, 2008).

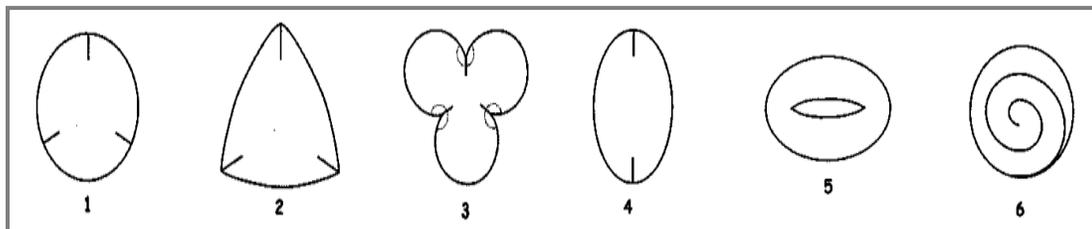


Figura 6. Simetría de los granos de polen. Radiosimétrico (1-3). Bisimétrico (4-5). Asimétrico (6). (Trigo *et al.*, 2008).

**Tamaño:** Éste se mide en función del eje de mayor longitud y en caso de los granos de polen apolares, midiendo su diámetro. Dando como resultado, los rangos en los que se encuentran los tamaños de los granos de polen (tabla 1).

Tabla 1. Categorización de los tamaños de granos de polen según Erdtman (1952)

Granos de polen muy pequeños	<10 $\mu\text{m}$
Granos de polen pequeños	10-25 $\mu\text{m}$
Granos de polen medianos	25-50 $\mu\text{m}$
Granos de polen grandes	50-100 $\mu\text{m}$
Granos de polen muy grandes	100-200 $\mu\text{m}$
Granos de polen gigantes	>200 $\mu\text{m}$

**La forma del grano de polen:** Para observar el grano de polen se toma en cuenta la figura geométrica que represente, ya sea circular, triangular, elipsoidal, etc., considerando la relación que existe entre la longitud del eje polar y la longitud del eje ecuatorial (P/E) (figura 7) (Trigo *et al.*, 2008; Agashe y Caulton, 2009).

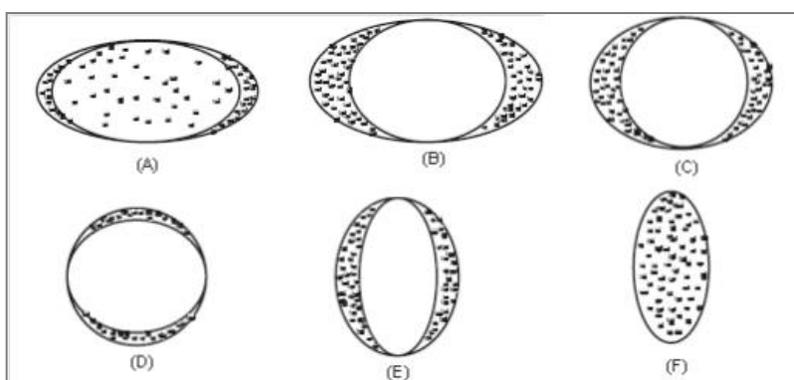


Figura 7. Formas de granos de polen con relación P/E. A) Peroblado, B) Oblado, C) Suboblado, D) Prolado esferoidal, E) Prolado. F) Perprolado (Agashe y Caulton, 2009)

**Estructura de la esporodermis:** Es la pared del grano de polen y está formado de dos capas principalmente: la exina que es la capa externa y la entina que es la capa interna (fig. 8). (Agashe y Caulton, 2009). La intina está formada por celulosa y pectina, dándole la capacidad para hidratarse, su función principal es la formación del tubo polínico para la fecundación de la flor (Trigo *et al.*, 2008). La exina está formada por esporopolenina, que es un compuesto formado a base de carotenoides y es resistente a la acetólisis y la desecación. Asimismo, la exina está formada por dos capas: endexina y ectexina. La ectexina consiste en la lámina basal, infratectum y tectum. La endexina, en cambio, es solo una capa. En la sección que corresponde a las aperturas, la exina tiene una composición diferente. Los términos de sexina y nexina son utilizados para microscopía óptica, aunque no corresponden con la endexina y la ectexina (Hesse *et al.*, 2009).

En la exina de algunos granos de polen, principalmente los de las angiospermas polinizadas por animales, se observa una sustancia denominada como polen kit (“cemento polínico”) cuya función principal es adherirse a los animales para su transporte y posteriormente es degradado (Pacinni y Hesse, 2005).

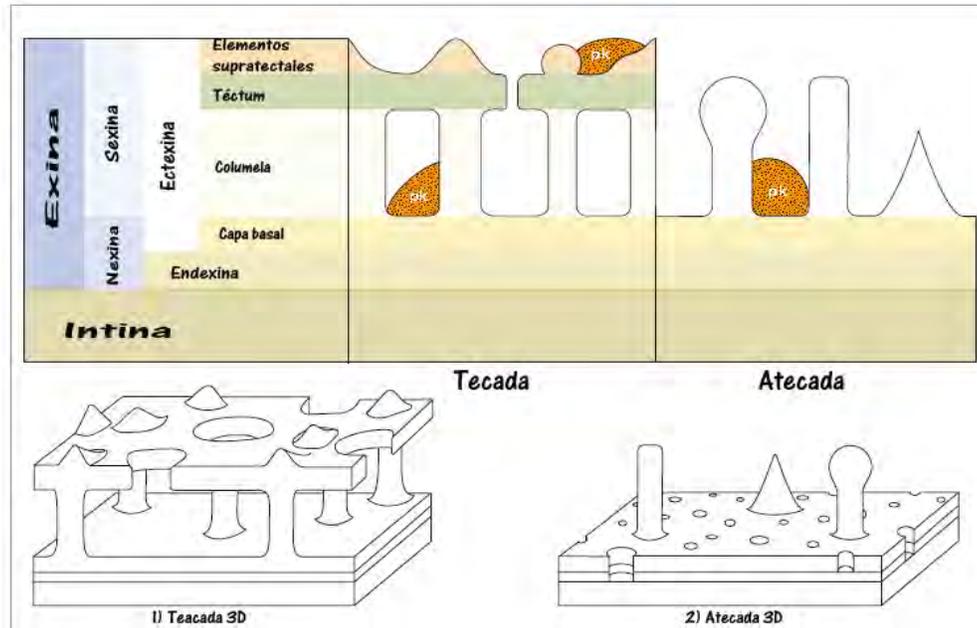


Figura 8. Capas de la esporoderma en corte transversal. 1. Reconstrucción tridimensional de una pared tecada. 2. Reconstrucción tridimensional de una pared atecada. PK= polen kit. Modificado de Hasse *et al.*, 2009

**Superficie y Ornamentación:** La superficie de los granos de polen puede ser muy variada, debido a las características del téctum, por lo que es nombrado como estructura, mientras que los elementos supracteales con los que cuenta la pared son conocidos como escultura, aunque muchas veces no es posible diferenciarlas con el microscopio óptico (Hasee *et al.*, 2009). Los distintos elementos supracteales que pueden presentar un grano de polen son (fig. 9):

**Gránulo:** con estructura isodiamétrica, obtusa y con menos de  $1\mu\text{m}$  de diámetro. Polen granuloso

**Verruga:** elemento isodiamétrico, obtuso, de más de  $1\mu\text{m}$  de diámetro. Polen verrucoso.

**Espínula:** elemento cónico, de punta aguda o redondeada de menos de  $3\mu\text{m}$  de longitud. Polen equinulado.

**Espina:** similar a la espínula, pero con una longitud de más de  $3\mu\text{m}$ , granos de polen equinados.

**Gema:** estructura obtusa, de más de  $1\mu\text{m}$  de diámetro, más alto que ancho y constreñido en la base. Polen gemado.

**Clava:** elemento poco comprimido, de más de  $1\mu\text{m}$  de longitud, más alto que ancho, y se ensancha progresivamente hacia el ápice. Granos de polen clavados.

**Báculo:** estructura cilíndrica, más larga que ancha y de más de  $1\mu\text{m}$  de longitud. Polen baculado.

**Pila:** elementos cilíndricos, de más de  $1\mu\text{m}$  de longitud, más largos que anchos, presentan una dilatación brusca en la parte apical. Granos de polen pilados.

Cuando los elementos suprategatales que se encuentran en el grano de polen no son similares a ninguno de los descritos anteriormente y su tamaño es menor a  $1\mu\text{m}$ , entonces se dice que el grano de polen es escábrido.

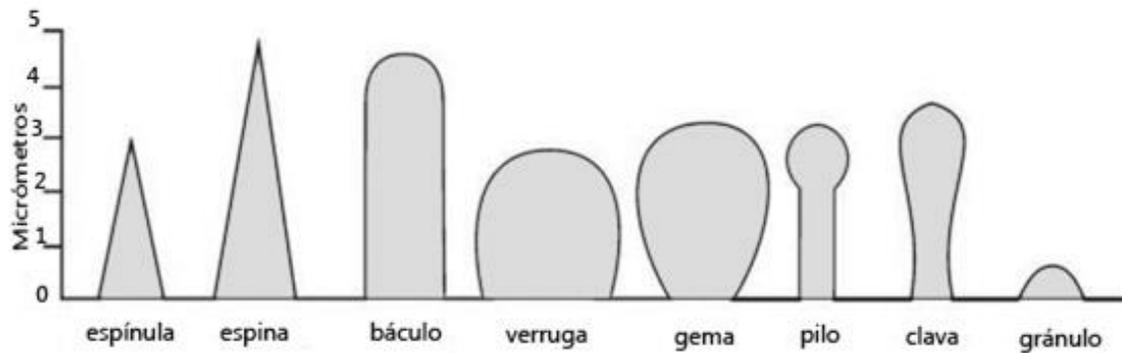


Figura 9. Estructuras suprategatales de los granos de polen. Trigo *et al.*, 2008

El tégumen presenta distintas características que varían dependiendo del tipo polínico (fig. 10). Cuando el tégumen es continuo y sólo falta a la altura de las aberturas, se nombra completo, cuando presenta perforaciones o canales, se conoce como tégumen perforado. También puede presentar zonas donde falte el tégumen, y en tal caso, sería un grano de polen semitegado o tégumen parcial. Finalmente, en algunos casos se observan granos de polen donde el tégumen falta por completo, recibiendo el nombre de polen intectado (Trigo *et al.*, 2008).

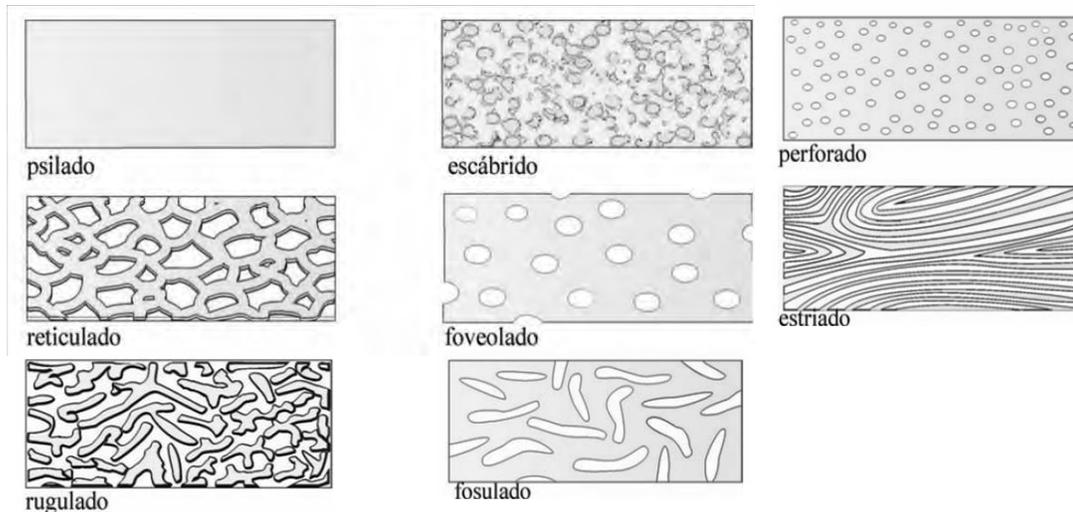


Figura 10. Tipos de tégumen más frecuentes que presentan los granos de polen (Trigo *et al.*, 2008)

**Aperturas:** Son las regiones o región en la pared del grano de polen que se encuentra más delgada o interrumpida al menos en algunas de sus capas, teniendo dos funciones principales: ser el sitio de germinación de los granos de polen y la función harmomégata (función para el control y resistencia a la desecación en el grano de polen, favoreciendo el cambio de volumen en los granos de polen, dependiendo de la humedad) (Katifori *et al.*, 2010).

Existen aperturas donde la intina se engrosa, lo que se conoce como pseudoaperturas y sólo cumplen la función harmomégata. Los granos que no cuentan con aperturas, se llaman inaperturados. Existen tipos polínicos que cuentan con zonas adelgazadas de la exina que reciben el nombre de leptomas, los cuales tienen una posición fija y es por donde tiene salida el tubo polínico (línea punteada del polen de Pino en el punto 2 de la figura 11). Las aperturas pueden afectar únicamente la ectexina (ectoaberturas) o a la endexina (endoaberturas) (figura 11).

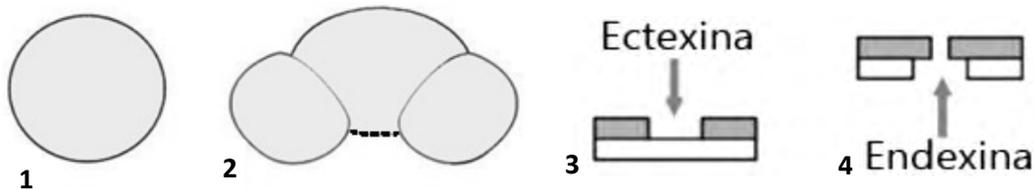


Figura 11. Aperturas de los granos de polen. 1) Polen inaperturado. 2) Polen leptomaa. 3) Ectoapertura. 4) Endoapertura. Modificado de Trigo *et al.*, 2008.

Las aperturas circulares reciben el nombre de poro, mientras que las aperturas elongadas son colpos (cuando se encuentra perpendicular al eje polar se denomina sulco) y la combinación de ambas son colpoporos (Trigo *et al.*, 2008, Hasee *et al.*, 2009). Cuando la apertura solo afecta a una de las dos capas de la exina o a las dos capas, coincidiendo en forma y tamaño se conocen como simples. Sin embargo, cuando afecta las dos capas de la exina, pero no coinciden en forma y/o tamaño, entonces se conocen como compuestas, y se observan como dos aperturas superpuestas cuando se observan en el microscopio óptico (Trigo *et al.*, 2008). Cuando las aperturas son colporadas, la endoabertura puede presentarse en el sentido del colpo (lalongada), o perpendicular al colpo (lalongada) (figura 12) (Trigo *et al.*, 2008). En la zona de las aperturas, aparece una membrana apertural, cuya función es cerrarlas total o parcialmente y contribuir a la función harmomégata (Trigo *et al.*, 2008).

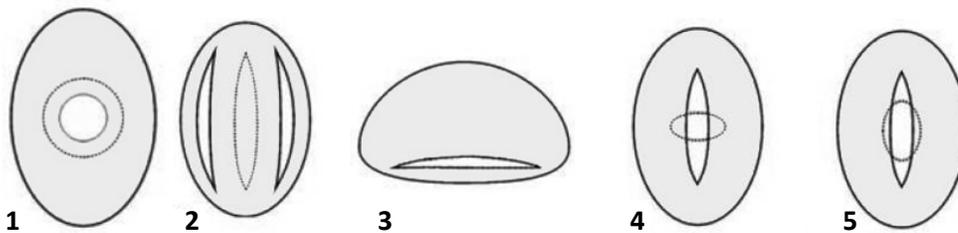


Figura 12. Tipos de aperturas. 1) Poro. Colpo 3) Polen Sulcado 4) Colporado lalongado 5) Colporado lolongado. (Trigo *et al.*, 2008)

Además de las distintas posibilidades de forma, tamaño y posición de las aberturas, pueden aparecer estructuras que se relacionan con las aperturas (figura 13):

**Margo:** sección de la exina que rodea los colpos, con una ornamentación diferente del resto de la pared (Hasee *et al.*, 2009).

**Vestíbulo:** es una cámara o cavidad producida por la separación de la ectexina y de la endexina a nivel de una apertura (Trigo *et al.*, 2008)

Anillo: sección de la exina que rodea a un poro, originada por un engrosamiento o adelgazamiento de la misma. Con una ornamentación distinta del resto de la pared (Trigo *et al.*, 2008).

Opérculo: sección de la exina que forma una estructura que cubre la apertura, y se encuentra separada del resto de la exina por una franja en la que la exina falta por completo (Trigo *et al.*, 2008; Hasse *et al.*, 2009).

Costillas: engrosamiento de la endexina que queda por debajo del margen de las aperturas (Trigo *et al.*, 2008).

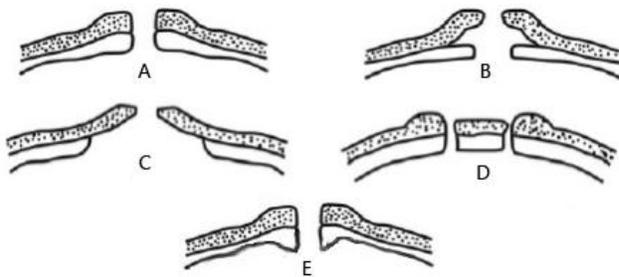


Figura 13. Estructura de las aperturas. A) Margo. B) Vestíbulo. C) Anillo. D) Opérculo. E) Costillas. Modificado de Trigo *et al.*(2008) y Agashe y Caulton (2009).

## Tipos polínicos

Ésta clasificación es una nomenclatura que propuso Erdtman (1952) y permite caracterizar a los granos de polen basándose en el número (N), posición (P) y carácter de las aperturas, concediéndole en nombre de tipo polínico a los granos de polen que cuenten con las mismas características. Éste término se construye con la combinación de las tres variables combinadas (figura 14):

Inaperturado	Aperturas							Anomoa perturbado
N0 	N1 MONO 	N2 DI 	N3 TRI 	N4 TETRA 	N5 PENTA 	N6 HEXA 	N7 POLY 	N8 
	P0 ? 	P1 CATA 	P2 ANACATA 	P3 ANA 	P4 ZONO 	P5 DIZONO 	P6 PANTO 	
	C0 ? 	C1 Leptoma 	C2 Tricotomo colpado 	C3 Colpado 	C4 Porado 	C5 Colpo- rado 	C6 Poro- rado 	

Figura 14. Tipos polínicos. Nombre de los granos de polen dependiendo del tipo, número y posición de sus aperturas (Agashe y Caulton, 2009).

## Composición química de los granos de polen

La composición química de los granos de polen varía dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales a las que se encuentra sometida la planta productora, en general están formados por (Guidos y Almeida, 2005): Proteínas (cerca del 20%), dentro de los que encontramos los ocho aminoácidos esenciales (isoleucina - leucina - lisina - metionina – fenilalanina - treonina - triptófano – valina), del 35 a 40 % del peso total está comprendido por azúcares, mientras que los lípidos representan cerca del 5%. Asimismo, encontramos minerales y oligoelementos (representando cerca del 3%), especialmente calcio, magnesio, fósforo, hierro, cobre, manganeso, etc. También se encuentran vitaminas, enzimas (que actúan como catalizadores en el metabolismo: amilasa, invertasa y fosfatasas) y sustancias antibióticas activas, hormonas y sustancias aceleradoras del crecimiento.

## Los granos de polen y las alergias.

La alergia es la reacción de hipersensibilidad que presenta una persona sensible frente a un alérgeno que es inocuo para la población en general, pero que en individuos sensibilizados, el contacto repetido con el alérgeno estimula el sistema inmune para inducir reacciones antígeno-anticuerpo, principalmente Inmunoglobulina E (IgE). La IgE es un tipo de anticuerpo que participa en los procesos alérgicos y de anafilaxia, así como en la respuesta inmune contra diversos patógenos, especialmente parásitos (helmintos), por lo que sus niveles suelen estar bastante elevados tanto en pacientes alérgicos como en personas que sufren alguna parasitosis de este tipo (Theran *et al.*, 1996).

Existen distintas condiciones que facilitan la respuesta alérgica en las personas, como:

- La composición proteica de cada alérgeno, por ejemplo las proteínas alergénicas de los pólenes de la familia de las oleáceas (Madeja *et al.*, 2005).
- Predisposición genética del paciente (Bartra *et al.*, 2007).
- Sensibilización y exposición al alérgeno (Guidos y Almeida, 2005).
- Atopía: Es la tendencia personal y/o familiar, generalmente en la niñez o adolescencia, a sensibilizarse y producir anticuerpos IgE en respuesta a los alérgenos comunes, generalmente proteínas. Como consecuencia, éstos sujetos pueden desarrollar síntomas típicos como asma, rinoconjuntivitis o eccema. Los términos atópico y atopía, son para describir la predisposición genética para sensibilizarse a alérgenos comunes del medio ambiente a los que todo el mundo está expuesto y ante los cuales el grueso de la población no produce una respuesta IgE prolongada (Johansson *et al.*, 2004)

Los alérgenos suspendidos en la atmósfera se conocen como aeroalérgenos, y los más importantes debido a las alergias respiratorias que desencadenan, son los granos de polen, esporas de hongos, ácaros, epitelio de animales y otras sustancias que afectan directamente la mucosa respiratoria activando una respuesta inmune. La mayoría de los aeroalérgenos tienen una composición proteica, o se encuentran unidos a proteínas, que en su mayoría son glicoproteínas solubles con un peso molecular entre los 10 000 y 40 000 daltons. Los alérgenos de granos de polen tienen en promedio un tamaño entre 20 y 60  $\mu\text{m}$  (Guidos y Almeida, 2005).

Éste tipo de alérgenos se relacionan en la mayoría de los casos con manifestaciones alérgicas como rinitis, conjuntivitis y asma alérgicas, y en algunos casos de dermatitis atópica. Para que se dé una respuesta alérgica, el paciente tendrá que exponerse al alérgeno en repetidas ocasiones, provocando un reconocimiento de la molécula por parte del sistema inmune del paciente, sensibilizándolo, posteriormente, las células plasmáticas sintetizan inmunoglobulina E (IgE) que reconocen al alérgeno y se une a mastocitos del tejido conjuntivo. Después de la sensibilización, una nueva exposición al alérgeno dará una respuesta alérgica de tipo I o inmediata, debido a que las moléculas de IgE ancladas a la superficie del mastocito se combinan con el antígeno, e inicia un proceso que produce la degranulación de las células cebadas sensibilizadas, promoviendo la liberación de sustancias como la histamina, heparina y mediadores de inflamación como citocinas y quimiocinas que atraen basófilos y eosinófilos, que en conjunto con los mastocitos son los responsables de desencadenar los síntomas alérgicos como son la hinchazón, picazón, espasmos, urticaria, etc. (Holt et al., 1999; Larenas *et al.*, 2009).

Distintos autores han discutido sobre las razones por las cuales se observa un incremento en la población susceptible a presentar reacciones alérgicas, de las cuales se desprenden distintas hipótesis:

- Los contaminantes atmosféricos irritan las mucosas y degradan las paredes de los granos de polen, favoreciendo la interacción entre las mucosas y las proteínas alérgicas de los granos de polen (Emberlin, 1994).
- La baja estimulación del sistema inmune debido al estilo de vida moderno, en el que se tiene una higiene cuidadosa (Madeja *et al.*, 2005).
- La existencia de adyuvantes (como los contaminantes químicos) contribuyen a la persistencia y transporte de algunos alérgenos como el diesel (Emberlin, 1994).
- Irritación de mucosas por hábitos personales como fumar (Bartra *et al.*, 2007).
- La estimulación en la producción de IgE debido al diesel

## **Reconocimiento de Alérgenos**

El sistema inmune responde a la presencia de organismos multicelulares, debido a la presencia de patrones moleculares que comparten algunos patógenos, reconocidos por distintos receptores que desencadenan las cascadas de señalización con el fin de establecer una respuesta inmune y poder eliminar a los patógenos. Algunos de estos receptores son las lectinas que se unen específicamente a patrones glúcidos (Dam y Brewer, 2010).

Existen distintas reacciones de antígeno – anticuerpo, por lo que se han desarrollado pruebas de diagnóstico donde es posible visualizar estas interacciones, dentro de las que encontramos reacciones de aglutinación, de precipitación, radioinmunoensayo, ELISA, Inmunoprecipitación, Western-Blott, entre otros (Goldsby *et al.*, 2004). Las pruebas de ELISA y Western-Blott, son métodos para comprobar la interacción antígeno – anticuerpo, ya que en ambas se produce una reacción colorimétrica, como resultado de la degradación de un sustrato, por el reconocimiento de los antígenos. El ensayo de inmunoabsorción ligada a una enzima (ELISA) se basa en el reconocimiento y posterior unión a proteína, permitiendo una detección cualitativa o la medición cuantitativa del antígeno o del anticuerpo, en base a una curva de concentración. Mientras que el Western-Blott funciona para la detección de una proteína específica a partir de una mezcla compleja de proteínas, ya que las proteínas son separadas por medio de electroforesis en un gel de acrilamida bajo condiciones desnaturalizantes, que posteriormente se transfiere a

una membrana de nitrocelulosa o PVDF, en la que el anticuerpo o lectina reconoce proteínas de manera específica, visualizándose de distintas maneras, aunque el método más común es la utilización de un conjugado del anticuerpo con una enzima como peroxidasa de rábano (Goldsby *et al.*, 2004).

## Fra e 1

Fra e 1 es una proteína perteneciente a la familia tipo Ole y comparte algunas generalidades estructurales de la familia, como el patrón de 6-cisteína, el carácter ácido, además de las similitudes en el sitio de glicosilación (Barderas *et al.*, 2005). Los alérgenos más estudiados de esta familia, son los producidos por *Olea europea*, *Fraxinus excelsior*, *Ligustrum vulgare* y *Syringa vulgaris* (Obispo *et al.*, 1993).

Se ha observado la presencia de reactividad cruzada entre *Olea* y *Fraxinus*, sin embargo presenta poca reactividad cruzada con *Ambrosia* y algunos pastos, lo que los autores atribuyen a la relación filogenética entre *Fraxinus* y *Olea*, que es mucho más cercana que las que *Fraxinus* tiene con *Ambrosia* y pastos (Niederberger *et al.*, 2002). La fuente productora de la proteína Fra e 1 es el grano de polen de *Fraxinus* y ha sido reportada como alergénica por distintos autores como D'Amato *et al.* (1988), Hemmer *et al.* (2000), Barderas *et al.* (2005), Papanikolau *et al.* (2005), entre otros. Es necesario tener una concentración de 17 µg/ml de Fra e 1 para presentar una reacción alérgica durante las pruebas cutáneas (Hrabina *et al.*, 2007). Está compuesta por 145 residuos peptídicos y se conocen 2 isoformas para esta proteína. Con cambios en las posiciones D45E, D91H y V127A. Las dos isoformas cuentan con un sitio de glicosilación en Asn-111 (Barderas *et al.*, 2005).

La proteína Fra e 1 tiene capacidad alergénica, está glicosilada y tiene un peso molecular de 21-25 Kd, con un punto isoeléctrico entre los 5 y 7.5 (Hrabina *et al.*, 2007), y se encuentra compuesta por la siguiente cadena de aminoácidos (NCBI, databases)

```
1  medvpqppvs qfhiqqqvyv dtcrarfitk lsefitgasv rlqcrdkeng dvtfteigyt
61  rgeglysmfv erdhknefce itllssgrkd cneipiegwv kpslkfilnt vngttrtinp
121 lgffkkealp qcaqvynklg myppnm
```

# Antecedentes

A lo largo de la historia, diversos investigadores se han encargado de contribuir al conocimiento de las partículas suspendidas en la atmósfera desde antes de que la Aerobiología se constituyera como una ciencia. Hipócrates (siglo V a.C.) asoció la aparición de fiebres epidémicas con el viento, atribuyendo la enfermedad a la inhalación de aire infectado con contaminantes hostiles al cuerpo humano. Ya en el siglo IV d.C., Lucrecio, un escritor y filósofo romano, observó destellos de motas de polvo bajo un rayo de luz en un cuarto oscuro, por lo que concluyó que existía una relación con el origen de las pestes (Fuentes, 2012).

Koelreuter (1766), reconoció el papel de la polinización anemófila, y Sprengel (1793) concluyó que las flores sin corola eran principalmente polinizadas por acción del viento y que los granos de polen suspendidos en la atmósfera eran “lavados” del aire por la lluvia. Finalmente, el botánico inglés Knight (1799) reportó el transporte de los granos de polen a larga distancia (Hesse *et al.*, 2008). Chales Darwin (1846) contribuyó al estudio de la aerobiología estudiando el polvo colectado del Beagle, donde se identificaron 17 microorganismos distintos. Mientras tanto, Louis Pasteur, quien era contemporáneo de Darwin, fue uno de los primeros en estudiar de forma sistemática a los organismos atmosféricos, demostrando la viabilidad de bacterias y hongos en el aire, demostrando que las concentraciones de estos organismos variaba dependiendo del lugar de muestreo (Womack *et al.*, 2010).

El físico inglés C.H. Blackley (1873) fue el primero en establecer que las altas concentraciones de granos de polen que se presentan durante el verano, estaban relacionadas con los problemas respiratorios, conocidos en ese momento “como catarro de verano”. Durante el mismo periodo, Morril Wynman describió el catarro otoñal (similar al catarro de verano) para Estados Unidos de América, que se presentó en agosto y septiembre atribuyéndolo principalmente a la floración de *Ambrosia* (Sofiev y Bergmann, 2012). En siglo XVIII, Micheli (1701-1800) realizó experimentos con esporas de moho sobre rebanadas de fruta, concluyendo que el polvo (que contenía esporas) constituía la semilla del hongo, además de comprobar que las esporas se encontraban suspendidas en el aire, debido a la contaminación de muestras (Fuentes, 2012).

Tiempo después, Anton Van Leeuwenhoek (1941) observó organismos de tamaño diminuto a los que llamó animáculos, y concluyó que eran acarreados junto con las partículas de polvo que se encontraban suspendidas en el aire. Veinte años después, en 1961, Rudolf Jakob realizó investigaciones sobre los órganos reproductivos de las angiospermas y el papel del polen como el agente que contribuía a la fertilización (Fuentes, 2012). El auge en el estudio de la Aerobiología como tal, inició entre 1950 y 1960 con trabajos realizados por investigadores como P. H. Gregory (1961), que publicó la primera edición de “The Microbiology of the atmosphere!”. Todos estos trabajos fueron presentados en simposios de Aerobiología que se realizaban de manera irregular (Edmonds, 1979). Ya en 1968, la Aerobiología se constituyó como ciencia en el 1er Congreso Mundial de Fitopatología celebrado en Londres. Debido a la petición de Gregory y Benninghoff para considerar el estudio del transporte aéreo de las esporas y otros materiales similares, como una ciencia aparte, incluyendo a la Aerobiología como una de las disciplinas del Programa Internacional de Biología. Por lo que el 11 de septiembre de 1974 se fundó la Asociación Internacional de Aerobiología (IAA), de la que formaron parte todos los investigadores que centraban sus estudios en este campo (Recio, 1995; IAA.com). Actualmente, la IAA realiza reuniones cada cuatro años con el fin de actualizar y discutir las investigaciones aerobiológicas.

Después de estos avances, el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU) creó el Programa Biológico Internacional (IBP), cuyo objetivo principal era el estudio de la producción de los ecosistemas mundiales. Todo esto, con el fin de prevenir los daños que se presentaran en el ambiente y evitar problemas futuros (Edmonds, 1979).

A pesar del progreso en los trabajos realizados en el campo de la Aerobiología, fue hasta después del establecimiento del IBP que se determinaron los procesos aerobiológicos y se inició la estandarización de los estudios (Edmonds, 1979).

Debido a que la Aerobiología ya era una ciencia, algunas instituciones gubernamentales apoyaron a investigadores, como el caso de Basset *et al.* (1978), que junto con el Departamento de Agricultura de Canadá realizaron el “Atlas de los granos de polen y las esporas más comunes en la atmósfera de Canadá”.

En 1983, Lewis *et al.* identificaron gran parte de los granos de polen en Estados Unidos en el libro “Airborne and Allergenic Pollen of North America”, aportando descripciones de árboles y herbáceas (malezas y pastos), con información muy completa sobre su clasificación, comportamiento aerobiológico, morfología polínica, distribución, alergenicidad, además de ofrecer micrografías de los granos de polen, junto con tablas de concentración de los granos de polen en la atmósfera

En 1986, en Estados Unidos, la Dra. Mary Jelks, realizó el libro: “Plantas alérgicas que causan estornudos y dificultad al respirar”, explica de manera sencilla a los lectores, como se lleva a cabo la sensibilización de los pacientes y muestra fotografías de las plantas productoras de algunos tipos polínicos considerados alérgicos. Ya en los 90’s, cuando fue posible volar aeronaves, Fred Meier fue uno de los primeros en proponer el estudio de organismos a grandes alturas, por lo que creó distintos muestreadores y reclutó otros investigadores interesados en contribuir con estos estudios. Charles y Anne Lindbergh se unieron a los estudios de Meier y colectaron esporas de hongos con un muestreador llamado “gancho aéreo” durante un vuelo, cubriendo de New Haven al Ártico y de Maine a Copenhague, en Dinamarca (Womack *et al.*, 2010)

Frenz y Murray (1997) utilizaron los muestreadores rotorod para estudiar la producción de los granos de polen en la atmósfera de Minesota, USA, con el fin de conocer las concentraciones y tipos polínicos existentes en la atmósfera de la ciudad, ya que durante el invierno todo se encontraba cubierto por una gruesa capa de nieve, encontrando que durante este periodo, las plantas locales no florecen, a pesar de esto, registraron Cupressaceae, *Ambrosia*, *Artemisia*. Con este estudio, ellos concluyeron que los granos de polen registrados no son de flores de plantas locales en ese momento, si no que provienen de plantas secas o de regiones más al sur, con un periodo de floración tardío.

## **Redes aerobiológicas**

Debido a que los granos de polen tienen importancia en temas ambientales, ecológicos, de biodiversidad y de salud principalmente, ha sido necesario profundizar en el estudio de su producción, transporte y permanencia en la atmósfera desde mediados del siglo XX, ya que diversos granos de polen tienen la capacidad para producir alergias. En 1986, durante el tercer congreso internacional celebrado en Suiza, se creó la European Aeroallergen Network

(EAN)/European Pollen Information (EPI), con el fin de disponer de una red que contara con registros de los aeroalergenos polínicos de gran parte de Europa (Recio, 1995).

La EAN es la institución encargada de coordinar y distribuir los registros y pronósticos de las concentraciones polínicas de 35 países de Europa oriental. Cada país cuenta con un centro coordinador que envía los datos de cada zona de muestreo al Centro Coordinador General, para hacer conocer las concentraciones polínicas que se presentaron en la semana, además de previsiones para los días posteriores, todo esto por medios televisivos o en su página web polleninfo.org, donde las personas tienen la oportunidad de conocer los tipos polínicos registrados y sus concentraciones, así como el pronóstico de los siguientes días, comentarios para ayudar a contrarrestar las alergias, direcciones de médicos, atlas palinológicos, etc. (polleninfo.com, Jaguer & Mandrioli, 1993)

Durante la 4ª Conferencia internacional de aerobiología (1990), se estandarizó la metodología de recolección y análisis de datos para las distintas estaciones de muestreo aerobiológico, basándose en lo propuesto por Nilsson (1988).

En América, después de la formación de la red europea, se han creado distintas instituciones con la misma finalidad: tener conocimiento de las concentraciones de granos de polen presentes en el aire y prevenir a los pacientes alérgicos y a los alergólogos, sobre las posibles elevaciones en granos de polen potencialmente dañinos. La American Academy of Allergy, Asthma and Immunology (AAAAI) certifica los conteos polínicos en Estados Unidos, Canadá y Argentina. En Estados Unidos, la página electrónica de pollen.com es la encargada de realizar la distribución y divulgación de los conteos polínicos, junto con la predicción de las concentraciones esperadas para los siguientes días, obteniendo su información de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). La información proporcionada en este sitio, cubre casi por completo el país estadounidense, además de dar información muy similar a la de la EAN y contar con aplicaciones para computadoras, tabletas electrónicas y teléfonos inteligentes donde dan las alertas de elevación de los tipos polínicos. Mientras que en Argentina, los conteos polínicos son realizados por la Asociación Argentina de Alergia en Inmunología Clínica, con cuatro estaciones en todo el país. En Canadá, estos conteos son realizados por The Weather Network.

En México se estableció la Red Mexicana de Aerobiología (REMA) en 2008, donde se realizan conteos diarios de los diversos tipos polínicos que se encuentran suspendidos en la atmósfera de 4 zonas de la Ciudad de México, y una en el Estado de México (Toluca), las cuales presentan distintas características en cuanto a vegetación y microclima (Estrada *et al.*, 2007). La REMA inició con dos estaciones, una en Ciudad Universitaria (Coyoacán), y otra en el Bosque de Chapultepec (Miguel Hidalgo). Posteriormente, en 2009 se instaló la estación de monitoreo de Iztapalapa, y en 2010 la de Cuajimalpa (2010). El Estado de México se integró a la REMA con una estación de monitoreo instalada en Toluca. El conteo de polen se lleva a cabo siguiendo el método propuesto en el Manual de la Red Española de Aerobiología (REA) (Galán *et al.*, 2007).

## **Calendarios Polínicos**

Uno de los primeros calendarios polínicos registrados, es el de Blackley, en Reino Unido (1866), que colectó muestras aéreas, a partir de las cuales, identificó y cuantificó los granos de polen en el microscopio, y con esos datos formó el calendario polínico para la ciudad de Manchester, UK. En Estados Unidos de América, el primer calendario polínico registrado es el de

Elias Marsh (1875), donde se especificó la variación estacional de *Ambrosia* para la localidad de Paterson, New Jersey (Sofiev *et al.*, 2012)

Ong *et al.* (1995) realizaron el calendario polínico de la atmósfera de Melbourne, Australia, con dos años de muestreo (1991-1993). En este calendario se reportan 22 familias de plantas y coníferas, el 62% corresponde a árboles, el 20% a pastos y el 9% a herbáceas. Encontraron que la mayor concentración de granos de polen en la atmósfera de esta localidad se registra finales del invierno y primavera. *Ulmus* y *Cupressus* fueron los más abundantes, ya que los dos juntos producen más del 60% de la producción total anual registrada.

Gutiérrez *et al.* (2006) realizaron el calendario polínico para la ciudad de Madrid, España con las concentraciones de granos de polen registrados entre 1994-2004. Donde se incluyeron 20 tipos polínicos dentro de los que encontramos a *Platanus*, *Populus*, Cupressaceae/Taxaceae, *Quercus* y Gramineae, presentando mayor concentración de febrero a junio.

Vergamini *et al.* (2007) realizaron el análisis de la concentración de polen en la atmósfera de Caxias do Sul, Brasil durante 2001 y 2002. Donde identificaron 40 tipos polínicos, de los cuales, *Amaranthus*, *Araucaria*, Asteraceae, *Carya*, Cupressaceae, Cyperaceae, *Ligustrum*, Melastomataceae, *Mimosa scabrella*, *Myrsine*, Myrtaceae, Pinaceae, *Plantago*, Poaceae, *Ricinus*, *Rumex*, Soroceae y Urticaceae, son las que se encuentran representadas en el calendario polínico de ésta localidad. Las mayores concentraciones polínicas se registran durante los meses de invierno y primavera.

Latorre y Perez (1997) realizaron un calendario polínico para la localidad de Mar del Plata, Argentina. Reportando *Prunus ceracifera* var. *Athropurpurea*, *Lagerstroemia indica*, *Ulmus pumila*, *Fraxinus* spp., *Populus*, spp., *Platanus acerifolia*, *Robinia pseudo-acacia*, *Tilia cordata*, *Ligustrum* spp., *Cupressus* spp., y *Acer negundo*. Las herbáceas fueron representadas principalmente por: Poaceae, Brassicaceae, *Conium maculatum*, *Chenopodium* spp. y Asteraceae.

Se realizó un calendario polínico para la ciudad de Trieste, Italia, con los datos registrados para el periodo entre 1994-2000. La concentración más abundante fue durante abril y mayo. Se identificaron un total de 80 familias a lo largo del año, con los siguientes tipos polínicos: *Corylus*, *Alnus*, *Ulmus*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus* y Cupressaceae-Taxaceae para el invierno, *Carpinus*, *Platanus*, *Betula*, *Ostrya*, *Broussonetia*, *Fraxinus ornus*, *Aesculus*, *Quercus*, Urticaceae, *Picea*, *Pinus*, Gramineae, *Vitis* y *Olea* durante la primavera, *Castanea*, *Plantago*, *Capparis*, *Humulus*, *Artemisia*, *Ambrosia*, Amaranthaceae, Urticaceae y Gramineae para el verano, *Hedera*, *Cedrus* durante el otoño (Rizzi-Longo *et al.*, 2007)

En últimas fechas, Oh *et al.* (2012), realizaron la actualización del calendario polínico para Corea del Sur, debido a que el calendario anterior no reflejaba la distribución actual de la atmósfera de la zona, con datos de 1997 a 2009, presentando *Pinus*, *Quercus*, *Betula*, *Ambrosia*, *Cupressus*, *Humulus* y *Artemisia*.

Actualmente, la Health on the Net Foundation, proporciona en su página web (<http://www.hon.ch/Library/Theme/Allergy/Glossary/calendar.html>) un calendario polínico, llamado mundial y dando información muy general (dividiendo en árboles, malezas y pastos) sin diferenciar entre los tipos polínicos presentes, este calendario existe para Norte América, Europa,

Asia, África y Oceanía, sin embargo no existe ningún calendario que represente a América del Sur, ni a América Central.

## Antecedentes nacionales

Los estudios realizados en México sobre las concentraciones de polen atmosféricos son pocos, debido a que la mayoría de los trabajos relacionados con granos de polen que se han realizado en México, son con fines geológicos.

En 1940, Salazar fue el primero en analizar el polen atmosférico de la Ciudad de México, continuando con estudios en los Estados de Veracruz, Tlaxcala, Michoacán, Oaxaca, Guadalajara y Puebla (Salazar, 1995), destacando la importancia de algunos tipos polínicos como agentes que desencadenan reacciones alérgicas.

A inicio de los 60's, Ramírez-Oviedo y Rodríguez- Hernández (1961) realizaron un estudio de los granos de polen más comunes del aire, donde presentaban algunas ilustraciones y descripciones de ellos, reportando 12 géneros de árboles y 19 herbáceas, de las cuales 11 correspondían a malezas y 8 a pastos (Fuentes, 2012)

En los 70's, Cueva-Velázquez realizó una compilación donde reunió distintos trabajos, propios y de otros investigadores, realizados entre 1949 y 1970, a lo largo de distintos estados de la República Mexicana: Guadalajara (1949), Oaxaca (1949), Puebla (1961), Veracruz (1962), Edo. de México (1965) y Michoacán (1970). Esta publicación se tituló "Flora y pólenes alérgicos en la República Mexicana", el cual estaba enfocado en describir el tipo y frecuencia de los granos de polen suspendidos en la atmósfera (Fuentes, 2012)

En 1985, Rosales realizó un estudio donde identificó los tipos polínicos que se encontraban en la atmósfera del Distrito Federal, reportando 24 taxa (8 familias y 16 géneros), dentro de los que encontramos los tipos polínicos *Pinus*, *Populus*, *Quercus*, *Eucaliptus*, *Cupressus*, etc., siendo la familia Asteraceae la más abundante durante la temporada de secas. Concordando con lo anterior, Bronillet (1992) determinó 24 taxa durante la temporada de secas y 17 taxa durante la temporada de lluvias en el aire de la FES-Iztacala, localizada en la zona norte de la Ciudad de México, dentro de los taxa reportados encontramos, *Abies*, *Pinus*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Alnus*, *Liquidambar*, *Quercus*, *Eucaliptus*, *Populus*, etc., además las familias Cyperaceae, Asteraceae y Cupressaceae

En 1995 Ramírez *et al.* (1995) registraron 80 tipos polínicos y determinaron 50 de ellos para el periodo de junio a noviembre de 1988 en la zona sur de la Ciudad de México, donde los principales tipos polínicos fueron: *Acacia*, *Alnus*, *Casuarina*, *Salix*, *Eucaliptus*, *Fraxinus*, *Thitonia*, *Quercus*, *Morus*, y las familias Poaceae y Liliaceae (Cid, 2007). Mientras que Salazar (1995), muestreó el sur de la Ciudad de México durante un año y registró 24 taxa para la época de secas, así como 9 taxa para la época de lluvias, los tipos polínicos que registró en la temporada de sequía fueron: *Pinus*, Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae y *Cupressus-Juniperus*, registrando durante este periodo, una concentración de granos de polen superior al mínimo necesario para desencadenar una reacción alérgica en individuos sensibles. Las herbáceas (pastos y malezas) fueron las más abundantes durante la temporada de lluvias, donde la concentración general de los granos de polen disminuyó, siendo los más abundantes: *Pinus*, *Casuarina equisetifolia*, *Cupressus-Juniperus*, Poaceae y Amaranthaceae. Se observó en la mayoría de los casos, que la mayor concentración de granos de polen se presentó durante el horario vespertino y en la temporada de

secas. Del mismo modo, se observó una gran relación con los factores meteorológicos, principalmente con la humedad relativa, temperatura, precipitación, además de los factores fenológicos de cada taxón.

Flores (1996) realizó un estudio aerobiológico en Aguascalientes, que se llevó a cabo durante un año (agosto 1994- julio 1995), tomando muestras en 5 sitios de la zona urbana. Utilizó un muestreador tipo Rotorod a una altura de 1.5 m del suelo, cada muestreo tuvo una duración de 72 min, tomando la mitad de las muestras en la mañana y la otra mitad en la tarde. Los resultados obtenidos en este estudio, demostraron bajas concentraciones de polen, lo cual se atribuyó al tipo de vegetación semiárida de la zona, que cuentan con periodos cortos de polinización y gran parte de la vegetación cuenta con una reproducción entomófila. La mayor producción de polen, fue registrada al final de la época de lluvias (agosto – septiembre), siendo la temporada de floración de pastos y plantas como *Ambrosia*. Otros granos de polen tuvieron apariciones todo el año, como la rosa laurel (*Nerium oleander*), que es una especie ornamental que se utiliza en casi toda la ciudad y florece todo el año. Se identificaron otras especies ornamentales, sin embargo, no fue posible la identificación del 50% de los granos, debido a la falta de información sobre la morfología polínica de distintos taxa existentes en nuestro territorio (Flores *et al.*, 1996).

Martínez *et al.* (1998) realizaron muestreos semanales con un muestreador de alto volumen, Andersen para estudiar las concentraciones de polen atmosférico de la Comarca Lagunera, Coahuila y Durango, relacionando los tipos polínicos registrados, con las exacerbaciones asmáticas registradas en pacientes sensibles. El muestreo se llevó a cabo con un muestreador Andersen, y obtuvieron que las concentraciones de polen atmosféricas más altas, durante el periodo de julio a octubre, correspondiendo a granos de polen de herbáceas (malezas y pastos), mientras que los pacientes asmáticos reaccionaban principalmente a alérgenos de Poaceae, Amaranthaceae y *Prosopis* sp (Cid, 2007; Olivé, 2012).

Cid (2007) registró 60 taxa correspondientes a 11 familias, en dos zonas de la Ciudad, durante un estudio de seis meses: marzo, abril y mayo (temporada de secas) y junio, julio y agosto (temporada de lluvias). Los distintos estudios realizados a lo largo del tiempo sobre granos de polen suspendidos en la atmósfera de la Ciudad de México no son comparables entre ellos, o con otros estudios, debido a las diferencias en los muestreadores, métodos y medios de montaje, finalmente los métodos de conteo utilizados en cada estudio, siendo importante el registro de las diferencias ecológicas y ambientales de cada uno de los sitios de muestreo y la temporada de estudio.

Un ejemplo de las diferencias existentes, son algunos trabajos en los que solo contaron 4 días de la semana en lugar de la semana completa, realizando conteos verticales dando como resultado el conteo de 12 transectos a lo largo del día. Otra diferencia es el medio de montaje, por ejemplo, el Gelvatol (éste medio de montaje complica el conteo horario debido a que tarda mucho tiempo en solidificar y a veces no solidifica completamente, por lo que los granos de polen pueden moverse de lugar dentro de la preparación), también está reportado el uso de Lactofenol o Muiol como medio de montaje. Del mismo modo, se encuentran diferencias en el medio de impacto, ya que algunos investigadores utilizan vaselina con hexano (puede derretirse a altas temperaturas, variando los resultados del muestreo) (Bronillet, 1992, Ramírez *et al.*, 1995, Cid, 2007, Fuentes, 2012, Olivé, 2012). Todos éstos métodos para muestrear son parte de las recomendaciones que proponen la empresa fabricante de muestreadores Burkard, Ltd Co. (fabrica los muestreadores) y la Asociación Panamericana de Aerobiología (PAAA) en sus manuales de muestreo.

A pesar de las diferencias metodológicas de estos trabajos muestran coincidencias en los resultados obtenidos por González- Macías *et al.*, (1993), Bronillet (1996), González-Lozano *et al.* (1999), Torres (2006), Cid (2007) tales como:

- Diferencias en variedad y cantidad de los granos de polen suspendidos en la atmósfera, debido a la temporada de secas (Noviembre-Abril) y la temporada de lluvias (Mayo-October). Esto es debido a que el periodo de floración de algunos árboles se produce durante la temporada de secas, siendo favorecida la suspensión y el transporte de los granos de polen, por los factores meteorológicos. Mientras que en la temporada de lluvias, las precipitaciones y los porcentajes elevados de humedad en el aire reducen las concentraciones de granos de polen suspendidos en la atmósfera.
- La diversidad aeropalinológica de la atmósfera de la Ciudad de México, está representada por árboles como *Pinus*, *Fraxinus*, *Cupressaceae*, *Alnus*, *Liquidambar*, *Myrtaceae* y *Casuarina*. Mientras que las herbáceas representativas son *Compositae*, *Amaranthaceae*, *Ambrosia* y *Poaceae*.

Debido a la falta de bases de datos continuas y comparables, la Dra. Calderón Ezquerro del Centro de Ciencias de la Atmósfera en 2008 creó la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), con el fin de establecer un muestreo continuo de los granos de polen presentes en la atmósfera de la Ciudad de México. Se inició con dos estaciones:

- Coyoacán- Esta estación realiza un muestreo continuo desde septiembre de 2008- hasta la fecha. El muestreador se encuentra en el edificio del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Chapultepec- El muestreador de esta estación muestrea continuamente desde octubre de 2008- hasta la fecha, y se encuentra situado en el Museo de Historia Natural, 2ª sección del Bosque de Chapultepec.

Posteriormente, se instalaron otras estaciones, con el fin de fortalecer la base de datos de la REMA, para tener un estudio más completo de la Ciudad de México en:

- Iztapalapa- Realiza un muestreo continuo desde marzo de 2009, situado en la calle de Felipe de la Garza.
- Cuajimalpa- Se encuentra muestreando continuamente desde abril de 2010, en el Colegio Franco Inglés.
- A partir de enero 2013 la REMA instaló una estación al norte de la ciudad, en el Instituto Politécnico Nacional, y otra estación en la ciudad de Oaxaca.

Actualmente, la REMA cuenta con una página web (<http://www.atmosfera.unam.mx/rema/index.html>) donde da a conocer su historia, colaboradores, información sobre las alergias a los granos de polen, ligas de interés sobre el tema, patrocinadores, etc. Y ha producido dos trabajos de tesis:

- Estudio aeropalinológico de Chapultepec, Cd. de México: variación espacio - temporal y efectos en la salud (Olivé, 2011).
- Estudio aeropalinológico del sur de la Ciudad de México (Fuentes, 2011)

## Aeroalergenos

Los granos de polen liberados a la atmósfera, se encuentran en contacto con material particulado, gases, etc., que se encuentren suspendidos en la atmósfera o en algún punto del proceso aerobiológico. El material particulado puede tener distintos tamaños, composición y procedencia, confiriéndoles distintas cualidades a estas partículas, y en algunos casos, la capacidad de afectar la estructura o composición química de los granos de polen (Wolters y Martens, 1987). Se ha demostrado que los contaminantes atmosféricos, como el dióxido de azufre, el nitrógeno y el diesel, son un factor que exacerba las reacciones alérgicas desencadenadas por granos de polen (Ruffin *et al.*, 1988; Herman, 1993; Rusznak *et al.*, 1994; Steerenberg *et al.*, 1999; Salvi *et al.*, 1999).

Los contaminantes presentes en el aire afectan a los granos de polen, así como a la población en general, resultando en el aumento de las reacciones alérgicas. Emberlin (1994); Emberlin y Baboonian (1995) establecieron que los contaminantes producen una irritación de las vías respiratorias, sensibilizando a la población expuesta ya que facilita la interacción entre los anticuerpos y los aeroalergenos respirados. Al mismo tiempo en que los granos de polen pueden cambiar, incrementando la exposición, concentración y actividad biológica de los aeroalergenos debido a los contaminantes (Bartra *et al.*, 2007)

Knox *et al.*, (1997) comprobaron que existen partículas inorgánicas como el diesel que son capaces de unirse a la pared de los granos de polen, por lo que las proteínas suspendidas en la atmósfera pueden encontrarse dentro de los granos de polen y adheridas a partículas de  $<1 \mu\text{m}$ , debido a que los aeroalergenos se aerolizan cuando se encuentran en condiciones adecuadas de temperatura y humedad. La unión de las aeropartículas y los aeroalergenos polínicos puede prolongar la permanencia de los aeroalergenos en el aire (Subiza, 2004). En Europa, las partículas de escape diesel (PED) son considerados uno de los principales contaminantes atmosféricos, y más del 80% de sus partículas se encuentran en el rango de ultrafinas ( $< 0,1 \mu\text{m}$  de diámetro), están compuestas por un núcleo de carbono, en el que se depositan compuestos orgánicos de alto peso molecular y metales (Bartra *et al.*, 2007). Dentro de estos compuestos es posible encontrar proteínas alergénicas, que son liberadas por los granos de polen y transportadas por distintos acarreadores como los contaminantes, material particulado, etc., recibiendo el nombre de partículas paucimicrónicas ( $2 - 5 \mu\text{m}$ ) y facilitan la entrada de los aeroalergenos polínicos al tracto respiratorio (Emberlin y Baboonian, 1995; D'Amato, 2001; Bartra *et al.*, 2007).

Se ha establecido la capacidad de distintos tipos polínicos para producir gran variedad de aeroalergenos considerados importantes en el desencadenamiento de enfermedades alérgicas, (tabla 2). Una de estas proteínas es Ole e 1 (producida por *Olea europea*) (Villalba *et al.*, 1994) y es el principal representante de las proteínas de la familia tipo Ole, que son producidas principalmente por las oleáceas (Esteve *et al.*, 2012). La capacidad alergénica de cada uno de los aeroalergenos es distinta, resultando las diversas cargas alergénicas en la atmósfera a lo largo del año (Emberlin y Baboonian, 1995). Se ha observado que las reacciones alérgicas en la población de una localidad, se encuentra íntimamente relacionado con distintos factores, como las concentraciones de granos de polen presentes en la atmósfera, los contaminantes y las condiciones meteorológicas, siendo afectados principalmente por la lluvia, la humedad y los contaminantes (Emberlin, 1995). Lo cual sugiere, sean la causa de los ataques de asma registrados en un día seco y soleado, después de un día de tormentas, ya que la humedad en el ambiente

producido por la tormenta facilita la liberación de los alérgenos al medio ambiente. (Madeja *et al.*, 2005).

Tabla 2. Proteínas alérgicas de granos de polen anemófilos

Proteína	Especie	Autor
<b>Lol p 1 y 2</b>	<i>Lolium perene</i>	Pérez <i>et al.</i> , 1990
<b>Amb a I y II</b>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Griffith <i>et al.</i> , 1991
<b>Aln g 1</b>	<i>Alnus glutinosa</i>	Breiteneder <i>et al.</i> , 1992
<b>Bet v 1</b>	<i>Betula</i>	Grote <i>et al.</i> , 1993
<b>Cor a I</b>	<i>Corylus</i>	Breiteneder <i>et al.</i> , 1993
<b>Syr v 1</b>	<i>Syringa vulgaris</i>	Batanero <i>et al.</i> , 1994
<b>Ole e 1</b>	<i>Olea europea</i>	Villabalba <i>et al.</i> , 1994
<b>Lig v 1</b>	<i>Ligustrum vulgaris</i>	Batanero <i>et al.</i> , 1996
<b>Phl p 4 y 5</b>	<i>Phleum pratense</i>	Fahlbusch <i>et al.</i> , 1998
<b>Cup a 1</b>	<i>Cupressus</i>	Aceituno <i>et al.</i> , 2000
<b>Pla I 1</b>	<i>Plantago lanceolata</i>	Calabozo <i>et al.</i> , 2001
<b>Pyr c 1</b>	<i>Pyrus communis</i>	Karamaloo <i>et al.</i> , 2001
<b>Che a 1</b>	<i>Chenopodium album</i>	Barderas <i>et al.</i> , 2002
<b>Par j 1 y 2</b>	<i>Parietaria judica</i>	Arilla, <i>et al.</i> , 2002
<b>Par o 1</b>	<i>Parietaria officinalis</i>	Asturias <i>et al.</i> , 2004
<b>Fra e 1</b>	<i>Fraxinus excelsior</i>	Barderas <i>et al.</i> , 2005
<b>Pla a 1</b>	<i>Platanus acerifolia</i>	Fernández- González <i>et al.</i> , 2010

Las partículas paucimicrónicas liberadas por los granos de polen provienen de distintas partes del mismo, como restos de las anteras de la planta, los cuerpos de Ubish, o de los gránulos de almidón que contienen los granos de polen (D'Amato, 2001). Los cuerpos de Ubish tienen una función desconocida, son producidos en grandes cantidades, compuestos de esporopolenina parecida a la de la pared del grano de polen y pueden contener alérgenos (García, 2010). De igual manera, los contaminantes atmosféricos pueden adherirse a la pared de los granos de polen, cambiando su permeabilidad y permitiendo la liberación de distintas proteínas, o incluso aumentar la producción de los distintos aeroalérgenos, según lo reportado por Cortegano *et al.* (2004) y Armentia *et al.* (1993). Debido a la posibilidad de encontrar partículas paucimicrónicas provenientes de los granos de polen, se han establecido distintos métodos de detección de los aeroalérgenos presentes en la atmósfera para entender la relación entre las concentraciones atmosféricas de polen y la presencia de sus alérgenos en la atmósfera, como son los inmunoensayos con la prueba de ELISA, inmunoblotting, inmunoanálisis de fluorescencia, etc. (Moreno-Grau, 2006)

Las proteínas y los granos de polen de la familia Oleaceae son considerados como uno de los principales aeroalérgenos desencadenantes de polinosis en países como España, Italia e Israel (Rodríguez *et al.*, 2002). Aunque la cantidad de especímenes de *Olea europea* en México son muy pocos, sus proteínas presentan reactividad cruzada con las proteínas de granos de polen de esta familia, por lo que es posible que los pacientes alérgicos a las proteínas de *Olea*, reaccionen con las proteínas producidas por otras oleáceas que se encuentran presentes en México, como *Fraxinus* y *Ligustrum*.

# Justificación

Enfermedades alérgicas como el asma, rinitis alérgica, alergia respiratoria, cutánea y conjuntival (Guidos y Almeida, 2005) afectan aproximadamente del 15-30% de la población en ciudades industrializadas como la Ciudad de México y se considera que esta cifra va en aumento (Jiménez Cisneros, 2001; Terán *et al.*, 2009). Esto es producto de una respuesta de hipersensibilidad inmediata a componentes inocuos en el ambiente, siendo los granos de polen una de las fuentes principales de alérgenos en el aire, aunque su liberación en el ambiente es parte del proceso reproductivo de gimnospermas y angiospermas. Las reacciones alérgicas que produzcan los granos de polen, dependen de las características que tiene cada grupo polínico, como tamaño, composición química e incidencia en la atmósfera. Además de la composición del polen, la reacción alérgica depende de la predisposición genética o atópica de cada persona, planteándose la existencia de al menos 12 genes implicados en esta patología, estudiándose la relación que existe entre la alta exposición al polen y la presencia de anticuerpos IgE específico (González *et al.*, 2009).

Se ha sugerido que el aumento de la alergenidad de algunos granos de polen se debe a los contaminantes, expresando una mayor cantidad de proteínas con capacidad alérgica (Bartra *et al* 2007). Aunado a esto, la contaminación ambiental de grandes urbes y ciudades como la Ciudad de México es un factor determinante por sí solo, ya que provoca la irritación de las vías respiratorias incrementando la severidad de la polinosis (Ring *et al.*, 2002; Guidos y Almeida, 2005). Se estima que el 20% de la población con alergias respiratorias, presentan algún nivel de sensibilización a los alérgenos producidos por *Fraxinus* (Niederberger *et al.*, 2002). Estudios realizados en la Ciudad de México han determinado que los granos de polen son la segunda causa principal de sensibilización (Meza-Vázquez *et al.*, 1999), que la alergia a ciertos granos de polen depende de la época del año (Enríquez *et al.*, 1995; Peña *et al.*, 1998; Hernández *et al.*, 1999), y el conocimiento que enfermedades alérgicas como asma y rinitis se encuentran asociadas a determinados tipos polínicos (Ontiveros *et al.*, 1995), además de haber duplicado la prevalencia de las enfermedades atópicas durante los últimos 50 años, posiblemente, por cambios en el ambiente.

El Bosque de Chapultepec es uno de los principales pulmones de la Ciudad de México, donde se realizan gran variedad de actividades recreativas, con museos, convivios, parques de diversiones, etc., concentrando una gran cantidad de personas en esta área, por lo que existe un alto porcentaje de individuos propensos a presentar una reacción alérgica. Establecer el calendario polínico en esta zona permitirá determinar los tipos polínicos más frecuentes y abundantes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, dando la oportunidad a pacientes y médicos, de tomar medidas de prevención y control de las posibles reacciones alérgicas que presentará la población sensible que visite este parque recreativo.

La realización de este trabajo pretende sentar un antecedente en México, para el uso de un método aeropolinológico que ha sido estandarizado a nivel internaiconal y que ha permitido el establecimiento de los primeros calendarios polínicos en México. De este modo, los resultados obtenidos pueden ser comparados tanto a nivel nacional, con registros de diferentes temporadas y zonas, como a nivel internacional, proporcionando información valiosa sobre la diversidad, distribución y transporte de los granos de polen en la atmósfera.

# Objetivo general

Elaborar el calendario polínico de la atmósfera de el Bosque de Chapultepec (Delegación Miguel Hidalgo) y realizar la inmunodetección de proteínas alergénicas de *Fraxinus* spp, adheridas a aeropartículas.

## Objetivos particulares

1. Determinar la variación estacional de los principales tipos polínicos suspendidos en la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo.
2. Determinar la variación intradiaria de las concentraciones de polen de *Fraxinus* spp.
3. Obtener un calendario polínico mediante el muestreo de los granos de polen durante 4 años
4. Establecer el periodo de floración de los grupos polínicos monitoreados.
5. Evaluar la relación entre los tipos polínicos y sus concentraciones con las condiciones ambientales de temperatura, humedad, precipitación, horas de sol, etc.
6. Extraer las proteínas alergénicas de *Fraxinus* spp directamente de los granos de polen
7. Producir anticuerpos para la inmunodetección de proteínas de *Fraxinus* spp
8. Realizar la inmunodetección de proteínas de granos de polen de *Fraxinus* spp. adheridos a aeropartículas suspendidas en la atmósfera del Bosque de Chapultepec.

## Área de estudio

El Bosque de Chapultepec se encuentra dentro de los límites del Distrito Federal en la República Mexicana, en las inmediaciones de la Delegación Miguel Hidalgo (fig. 15). Este bosque es el área verde urbana de mayor extensión del país y de América Latina, con una extensión de 686.01 hectáreas (Casasola, 2006, GDF, 2006), localizado al poniente de la Ciudad de México, entre los paralelos 19°23'40" y 19°25'45" de latitud norte y los meridianos 99°10'40" y 99°14'15" de longitud oeste (PUEC-UNAM, 2002). Presenta una diferencia de altitud en el relieve, que va de los 2,250 a más de 2,300 m.s.n.m. en la parte alta de la 3ª Sección (Molina, 1979).

Este bosque se divide en tres secciones: la primera corresponde al antiguo bosque, con 230 hectáreas, mientras que la 2ª y 3ª sección son ampliaciones posteriores (Hernández, 1999). La 2ª sección, localizada en Av. Constituyentes y Anillo Periférico, se inauguró el 24 de octubre de 1962 como parte de un proyecto diseñado por el arquitecto Leónides Guadarrama y está conformada por un poco más de 168.0326 hectáreas (Tovar, 1982; Hernández, 1999).

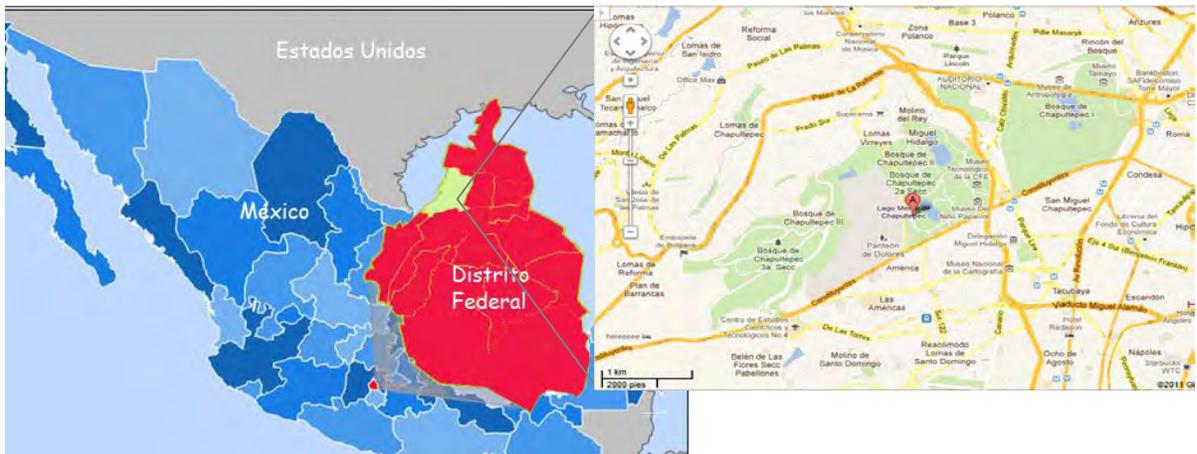


Figura 15. Ubicación geográfica del sitio de muestreo, en el Museo de Historia Natural, 2ª sección del Bosque de Chapultepec, Distrito Federal, México. El mapa de la derecha muestra las 3 secciones del Bosque de Chapultepec. Modificado de Google maps.

Este estudio es parte de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), que cuenta con distintas estaciones de muestreo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (figura 16).

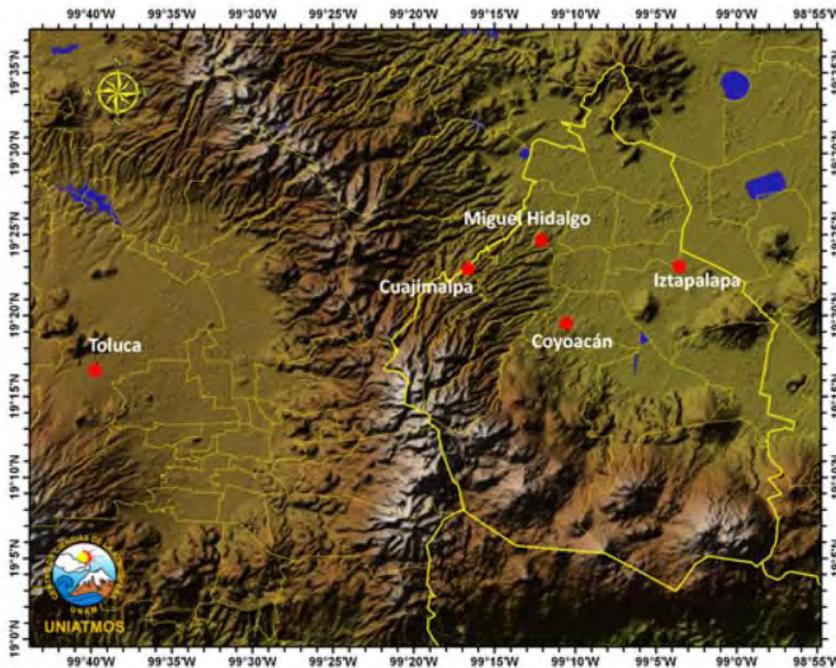


Figura 16. Estaciones de muestreo de la REMA (Red Mexicana de Aerobiología). La estación de Miguel Hidalgo corresponde al Bosque de Chapultepec.

### Vegetación de la zona:

Se tienen registros históricos donde se menciona la presencia de cipreses (*Cupressus* spp.) y sauces llorones (*Salix* spp), siendo posible que existieran olmos (*Ulmus* spp), álamos (*Populus*), moreras (*Morus* spp.), higueras (*Ficus* spp) y algunas especies nativas del Valle de México, como liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), capulín (*Prunus* spp.), pino (*Pinus* spp.), abeto (*Abies* spp.) y pirúl (*Schinus molle*) (Tovar, 1982). La primera reforestación fue ordenada por Moctezuma,

introduciendo especies tropicales y medicinales (Orozco, 2007). Siendo los españoles los primeros en introducir vegetación de otros continentes, debido a que la conquista provocó la primera deforestación (Benavides *et al.*, 2010).

Maximiliano De Hazburgo (1860) intensificó la introducción de especies exóticas. Durante el Porfiriato se realizó una intensa rehabilitación, reforestando la zona con truenos y se construyó la Residencia Presidencial. Debido a la construcción de distintas vías de comunicación, como el Circuito Interior, el Bosque sufrió un gran impacto, disminuyendo su extensión y mermando la vegetación (Tovar, 1982)

Orozco (2007) refiere que el 50% de la vegetación que se encuentra en el Bosque de Chapultepec es introducida y entre las especies más frecuentes se encuentran: *Ligustrum lucidum* (trueno), *Fraxinus uhdei* (fresno), *Cupressus lindleyi* (cedro), *Liquidambar styraciflua* (liquidámbar), *Taxodium mucronatum* (ahuehuete) y *Alnus acuminata* (aile). *Taxodium mucronatum*, conocido como Ahuehuete, fue la especie vegetal más representativa de Chapultepec anteriormente, aunque actualmente el fresno (*Fraxinus spp.*) es el más abundante en la zona debido a su extensa utilización en reforestaciones urbanas. También se encuentran cedros blancos, como *Cupressus lindleyi*, *C. lusitanica*, *C. benthamii*, *C. sempervirens* (cedro panteonero o sequoia) y *Cedrus Libanni* (cedro de libano). Existen áreas con reminiscencia de Bosque pino - encino, donde las especies presentes son *Pinus sp.*, *Pinus radiata*, *Quercus ruber*, *Q. rugosa* y *Q. excelsa*. (Casasola, 2006).

Este bosque urbano cuenta con un aproximado de 166 818 árboles en las tres secciones. Y de acuerdo con el INIFAP, se presentan 105 especies, donde las más frecuentes fueron: *Ligustrum lucidum* (trueno), *Fraxinus uhdei* (fresno), *Cupressus benthamii* (cedro blanco), *Taxodium mucronatum* (ahuehuete), *Cupressus lusitánica* (cedro blanco), tan solo en la 2ª sección del Bosque de Chapultepec, encontramos 8633 (INIFAP, ProBosque Chapultepec (2008). Las principales herbáceas en Chapultepec son las familias Asteraceae, Amaranthaceae, Polygonaceae y Solanaceae (Guerrero, 1997), Commenilaceae, Cyperaceae y Lilaceae (GDFb, 2006), mientras que los pastos cultivados están representados en su mayoría por la familia Poaceae. Además de contar con especies que se encuentran en camellones, jardineras, especies presentes en el jardín botánico, además de jardines privados (Olivé, 2011).

## Clima

La localización geográfica, altitud, urbanización y vegetación en la zona, dan las características a la Delegación Miguel Hidalgo para tener un clima tipo C (w) (Köppen) templado subhúmedo. La primera sección tiende a ser más seca con un clima y se va haciendo más húmedo conforme se adentra en la tercera sección, esto se atribuye a lo accidentado del terreno y al aumento en la vegetación (INEGI, 2012). La temperatura máxima registrada oscila en los 30°C y generalmente se presenta en mayo, mientras que las temperaturas más bajas se presentan durante los meses de noviembre a febrero (en Olivé, 2011). La temperatura media anual es de 15.6°C y la precipitación promedio es de 787.7 mm (Estación Meteorológica 09-049 de Tacubaya) siendo el periodo de mayor precipitación de junio a septiembre, siendo verano el régimen de lluvia (INEGI, 2011, en Olivé, 2011).

Se ha observado que en el interior del Bosque de Chapultepec, las temperaturas más bajas son cerca de 6° C y la humedad relativa es 40% más alta que el entorno, funcionando como atenuante del efecto de la “isla de calor”, que es resultado de la urbanización de la Ciudad de

México (Casasola, 2006). Esta “isla de calor” es una variación entre la temperatura del centro de la ciudad y su periferia, principalmente durante la noche, que resulta en un enfriamiento más lento de la zona urbanizada (centro), mientras que el enfriamiento es más rápido en la zona rural (periferia). Esto favorece la presencia de vientos que corren desde la periferia hacia el interior de la ciudad (Jáuregui, 1992).

## **Geología**

El sustrato que conforma la zona del Bosque de Chapultepec data de la era Cenozoica (Cuaternario 53% y Neógeno 47%), con suelo aluvial y lacustre, además de roca ígnea extrusiva del tipo andesitas de augita, con áreas cubiertas de rocas volcanoclásticas que han sido arrastradas por las corrientes de agua, dando lugar a la formación de cañadas en la tercera sección del Bosque de Chapultepec (INEGI, 2011).

## **Fisiografía e hidrografía**

El cerro de Chapultepec es uno de los puntos más elevados dentro de la Delegación Miguel Hidalgo, ya que se encuentra a 2280 m.s.n.m., marcando el inicio de las serranías que recorren desde el oeste hasta el sureste del Distrito Federal, separando el Valle de México y los Valles de Toluca y Morelos. La sierra de las Cruces es parte de este sistema, y de ella bajan la mayoría de los ríos que aún circulan en el Distrito Federal (INEGI, 2012). Actualmente los escurrimientos superficiales que se dan en esta zona son muy escasos, presentándose únicamente en las cañadas de la tercera sección durante las épocas de lluvias. Estas cañadas convergen en la porción norte del panteón de Dolores, donde se encuentra una pequeña presa (Guerrero, 1997). También existen dos cuerpos de agua artificiales dentro del Bosque de Chapultepec, conocidos como lago mayor y lago menor.

## **Datos Meteorológicos**

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica del PEMBU (Programa de Estaciones Meteorológicas de Bachilleratos Universitario), ubicada en la Escuela Nacional Preparatoria No. 4 (ENEP4) "Vidal Castañeda y Nájera" que se encuentra en Av. Observatorio No. 170. Col. Tacubaya. Del. Miguel Hidalgo. C.P. 11870. Esta estación se encuentra a aproximadamente a 950m de distancia de la estación de muestreo polínico de la REMA (figura 17). Se eligió esta estación, debido a que es la más cercana a la estación de muestreo de la REMA y es parte del Centro de Ciencias de la Atmósfera, de donde ambas forman parte. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: temperaturas media, máxima y mínima (°C), precipitación (mm), humedad relativa (expresada en %), velocidad media del viento (Km/h), y dirección de los vientos, expresada en la rosa de vientos, de acuerdo a sus grados en el plano.

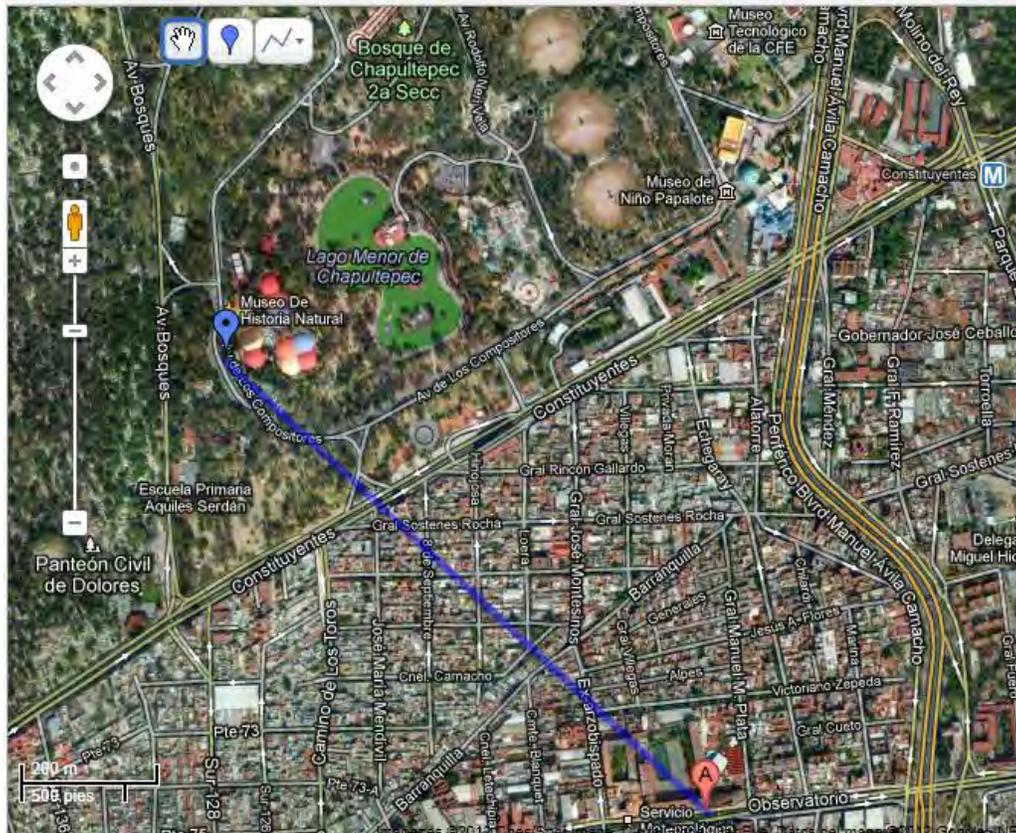


Figura 17. Mapa del muestreador y la estación meteorológica del PEMBU. El punto azul representa el Museo de Historia Natural, en el Bosque de Chapultepec. El punto rojo muestra la localización de la ENP 4, donde se encuentra la estación meteorológica del PEMBU de donde se obtuvieron los datos

## Métodos:

### Obtención del Calendario Polínico

#### **Muestreo de granos de polen de la atmósfera del Bosque de Chapultepec con la trampa de esporas tipo Hirst.**

La trampa de esporas tipo Hirst (7 day recording volumetric spore trap, figura 18) es una trampa volumétrica de succión, basada en el principio de impacto. La trampa succiona un volumen de aire de 10 L/min de manera continua (24 horas al día, los 365 días del año) por periodos de 7 días (Hirst, 1952, Burkard Manufacturing Co., Ltd, Manual del usuario).

Consta de un orificio de entrada de 14 x 2 mm y de un tambor sobre el que se impactan las partículas sobre una cinta de celofán tipo Melinex impregnada con solución de silicona y tetracloruro de carbono (la preparación de la silicona se muestra en el anexo 1). El tambor se fija

a un mecanismo de reloj que se mueve 2 minutos por hora, permitiendo el muestreo continuo de las partículas presentes en el aire. Cuenta con una veleta, que está unida a la estructura metálica, ayudando a mantener el orificio de entrada de aire en dirección del viento dominante, así como una bomba de vacío, que succiona 10L de aire por minuto. Ésta trampa de esporas se recomienda para coleccionar partículas de diámetro aerodinámico entre 3.5  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$  (Manufacturing Co., Ltd, Manual del usuario).

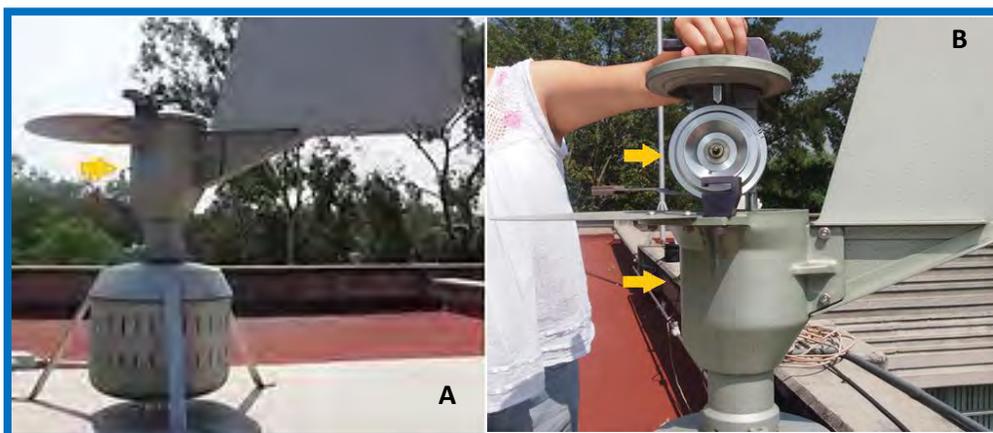


Figura 18. Trampa de esporas tipo Hirst (Burkard Manufacturing Co.). A) Muestreador. La flecha de la foto de la izquierda indica la boquilla. B) Cabezal del muestreador. Las flechas de la foto derecha indican la boquilla y el lugar de impacto en el tambor del muestreador.

La cinta de celofán con las aeropartículas impactadas se cambia cada 7 días y es llevada al laboratorio para su proceso. La cinta es colocada sobre una regla que permite dividirla en 7 segmentos de 48 mm de longitud (un segmento por día), cubriendo todos los días de la semana (figura 19).

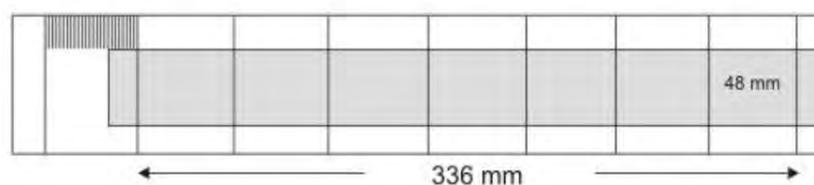


Figura 19. Corte y Montaje de la Cinta. Cinta de Melinex sobre la regla de metacrilato en la que se diferencian los 7 días de la semana (Galán *et al.* 2007).

### Montaje y Tinción de las muestras.

Se utilizó el medio de montaje y tinción que propone la Red Española de Aerobiología (Galán *et al.*, 2007), la cual debe reunir ciertas características como solubilidad en el agua, ser compatible con el adhesivo en uso, alta capacidad de penetración en las células para fomentar la hidratación y facilitar su conteo, una tinción selectiva, composición líquida con un índice de

viscosidad adecuado para un fácil manejo, y finalmente que permita el almacenamiento de larga duración del material.

Un medio de montaje que reúne éstas características es la glicerogelatina con Fucsina (anexo 1). Para la preparación de las muestras, se incubó la glicerogelatina a 60°C en “baño maría”, hasta que adquiriera un estado líquido. Se etiquetaron los portaobjetos con etiquetas blancas, indicando la clave que representa el sitio de muestreo, además de la fecha a la que corresponde la muestra. Con ayuda de una pipeta Pasteur, se trazó una delgada línea de glicerogelatina en el centro del portaobjetos etiquetado, seguido de esto, se sobrepuso la cinta de celofán de 48mm obtenida del muestreador, la disposición de la cinta debe ser de izquierda (principio) a derecha (fin), ya que éste es el orden en se leerá la muestra en el microscopio. Después se trazó una línea de glicerogelatina sobre un cubreobjetos, el cual se colocó sobre la cinta que se encontraba adherida al portaobjetos y se presionó un poco para eliminar los residuos, burbujas o evitar que la muestra quedara muy gruesa. Se dejó gelificar a temperatura ambiente, después se limpiaron los residuos con un algodón remojado en agua tibia. Una vez gelificadas las muestras, se sellaron los bordes de las laminillas con barniz transparente. Finalmente, las laminillas se observaban acorde a la figura 20.

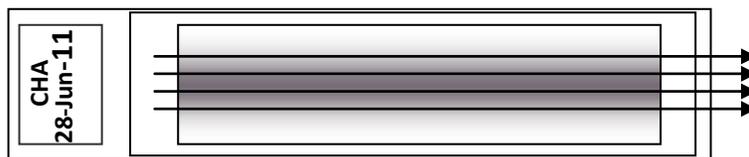


Figura 20. Laminilla montada y teñida de la estación de Chapultepec. Las flechas muestran los barridos que deben realizarse y el sentido en que se realizaron.

### **Conteo e identificación de tipos polínicos en el microscopio óptico a partir de cintas de celofán**

Una vez que la glicerogelatina de las laminillas gelificó por completo, se marcaron 4 puntos con un marcador sobre el portaobjetos, para indicar el punto de inicio de cada uno de los cuatro barridos que se realizaron (Las flechas de la figura 17 son imaginarias, solo representan el número de barridos y el sentido en el que se realizaron). La presencia de los granos de polen fue mucho más notoria, debido a que la fucsina los tiñe de color rosado debido a que es una tinción específica para el material vegetal. Esta tinción resaltó algunas estructuras polínicas, haciendo más factible su identificación. Los granos de polen fueron identificados en un microscopio óptico Olympus BX51 con ayuda de distintas claves dicotómicas y atlas polínicos, como el de Basset et al, 1978, Trigo et al., 2008, Smith, 2000, entre otros.

El registro del conteo de los granos de polen se realizó con ayuda de un software (Guerrero-Guerra, 2012) anexo 2-4. Los datos diarios de toda la semana se concentraron en una hoja de datos semanal, que contiene todos los granos de polen contados en la semana, diferenciados por día, además de los datos de la estación, las fechas de muestreo y el factor de corrección del microscopio con el que se leyeron las laminillas (anexo 4).

El factor de corrección para corregir los datos netos obtenidos del conteo, y establecer la concentración por  $m^3$  de aire, y se obtiene de la siguiente manera:

Se midió el campo de visión del microscopio a utilizar, en el objetivo de 40X, debido a que éste es el objetivo que se utiliza para realizar el conteo de los granos de polen contados en las laminillas. Considerando que el campo de visión tiene un diámetro de 0.45mm: El volumen de succión de la trampa de esporas tipo Hirst es de  $10L/m = 600 l/hora = 14400 l/día = 14.4 m^3$ .  
Diámetro medio del campo de visión al microscopio: 045 mm, se multiplica por el área que se leería en un barrido horizontal:  $48 mm \times 0.45 mm = 21.6 mm^2$   
Lo resultante del área leída en un barrido se multiplica por los 4 barridos en total, por laminilla, dando como resultado:  $21.6 \times 4 \text{ barridos} = 86.4 mm^2$

Superficie total muestreada =  $48 mm \text{ largo} \times 14 mm \text{ ancho} = 672 mm^2$

Contenido de partículas por metro cúbico de aire =  $(672 mm^2/86.4 mm^2) \times (1/14.4) \times N$

N = número de granos de polen en los cuatro barridos.

Contenido de partículas por metro cúbico de aire =  $N \times 0.54$

### **Análisis de los datos generados durante el muestreo:**

**Establecimiento del PPP (Periodo de Polinación Principal):** Éste se establece a partir de los conteos realizados en el microscopio, e indica el periodo que comprende la aparición, elevación y disminución de las concentraciones y desaparición de los granos de polen de los distintos tipos polínicos presentes en la atmósfera.

**Establecimiento del VID (Variación Intradiaria):** Se establece a partir de los resultados netos, obtenidos de forma horaria. Sólo se toman en cuenta los días más representativos estadísticamente, que se obtienen eliminando los días que corresponden al 2.5% inicial y final de lo producido en el año, así como los días con precipitación, para establecer un patrón en la distribución horaria de las concentraciones de polen a lo largo del día, sin que se vea afectada por las condiciones ambientales en un momento determinado.

**IPA (Índice Polínico Anual):** Es la sumatoria de la producción de todos los tipos polínicos presentes en la atmósfera durante un año, para después obtener el porcentaje que aportaron cada uno de estos tipos polínicos. Los que aportan más del 1% del total anual son los más importantes en cuanto a concentración se refiere.

**Relación con los datos meteorológicos:** Esta prueba se realizó, debido a que los cambios meteorológicos afectan la presencia o ausencia de los granos de polen suspendidos en la atmósfera, así como al periodo de floración de cada especie. El software utilizado para el análisis fue el SPSS 15.0 para Windows, realizando la correlación de los datos, con la correlación de Spearman. La correlación de las concentraciones polínicas en la atmósfera del Bosque de Chapultepec con respecto a los factores meteorológicos diarios, se realizó considerando el 1° de Octubre como el día de inicio del muestreo, ya que esta es la fecha de inicio del año hídrico. Para el estudio de las correlaciones entre los datos meteorológicos y las concentraciones de polen atmosféricos durante el periodo de muestreo, los datos se dividieron en dos grupos:

Prepico, que corresponde a la temporada de floración desde su inicio hasta la fecha donde se registre la máxima concentración de granos de polen registradas (pico máximo de concentración), y Postpico, que corresponde a la fecha durante la floración, después del pico máximo de concentración, hasta la fecha donde termina la temporada de floración.

**Datos Meteorológicos:** La data meteorológica de 2008-2012 fue obtenida de la ENP 4. La temperatura media (media, máxima y mínima), humedad relativa, precipitación y dirección de los vientos, fueron utilizadas para correlacionar con las concentraciones de granos de polen colectadas del aire durante el tiempo de muestreo.

La temperatura media mensual, donde se aprecia que los meses más cálidos fueron los meses de abril a agosto (18 -22 °C), con una disminución en las temperaturas durante los meses de septiembre a febrero (12-16 °C), siendo diciembre y enero los meses más fríos (figura 21).

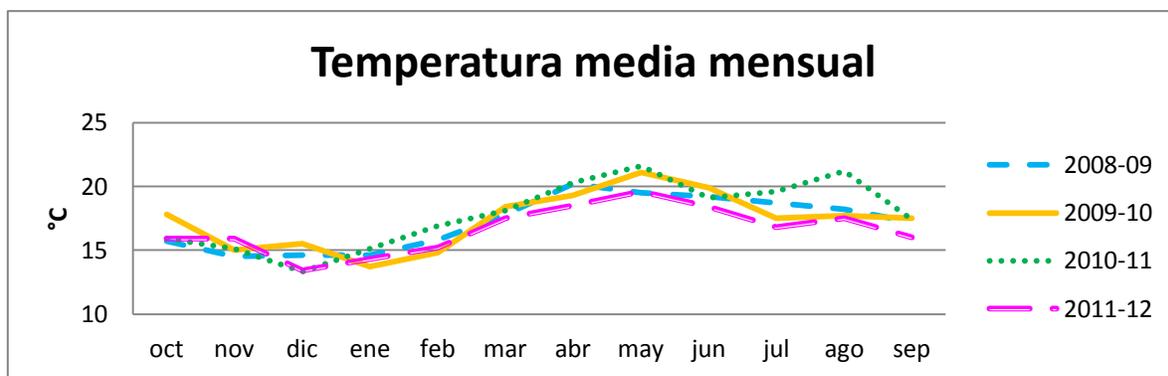


Figura 21. Temperatura media mensual de la estación ENP 4 de octubre 2008- septiembre 2012.

La temperatura máxima mensual en donde se observa las temperaturas más altas son durante los meses de marzo a agosto, ya que en septiembre se presentó un descenso de la temperatura hasta febrero, donde se observa un aumento paulatino de la temperatura, además se observa que el muestreo de 2010-2011 registró temperaturas más bajas que el resto de los años de muestreo (figura 22).

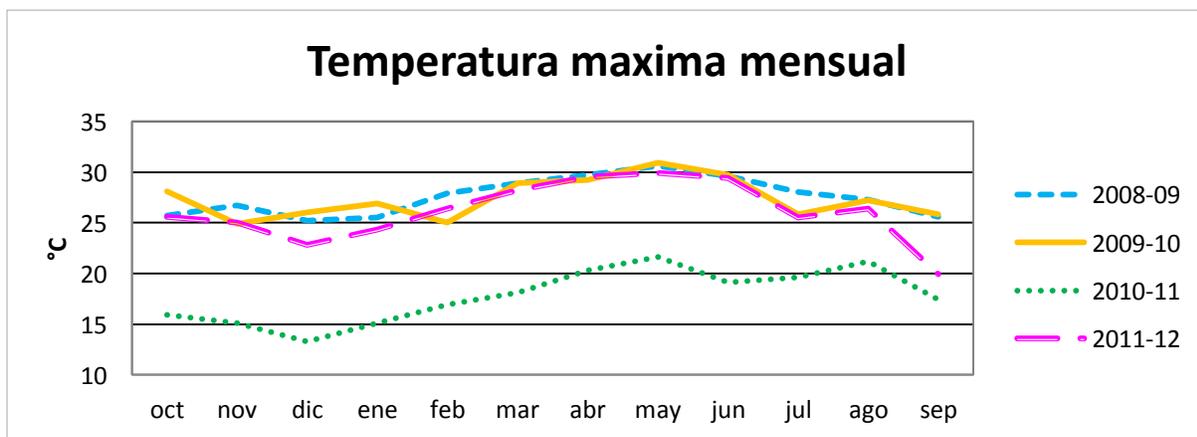


Figura 22. Gráfica de la temperatura máxima mensual de la estación ENP4 de octubre 2008- septiembre 2012

Las temperaturas mínimas mensuales que se presentaron durante el muestreo, donde se observa que las temperaturas más frías se presentaron de septiembre a febrero, y una temporada más cálida de marzo a agosto (figura 23).

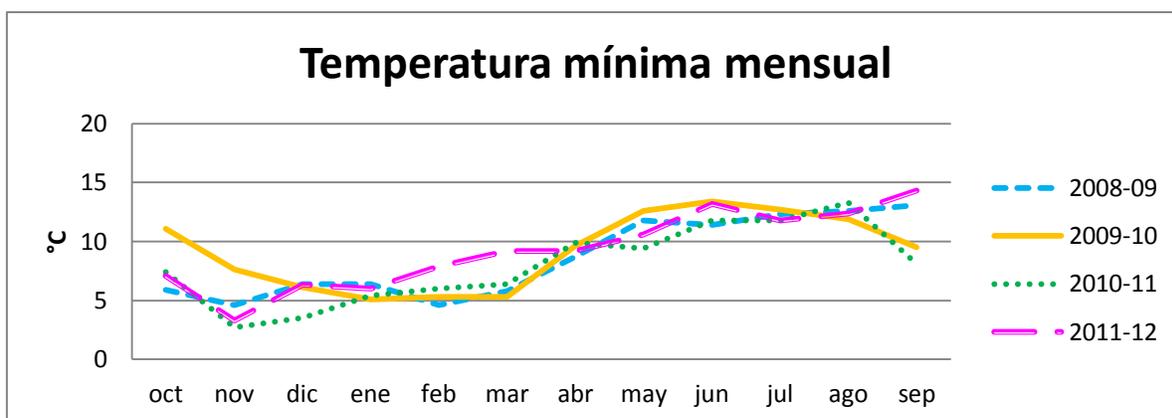


Figura 23. Temperatura mínima mensual durante el periodo de muestreo (octubre 2008- septiembre 2012)

### Precipitación

La precipitación, es un factor importante en la producción y desarrollo de los granos de polen. La temporada de lluvias es de junio a octubre y la temporada de secas es de noviembre a mayo, durante los cuatro años de muestreo (figura 24).

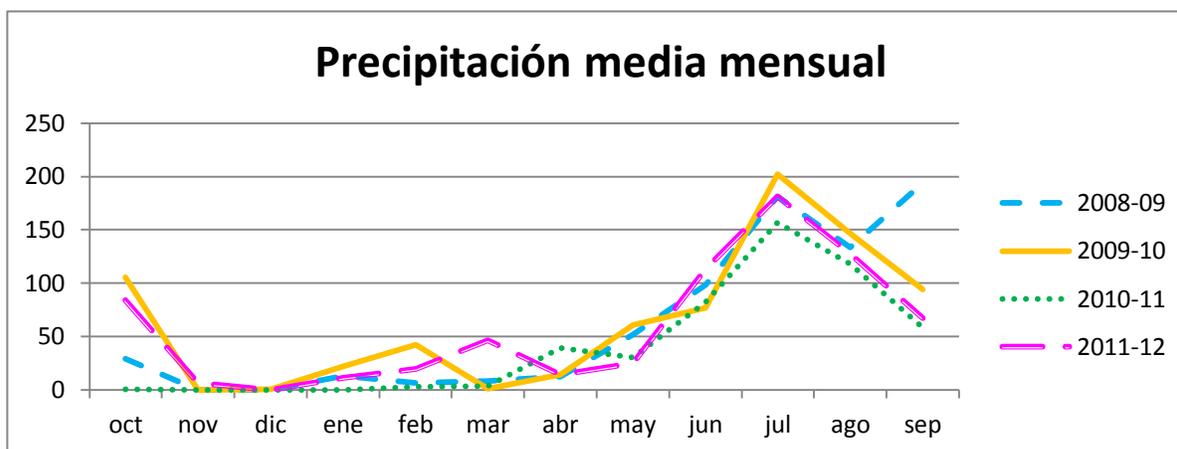


Figura 24. Media mensual de la precipitación que se presentaron durante el periodo de muestreo (octubre 2008- septiembre 2012)

### Humedad relativa

La humedad relativa es un factor que afecta la liberación de los granos de polen en la atmósfera, los meses con mayor humedad relativa fueron de junio a noviembre, cuando las lluvias tienen más presencia, y los meses con menor humedad son de noviembre a mayo (figura 25).

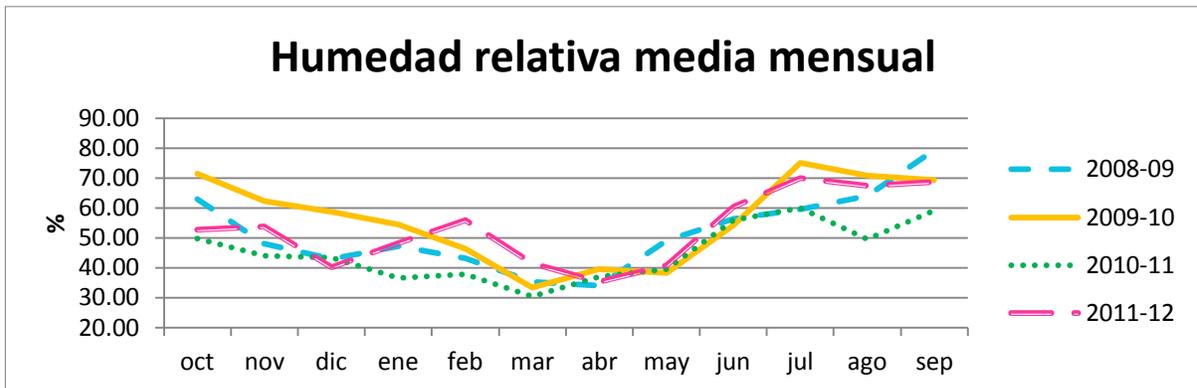


Figura 25. Media mensual de la humedad relativa que se presentaron durante el periodo de muestreo (octubre 2008- septiembre 2012)

## Vientos

Debido a que los granos de polen que se registran en la atmósfera son principalmente transportados por el viento, es necesario conocer la dirección dominante de los mismos, para relacionarlos con éstos y estimar la procedencia de algunos granos de polen presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. La rosa de vientos en el mapa del Bosque de Chapultepec, representa la velocidad y dirección de los vientos que se presentaron durante el muestreo. El centro de la rosa de vientos es la ubicación del muestreador, en el Museo de Historia Natural. La línea naranja representa la dirección del vector resultante, que corresponde a 350° representando el 45% de los vientos registrados.

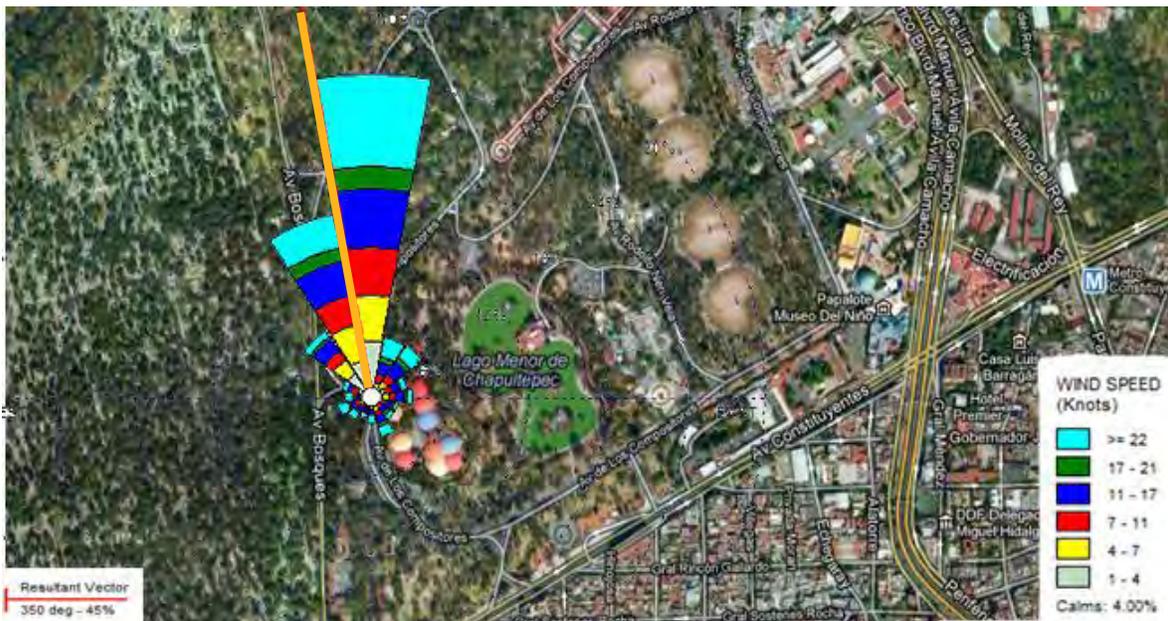


Figura 26. Rosa de vientos, donde se representan los vientos cada hora durante el periodo del muestreo (octubre 2008- septiembre 2012).

## Formación del Calendario Polínico

La construcción de los calendarios polínicos pueden iniciarse a partir de 4 años de muestreo, debido a que en dicho tiempo puede registrarse una tendencia real sobre el comportamiento de la vegetación y de las concentraciones de polen que se presentan en la atmósfera de una región, aunque es necesario continuar con el muestreo de forma continua, para poder comprender mejor su comportamiento, y a lo largo de los años, conocer los posibles cambios que éste presente. El modelo de calendario polínico presentado en este trabajo, está basado en el propuesto por Spieksma (1991), donde se transfieren los valores correspondientes a la media de lo registrado en bloques de 10 días. Al resultado de cada media se le da un valor dentro de los intervalos preestablecidos (figura 27).

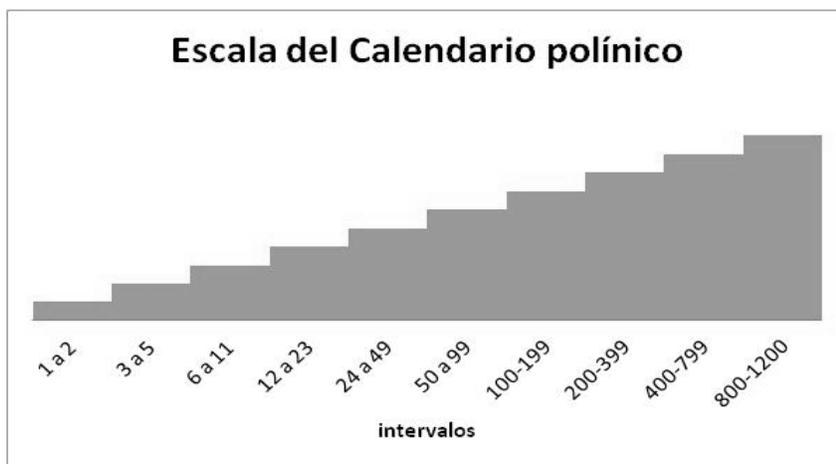


Figura 27. Escala del Calendario Polínico. Gráfica de los intervalos que representan las concentraciones de granos de polen en la atmósfera en un calendario polínico, con medias decenales (Recio, 1994)

## Muestreo para detección del aeroalergeno Fra e 1, principal alergeno de *Fraxinus*

**Muestreo con la trampa de esporas Ciclón multi-vial:** El muestreador Ciclón multi-vial (figura 28), es un muestreador de aeropartículas, que permite la colección de las mismas en tubos Eppendorf de 1.5ml, distribuidos en un carrusel, que tiene la opción de manejo manual y automático. Las partículas son colectadas por una boquilla que introduce un flujo de air de 16.5 L/m. El muestreo está dirigido por una veleta, lo que facilita que el muestreador se dirija con respecto a la dirección del viento dominante. Está diseñado para muestrear aeropartículas, por lo que se recomienda instalarla cerca de una estación meteorológica y poder relacionarlo con las variables meteorológicas. Trabaja con bajo consumo de energía lo que hace que sea posible operar a partir de paneles solares con ayuda de una batería, o conectado directamente a la corriente. El muestreo con el Ciclón multi-vial se realizó durante un año, a partir de enero de 2012. Cada vial concentró las aeropartículas colectadas de una semana, debido a que las pruebas realizadas previamente, indican que la cantidad de polvo colectado por día es muy poco.

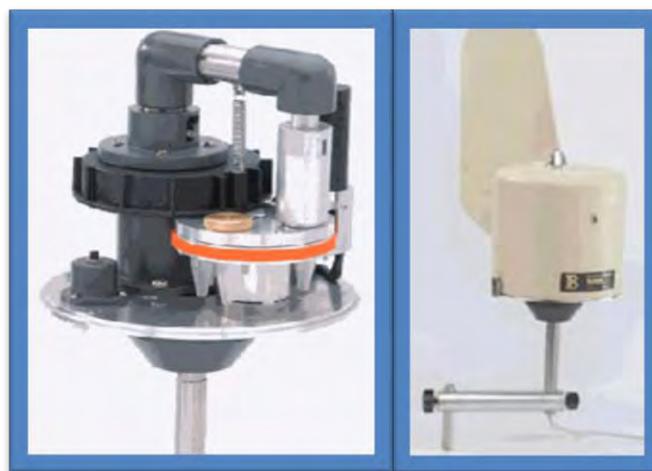


Figura 28. Muestreador multi-vial “Ciclón” (Burkard Manufacturing Co. Ltd)

**Muestreo con la Trampa Pasiva de Esporas (TPE):** La Trampa Pasiva de Esporas (PennState/UNAM) se utilizó para la recolección y monitoreo de las partículas que son acarreadas por el viento. Su mecanismo se basa en el impacto de dichas partículas sobre una superficie, de forma pasiva. En este caso, la superficie es un portaobjetos con una cinta de celofán tipo Melinex, que está impregnada con silicona diluida en tetracloruro de carbono (Anexo1). Esta trampa es un sistema tubular que en su interior cuenta con el portaobjetos donde se coleccionan las aeropartículas, dirigiendo el muestreo por una veleta según la dirección del viento, mientras se encuentra sostenido por un pedestal sujeto al suelo (figura 29).



Figura 29. Trampa Pasiva de Esporas. Penn State/UNAM (Scott Isard, Penn state)

La TPE de esporas original de S. Isard (Penn State), modificada por Meneses y Calderón, 2010, direcciona el muestreo de acuerdo a las corrientes de aire que acarrear a las partículas, impactándose éstas sobre el portaobjetos. La trampa se deja funcionando durante 7 días. Posteriormente, la laminilla es desmontada y transportada al laboratorio para su análisis. La duración del muestreo con éste método fue de 1 año (enero a diciembre 2012). Cada muestra corresponde al muestreo continuo durante una semana (de lunes a domingo), cambiado los lunes a medio día. Cada muestra se etiquetó con fecha y localidad, para después ser almacenadas a 4°C, hasta su procesamiento.

## **Detección proteica de aeropartículas**

### **Extracción de proteínas de granos de polen de *Fraxinus* spp. obtenidos directamente de la planta.**

El extracto se realizó con 500 mg de polen de *Fraxinus* spp. en 5ml de PBS y 50 µl de cocktail inhibidor de proteasas (Roche), esta mezcla se mantuvo en agitación a 4°C toda la noche posteriormente, ésta se centrifugó a 10 000 RPM/ 10 min. y se recuperó el sobrenadante. Este proceso se realizó de nuevo, recuperando el sobrenadante, el cual fue centrifugado a 12 000 g/ 25 min en un centrífugo (10 Kd, Millipore®) para (modificado de Gunawan *et al.*, 2008).

### **Caracterización del extracto de polen**

**Determinación de proteína.** Se determinó la concentración proteica de la fracción soluble del extracto por el método de con ácido bincinónico (BCA) Este método colorimétrico tiene sensibilidad de detección de 0.5 – 10 µg de proteínas.

Se analizaron muestras de extracto proteico de polen fresco y con dos inhibidores de proteasas distintos, PMFS (fluoruro de fenilmetilsulfonilo) y Cocktail de inhibidores de proteasas complete EDTA-free (Roche), en una placa de ELISA de fondo plano, donde se agregaron en cada pozo (por triplicado): se leyó en el lector de ELISA, a 570 nm, así como por el método de Bradford. La curva de calibración se realizó con BSA/PBS

**Caracterización electroforética del extracto de *Fraxinus* spp.** Para determinar los componentes y los pesos moleculares de las distintas fracciones que componen el extracto del polen de *Fraxinus* spp., se realizó análisis electroforéticos del extracto en un sistema SDS-PAGE (electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecilsulfato sódico), con un gel desnaturante de proteínas al 10% durante 3 horas/ 80 Volts/ 100 MAPs. Se utilizó un marcador de peso molecular de amplio espectro (200- 21.5 Kd) (Biorad, USA). Las proteínas del gel se tiñeron con azul de coomassie R250 (.25%).

**Electroforesis bi-dimensional de extracto proteico de *Fraxinus* spp.** Se realizó una electroforesis bidimensional, de acuerdo al manual de Amersham Biosciences (Görg, 2004), con 100 µg de proteína del extracto de polen (como se describió previamente), para separar las proteínas que componen al extracto por su punto isoeléctrico (en la primera dimensión) y peso molecular (en la segunda dimensión).

Para la primera dimensión se utilizaron anfólicas con un gradiente de pH 3-10 y se agregaron 100 µg de la muestra, finalmente, se adicionaron 3 ml de aceite mineral para evitar que se evapore y/o cristalice la urea de la solución rehidratadora y se dejaron incubando toda la noche a temperatura ambiente. Las tiras se insertaron posteriormente en el sistema Multiphor II (Amersham Biosciences) y se realizó el corrimiento en 3 fases: 200 V/ 1 min, 3500 V/ 1.30 hrs con 2.8 KVh y finalmente 3500 V/ 1 hr con +/- 2.8 KVh.

Inmediatamente después de haber terminado la 1ª dimensión, se realizó la segunda dimensión en electroforesis vertical en un gel de poliacrilamida 10%. La tira de gel separada por punto isoeléctrico, se equilibró sumergiéndola por 15 min en amortiguador con urea, glicerol, SDS, DTT, Yodoacetamida y azul de bromofenol. Se agregaron los pesos moleculares de amplio espectro (1 µl) en un papel filtro, que se colocó en el extremo superior izquierdo del gel, mientras que la tira de gel se colocó sobre el gel, con espacio de 1 cm entre los pesos moleculares y el inicio de la tira (para evitar contaminaciones) la dirección de la tira corresponde al gradiente de pI (3-10) de izquierda a derecha. Las condiciones de corrimiento fueron en 3 etapas: 25 V/1h, 50 V/1h, 80 V/45 min, todo a 100 MAPs. Finalmente los geles se tiñeron con azul de coomassie (0.1%) y otros se transfirieron a una membrana de nitrocelulosa, de acuerdo al método señalado para la inmunotransferencia para ser revelado con los anticuerpos policlonales de conejo, por Western-Blot.

**Inmunotrasferencia (Western-Blot).** Para detectar proteínas inmunogénicas en el extracto de *Fraxinus*, se realizó un Western-Blot (inmunotrasferencia), que consiste en la separación de las proteínas de una muestra por su peso y carga (esta separación se llevó a cabo durante la electroforesis anterior), las proteínas ya separadas en el gel, se transfieren a una membrana de nitrocelulosa o una membrana de fluoruro de polivilideno (PVDF) en una cámara de transferencia trans-Blot SD semiseca (Bio-Rad), como se indica en la figura 24. Las condiciones a las que se transfirió, fueron 25 Volts/100 MAPs durante 1 h, seguido de los pasos enumerados a continuación (De la Fuente *et al.*, 2007):

Una vez transferida la membrana, para comprobar que la transferencia se realizó correctamente, se tiñó con rojo de ponceau. Los pesos moleculares se separaron para teñirlos con amido negro. Finalmente, la membrana se destiñó con agua destilada. Para impedir uniones inespecíficas de los anticuerpos utilizados en las pruebas, las membranas transferidas se bloquearon, incubándolas a 37°C durante una hora, en una solución de leche desnatada y deshidratada (svelty- PBS) al 5%. Posteriormente, se realizaron lavados con PBS-tween 1% y 2 con PBS, cada uno de 5min.

Las proteínas inmovilizadas en la membrana, fueron detectadas por anticuerpos o lectinas que reconocen azúcares específicos en proteínas, uniéndose a las proteínas que contengan estos azúcares. Posteriormente, se realizaron un lavado con PBS-tween 1% y 2 con PBS, cada uno de 5min. La detección de la reacción de los anticuerpos o las lectinas se realizó con anticuerpos secundarios, anticonejo o estreptavidina, ambos unidos a peroxidasa, para ser revelados con diaminobenzidina.

**Determinación de glicoproteínas con lectinas.** Se realizó el revelado de las proteínas transferidas del extracto de *Fraxinus*, con distintas lectinas como la Concanavalina A (ConA, específica por manosa o glucosa) y obtenida de *Canavalina ensiformis*. También se utilizó la WGA: Es una lectina que se obtiene del germen de trigo *Triticum vulgare*, específica para GlcNAc (Sigma). Ambas se incubaron por 1 hora a 37°C y posteriormente se realizaron dos lavados con PBS-tween 1% y uno con PBS, cada uno de 5min

**Determinación de la actividad enzimática del extracto.** Se midió la actividad enzimática del extracto, de acuerdo al método modificado de Zuo y Woo (1997) con azul de azure (Sigma, HPA, hide powder azure).

Se probaron dos inhibidores de proteasas, los cuales se agregaron al momento de realizar la extracción. Para saber la cantidad adecuada de inhibidor de proteasas a utilizar, se realizó un conteo de los granos de polen que existen en 1 mg de granos de polen de *Fraxinus* spp. realizando diluciones y contando en la cámara de Nuebauer (anexo 6):

- PMSF (fluoruro de fenilmetilsulfonilo), es inhibidor de serin-proteasas, preservando proteínas celulares de su digestión por proteasas. Aunque actúa específicamente sobre proteasas de serina, no inhibe todas las enzimas conocidas de este tipo. Se descompone rápidamente en agua (vida media de 110 min a pH 7 y 35 min a pH 82).
- Coctail inhibidor de proteasas libre de EDTA (Roche)

A 100 µg de proteína de cada uno de los extractos, se agregaron 5 mg de HPA llevándolas a un volumen final de 100 µl con PBS. Se incubó por 2 hrs a 37°C y se leyó a 570 nm.

**Producción de Anticuerpos Policlonales.** Se utilizaron 2 mg de polen de *Fraxinus* para llevar a cabo la extracción de proteínas. Para romper los granos de polen, se introdujeron en un tubo eppendorf de 1.5 ml con tapa de rosca, que contenían 0.2 g de perlas de vidrio (400–455 µm de diámetro), se agregó 1 ml de urea 8M y 500 µl de cocktail inhibidor de proteasas. Los tubos se metieron al Fast-Pep con 8 ciclos, cada uno a una velocidad de 6 m/s durante 45 seg con un periodo intermedio de 2 min de incubación en hielo para evitar calentamiento.

**Inmunización del conejo.** Se utilizó un conejo Nueva Zelanda, hembra de aproximadamente 3 meses de edad y un peso de 2.1 kg. Se realizó una sangría previa a la inmunización, que se utilizó como blanco. Para la inmunización se utilizó el botón del extracto total precipitado con TCA, el cual se resuspendió en 200 µl urea 4M y 200 µl de adyuvante de Freund completo (las primeras dos ocasiones) e incompleto (las siguientes inmunizaciones).

Se inmunizaron dos ocasiones más y 10 días después de la 3era inmunización se realizó una sangría donde se colectaron 50 ml de sangre, se almacenó a 4 °C y al día siguiente se recuperó el suero y se centrifugo a 12 000 RPM durante 10 min para eliminar las células y recuperar el suero con los anticuerpos. Se almacenaron a -20 °C hasta su uso. Las inmunizaciones consecutivas fueron con el adyuvante incompleto de Freund y se sangró el conejo a los 10 días, siguiendo el procedimiento ya mencionado.

Se utilizó un conejo Nueva Zelanda, hembra de aproximadamente 3 meses de edad y un peso de 2.1 kg. Se realizó una sangría previa a la inmunización, que se utilizó como blanco. Para la inmunización se utilizó el botón del extracto total precipitado con TCA, el cual se resuspendió en 200 µl urea 4M y 200 µl de adyuvante de Freund completo (las primeras dos ocasiones) e incompleto (las siguientes inmunizaciones).

Se inmunizaron dos ocasiones más y 10 días después de la 3era inmunización se realizó una sangría donde se colectaron 50 ml de sangre, se almacenó a 4 °C y al día siguiente se recuperó el suero y se centrifugo a 12 000 RPM durante 10 min para eliminar las células y recuperar el suero

con los anticuerpos. Se almacenaron a -20 °C hasta su uso. Para las inmunizaciones consecutivas, se utilizó adyuvante incompleto de Freund y se sangró el conejo a los 10 días, siguiendo el procedimiento ya mencionado. El suero obtenido del conejo inmunizado con extracto total de *Fraxinus*, fue titulado con el fin de determinar la concentración óptima para la utilización de los anticuerpos producidos en el suero, además de comprobar que el conejo no presentaba reacción a la presencia de *Fraxinus* antes de la inmunización. Se siguió el método según lo reportado por Friguet *et al.*, 1985.

En placas NUNC de poliestireno de 96 pozos, se colocaron 50 µl de antígeno, disuelto en amortiguador de carbonatos pH 9.5 y se incubó durante toda la noche a 4°C y al día siguiente a 37°C/1h. Posteriormente, se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS y se bloqueó con PBS-Leche 5% a 37°C/90 min, nuevamente se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS. Se añadió 50 ml del suero de conejo (suero preinmune (S0), a los 10 días (S1) y 10 días después de la 3a inmunización (S2)), en distintas diluciones ( de 1:50 a 1:5000), se incubó a 37°C 90 min, se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS y se incubó con el anticuerpo secundario anti-IgG de conejo marcado con peroxidasa a 37°C 90 min, se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS y se agregaron 50 µl del sustrato (o-fenilendiamina en citratos pH 5.6 y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). La reacción se llevó a cabo durante 23 min, en la obscuridad y se determinó a 490 nm en un lector de ELISA. Se utilizaron controles de antígeno (extracto de polen), anticuerpos primario (suero de conejo 1:50) y secundario (anti-IgG de conejo marcado con peroxidasa), a los que se les agregó 50 µl del sustrato, para comprobar que no hubieran falsos positivos.

**Detección de las proteínas inmunogénicas del extracto de polen, con anticuerpos policlonales de conejo, por Western-Blot.** Se realizó una separación electroforética del extracto proteico, en un gel de poliacrilamida 10%, durante +/- 3 hrs, 60 V y 100 MAPs, con este gel se realizó una inmunotransferencia (de acuerdo al método citado anteriormente), la cual reveló con los anticuerpos obtenidos en el suero del conejo inmunizado con extracto total de fresno. Posteriormente la transferencia se bloqueó con leche-PBS 5%, se incubó toda la noche a 4°C (lavados: 3 PBS-Tween - 3 PBS/ 5min cada uno) y se realizó la incubación con el suero de conejo a diferentes diluciones (1:100 y 1:300, se incubó a 37°C/1:30 hrs con lavados con PBS-Tween y 3 PBS/ 5min. Finalmente el revelado se realizó con diaminobenzidina: se sumerge unos segundos e inmediatamente se sumerge en agua para detener la reacción.

**Detección de las proteínas inmunogénicas del extracto de polen, con anticuerpos policlonales de conejo, por la prueba de ELISA.** Las muestras obtenidas de muestrear el aire, ya sea con el ciclón (Burkard, UK), o con la trampa pasiva de esporas, fueron utilizadas para realizar la detección de las proteínas inmunogénicas para el suero del conejo inmunizado con *Fraxinus*, siguiendo el método citado anteriormente (Friguet *et al.*, 1985.). Cada prueba se realizó por triplicado. Las muestras se resuspendieron en amortiguador de carbonatos pH 9.5 y se colocaron en placas NUNC de poliestireno de 96 pozos, e incubaron durante toda la noche a 4°C y al día siguiente a 37°C/1h y se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS. Posteriormente se bloqueó con PBS-Leche 5% incubando a 37°C/1:30 h y se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS. Se añadió 50 ml del suero de conejo inmune (dilución 1:500), se incubó a 37°C/1:30 h y se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS. Finalmente se añadió el 2° anticuerpo (anti-IgG de conejo marcado con peroxidasa y se incubó a 37°C/1:30, se lavó 4 veces con PBS-Tween 0.01% y 2 veces con PBS. Finalmente, se adhirieron 50 µl del sustrato

(o-fenilendiamina y amortiguador de Citratos pH 5.6 y  $H_2O_2$ ). Permitiendo que la reacción se llevara a cabo por 23 min en la oscuridad, y se determinó la absorbancia a 490 nm en un lector de ELISA. Se utilizaron controles de antígeno (muestra si fecha), anticuerpos primario (suero de conejo 1:500) y secundario (anti-IgG de conejo marcado con peroxidasa), a los que se les agregó 50  $\mu$ l del sustrato, para comprobar que no hubieran falsos positivos.

# Resultados

## Tipos polínicos registrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec

Se identificaron 53 tipos polínicos en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, a partir de las muestras obtenidas con la Trampa de Esporas tipo Hirst. Estos tipos polínicos corresponden a la vegetación de la zona (anexo 5). La mayor diversidad se mostró en los árboles, ya que en algunos casos es posible identificarlos hasta especie, sin embargo, la diversidad polínica de herbáceas es mucho menor, ya que en algunos casos, como la de las *Amaranthaceae* o los pastos, sólo es posible realizar la identificación hasta grupo o familia. En las tablas 3 y 4, se muestra la diversidad de tipos polínicos identificados, dividiéndolos en dos grupos, Árboles y arbustos, así como herbáceas.

Tabla 3. Tipo polínicos de árboles y arbustos identificados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec

Árboles y Arbustos		
<i>Acacia</i>	<i>Fagus</i>	<i>Pinus</i>
<i>Acer</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Platanus</i>
<i>Alnus</i>	<i>Gingko biloba</i>	<i>Populus</i>
<i>Apiaceae</i>	<i>Greviella robusta</i>	<i>Quercus</i>
<i>Buddleia</i>	<i>Juglans</i>	<i>Ricinus</i>
<i>Carpinus</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Salix</i>
<i>Carya</i>	<i>Liquidambar</i>	<i>Schinus</i>
<i>Casuarina</i>	Moraceae	<i>Tamarix</i>
<i>Celtis</i>	Mimosaceae	<i>Tilia</i>
<i>Citrus</i>	Myrtaceae	<i>Ulmus</i>
<i>Corylus</i>	<i>Olea</i>	
Cupressaceae	<i>Palmae</i>	

Tabla 4. Tipos polínicos de herbáceas identificados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec

Herbáceas		
<i>Ambrosia</i>	Lactuceae (Compuesta)	<i>Rumex</i>
<i>Artemisia</i>	<i>Senecio</i> (Compuesta)	Solanaceae
Brassicaceae	<i>Daphne</i>	Urticaceae
Amaranthaceae	Ericaceae	
<i>Cannabis</i>	<i>Echium</i>	
Anthemideae (Compuesta)	<i>Mercurialis</i>	Poaceae (Pastos)
<i>Helianthus</i> (Compuesta)	<i>Plantago</i>	Thyphaceae

## Índice Polínico Anual (IPA)

El índice polínico anual, se tomó en cuenta a partir del mes de Octubre (1° de octubre), ya que esta fecha se considera el inicio del año hídrico. El IPA total que presentó el Bosque de Chapultepec durante los periodos de muestreo Para el periodo octubre 2008 a septiembre 2009 fue de **41 733**, con los tipos polínicos enlistados en la tabla 5. Siendo los árboles, los tipos polínicos con mayor concentración a lo largo del periodo de muestreo.

Tabla 5. Tipos polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante octubre 2008- septiembre 2009

Tipo polínico	IPA	%	Tipo polínico	IPA	%
<i>Fraxinus</i>	16248	38.93	<i>Mercurialis</i>	13	0.03
Cupressaceae	11879	28.46	<i>Acacia</i>	11	0.03
<i>Alnus</i>	2924	7.01	<i>Palmae</i>	8	0.02
Poaceae	2234	5.35	Anthemidae (Compuesta)	7	0.02
<i>Pinus</i>	1240	2.97	<i>Juglans</i>	5	0.01
<i>Casuarina</i>	1046	2.51	<i>Platanus</i>	5	0.01
Myrtaceae	1007	2.41	Solanaceae	5	0.01
<i>Quercus</i>	785	1.88	Aceraceae	4	0.01
Urticaceae	675	1.62	Lactucaeae (Compuesta)	2	0.00
<i>Ulmus</i>	627	1.50			
<i>Ligustrum</i>	397	0.95			
<i>Morus</i>	394	0.94			
<i>Schinus</i>	384	0.92			
<i>Rumex</i>	302	0.72			
Amaranthaceae	275	0.66			
<i>Populus</i>	182	0.44			
<i>Ambrosia</i>	181	0.43			
Helianthus (Compuesta)	119	0.29			
<i>Corylus</i>	86	0.21			
<i>Artemisia</i>	81	0.19			
Rosaceae	73	0.17			
<i>Gingko biloba</i>	71	0.17			
<i>Plantago</i>	71	0.17			
<i>Ricinus</i>	59	0.14			
Senecio (Compuesta)	52	0.12			
<i>Salix</i>	48	0.12			
<i>Citrus</i>	46	0.11			
Oleaceae	37	0.09			
<i>Fagus</i>	33	0.08			
<i>Buddleia</i>	30	0.07			
<i>Liquidambar</i>	29	0.07			
<i>Carya</i>	21	0.05			
<i>Tilia</i>	19	0.05			
<i>Tamarix</i>	18	0.04			

Para el periodo comprendido de octubre 2009 a septiembre 2010, el IPA total fue de **104 992**, con los tipos polínicos enlistados en la tabla 6. Durante este año, la mayoría de los tipos polínicos que superaron el 1% de la producción total anual fueron árboles, además de los pastos con 2.39 %.

Tabla 6. Tipos polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante el 2° año de muestreo (octubre 2009 a septiembre 2010)

Tipo polínico	IPA	%	Tipo polínico	IPA	%
<i>Fraxinus</i>	<b>45883</b>	<b>43.70</b>	Aceraceae	48	.05
<b>Cupressaceae</b>	<b>30905</b>	<b>29.44</b>	Mimosa	39	0.04
<i>Quercus</i>	<b>5718</b>	<b>5.45</b>	<i>Celtis</i>	38	0.04
<i>Pinus</i>	<b>4383</b>	<b>4.17</b>	<i>Juglans</i>	25	0.02
<i>Alnus</i>	<b>4065</b>	<b>3.87</b>	<i>Mercurialis</i>	19	0.02
<b>Poaceae</b>	<b>2513</b>	<b>2.39</b>			
<i>Casuarina</i>	<b>2135</b>	<b>2.03</b>			
<b>Myrtaceae</b>	<b>1707</b>	<b>1.63</b>			
<i>Ligustrum</i>	813	0.77			
<i>Schinus</i>	690	0.66			
<i>Morus</i>	671	0.64			
Urticaceae	614	0.58			
Rosaceae	585	0.56			
Amaranthaceae	556	0.53			
<i>Ambrosia</i>	319	0.30			
<i>Citrus</i>	275	0.26			
<i>Ricinus</i>	250	0.24			
<i>Ulmus</i>	242	0.23			
<i>Salix</i>	236	0.22			
<i>Corylus</i>	204	0.19			
<i>Populus</i>	184	0.18			
Senecio (Compuesta)	181	0.17			
<i>Rumex</i>	172	0.16			
Anthemidae (Compuesta)	167	0.16			
<i>Plantago</i>	139	0.13			
<i>Fagus</i>	131	0.12			
Helianthus (Compuesta)	115	0.11			
<i>Tamarix</i>	103	0.10			
<i>Liquidambar</i>	100	0.10			
<i>Tilia</i>	98	0.09			
<i>Buddleia</i>	97	0.09			
Oleaceae	82	0.08			
<i>Carya</i>	77	0.07			
Brassicaceae	70	0.07			
<i>Palmae</i>	69	0.07			
Thyphaceae	68	0.06			
Gingko biloba	67	0.06			
<i>Artemisia</i>	65	0.06			
<i>Platanus</i>	50	0.05			

Para el periodo comprendido de octubre 2010 - septiembre 2011, el IPA total fue de **84 951**, con los un listado de los tipos polínicos encontrados en la tabla 7. Durante este año, se presentó menor diversidad polínica en la atmósfera, y disminuyó la cantidad de tipos polínicos que superaron el 1%. Fraxinus aportó el 52.78 % de la producción total anual.

Tabla 7. Tipos polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante el 3er periodo de muestreo (octubre 2010 a septiembre 2011)

Tipo polínico	IPA	%	Tipo polínico	IPA	%
<i>Fraxinus</i>	<b>44839</b>	<b>52.78</b>	Castaneae	20	0.02
<b>Cupressaceae</b>	<b>24524</b>	<b>28.87</b>	<i>Celtis</i>	17	0.02
<i>Alnus</i>	<b>4092</b>	<b>4.82</b>			
<i>Casuarina</i>	<b>1624</b>	<b>1.91</b>			
<b>Poaceae</b>	<b>1562</b>	<b>1.84</b>			
<i>Pinus</i>	<b>1128</b>	<b>1.33</b>			
<b>Myrtaceae</b>	<b>992</b>	<b>1.17</b>			
<i>Quercus</i>	830	0.98			
Urticaceae	655	0.77			
<i>Schinus</i>	562	0.66			
<i>Morus</i>	558	0.66			
<i>Corylus</i>	373	0.44			
Amaranthaceae	348	0.41			
<i>Ligustrum</i>	302	0.36			
Rosaceae	234	0.28			
<i>Ambrosia</i>	218	0.26			
<i>Salix</i>	203	0.24			
Senecio (Compuesta)	168	0.20			
Anthemidae (Compuesta)	158	0.19			
<i>Populus</i>	144	0.17			
Helianthus (Compuesta)	142	0.17			
<i>Buddleia</i>	107	0.13			
<i>Palmae</i>	97	0.11			
<i>Fagus</i>	91	0.11			
<i>Ricinus</i>	90	0.11			
<i>Citrus</i>	87	0.10			
<i>Rumex</i>	79	0.09			
Brassicaceae	69	0.08			
<i>Carya</i>	68	0.08			
<i>Plantago</i>	61	0.07			
<i>Ulmus</i>	57	0.07			
<i>Tamarix</i>	57	0.07			
Oleaceae	48	0.06			
<i>Gingko biloba</i>	47	0.06			
<i>Artemisia</i>	46	0.05			
Thyphaceae	38	0.04			
<i>Platanus</i>	34	0.04			
<i>Liquidambar</i>	33	0.04			
<i>Tilia</i>	31	0.04			
Aceraceae	26	0.03			

Para el periodo comprendido de octubre 2011 a septiembre 2012, el IPA total fue de **90 112**, con los tipos polínicos enlistados en la tabla 8. En este año, hubo 10 tipos polínicos que superaron el 1% de la producción total anual, donde 9 corresponden a árboles y arbustos, mientras que los pastos fueron las únicas herbáceas, aportando el 1.26 % del IPA.

Tabla 8. Tipos Polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante el 4° periodo de muestreo (octubre 2011- septiembre 2012)

<b>Tipo polínico</b>	<b>IPA</b>	<b>%</b>	<b>Tipo polínico</b>	<b>IPA</b>	<b>%</b>
<b>Cupressaceae</b>	<b>38584</b>	<b>42.82</b>	Lactuceae (Compuesta)	7	0.01
<b>Fraxinus</b>	<b>26354</b>	<b>29.25</b>	<i>Acacia</i>	6	0.01
<b>Alnus</b>	<b>4752</b>	<b>5.27</b>	<i>Jacaranda</i>	4	0.00
<b>Pinus</b>	<b>4660</b>	<b>5.17</b>	Solenaceae	3	0.00
<b>Quercus</b>	<b>3151</b>	<b>3.50</b>	Ericaceae	3	0.00
<b>Casuarina</b>	<b>1995</b>	<b>2.21</b>	<i>Greviella Robusta</i>	1	0.00
<b>Myrtaceae</b>	<b>1794</b>	<b>1.99</b>			
<b>Ligustrum</b>	<b>1184</b>	<b>1.31</b>			
<b>Poaceae</b>	<b>1135</b>	<b>1.26</b>			
<b>Rosaceae</b>	<b>918</b>	<b>1.02</b>			
<i>Schinus</i>	881	0.98			
Moraceae	831	0.92			
Urticaceae	628	0.70			
Amaranthaceae	380	0.42			
<i>Ambrosia</i>	372	0.41			
<i>Senecio</i> (Compuesta)	261	0.29			
<i>Salix</i>	202	0.22			
<i>Corylus</i>	158	0.18			
<i>Liquidambar</i>	131	0.15			
<i>Helianthus</i> (Compuesta)	130	0.14			
Anthemidae (Compuesta)	125	0.14			
<i>Ricinus</i>	123	0.14			
<i>Rumex</i>	118	0.13			
<i>Populus</i>	98	0.11			
<i>Fagus</i>	97	0.11			
<i>Plantago</i>	90	0.10			
<i>Buddleia</i>	89	0.10			
<i>Ulmus</i>	87	0.10			
Oleaceae	82	0.09			
Palmae	78	0.09			
<i>Citrus</i>	76	0.08			
<i>Carya</i>	66	0.07			
Brassicaceae	58	0.06			
<i>Artemisia</i>	46	0.05			
<i>Tilia</i>	44	0.05			
Thyphaceae	42	0.05			
Aceraceae	42	0.05			
<i>Gingko biloba</i>	36	0.04			
Mimosaceae	36	0.04			
<i>Platanus</i>	34	0.04			
<i>Celtis</i>	32	0.04			
<i>Tamarix</i>	31	0.03			
<i>Juglans</i>	25	0.03			
Castaneae	24	0.03			
<i>Mercurialis</i>	8	0.01			

Durante el muestreo, *Fraxinus* fue uno de los tipos polínicos con más presencia en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. Tomando en cuenta que este género es el mejor representado en la zona, además del transporte de los granos de polen estrictamente anemófilo. Del resto de los tipo polínicos que superaron durante los tres años de muestreo el 1% de lo captado en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, fueron: Cupressaceae, *Alnus*, *Casuarina*, Poaceae, *Pinus* y Myrtaceae.

### Variación estacional

Durante los cuatro años de muestreo, las variaciones en las concentraciones de granos de polen en la atmósfera muestran distintos ciclos donde se observa un claro aumento durante los meses de noviembre a mayo (figura 25).

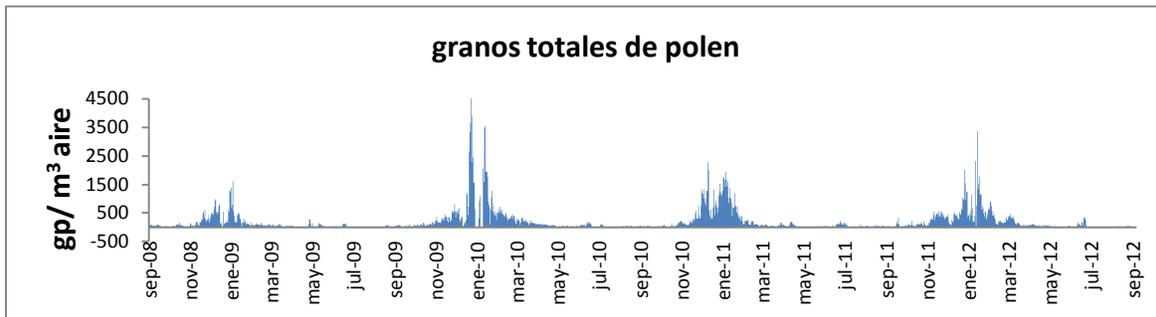


Figura 25. Variación estacional de los granos de polen totales presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. Periodo de muestreo de septiembre 2008- septiembre 2012

Los árboles se identificaron como la principal fuente de los granos de polen en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, debido a que las concentraciones de polen totales son muy similares a las concentraciones de polen de árboles. En 4 años de muestreo se registraron las mayores concentraciones durante los meses de noviembre a abril, con las mayores concentraciones en el mes de enero (figura 26).

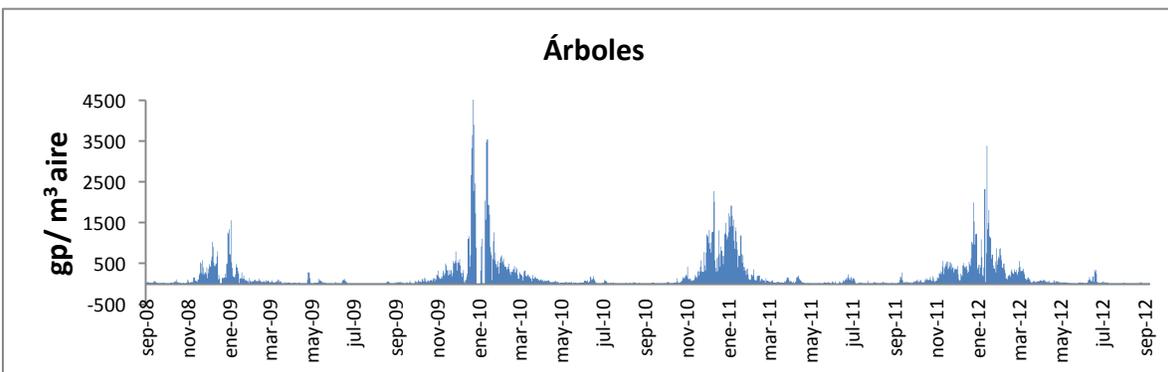


Figura 26. Variación estacional de los granos de polen de árboles presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. Muestreo de septiembre 2008-septiembre 2012.

Las concentraciones de granos de polen atmosférico de herbáceas fueron menores al total, a pesar de presentarse todo el año, su comportamiento fue distinto a las concentraciones

totales (figura 27). Esta distribución se atribuye a las distintas familias y especies que se encuentran en este grupo, que tienen una baja población.

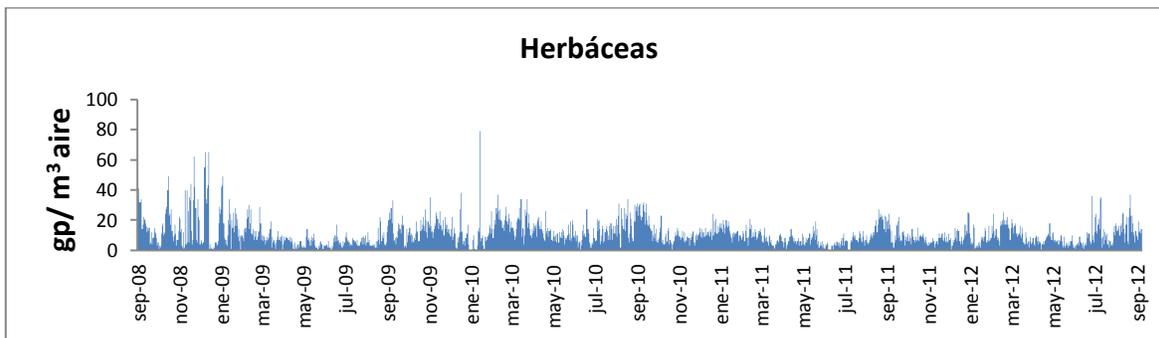


Figura 27. Variación estacional de los granos de polen de herbáceas presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. Muestreo de septiembre 2008- septiembre 2012.

### Calendario Polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec (figura 33)

El calendario polínico es la representación estacional de los granos de polen en la atmósfera del Bosque de Chapultepec en el año. En la figura 34, se muestra la estacionalidad de los principales tipos polínicos considerando su presencia y concentración durante 5 años de muestreo. Los que se encuentran en color naranja son los que aportaron al menos el 1% del total anual, mientras que los representados en azul son parte del calendario polínico, debido a que se presentaron de manera continua durante el muestreo, aunque en bajas concentraciones.

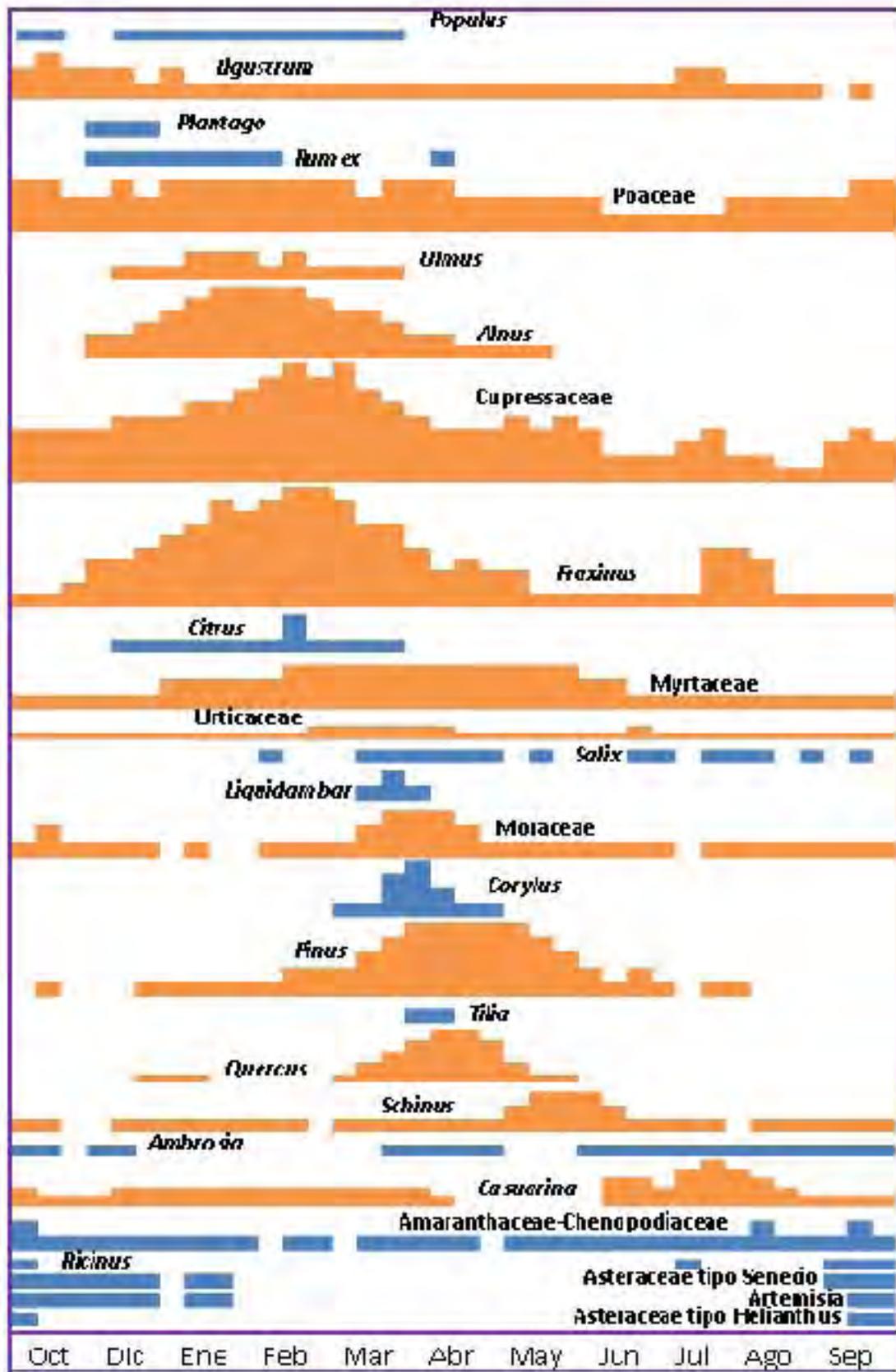


Figura 33. Calendario Polínico de la atmósfera del Bosque de Chapultepec

## ***Principales tipos polínicos encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec***

Los tipos polínico presentados a continuación no son todos los encontrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, sin embargo son los más representativos en la localidad, debido a las concentraciones que se registraron durante los cuatro años de muestreo. La presencia de los demás tipos polínicos se dio de manera esporádica o en concentraciones tan pequeñas que no alcanzaron una media de al menos 1 grano de polen/m<sup>3</sup> de aire a la semana. Lo que significa que no son tan recurrentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, como fue el caso de los géneros *Acacia* o *Ginkgo biloba*

### **Fraxinus**

**Especies representativas:** *F. udehi* y *F. cuspidata*, siendo *F. udehi* el mejor representado y nativa de México (INIFAP, ProBosquede Chapultepec, 2008)

**Familia a la que pertenece:** Oleaceae

**Nombre(s) vulgare(s):** Fresno

**Descripción:** Son árboles generalmente dioicos, con una altura de hasta 30 m de altura, de tronco recto, corteza gris claro a café, rugosa y copa ovoidea. Las hojas son opuestas, imparipinnadas, de 5 a 9 foliolos, ápice atenuado, borde dentado y base obtusa, su reproducción puede ser sexual o asexual. Sus flores pueden ser hermafroditas o unisexuales, dispuestas en panículas axilares que aparecen antes que las hojas (CONABIO). Con cáliz y corola ausentes. El androceo cuenta con dos estambres insertos en el cáliz o en el receptáculo floral. Gineceo bicarpelar, ovario súpero. Fruto sámara de forma lanceolada y con una sola semilla de tipo oblonga, la maduración se presenta en los meses de agosto a septiembre (Candau *et al.*, 1994, Martínez & Chacalo, 1994, Castillo *et al.*, 2007, Olivé 2011). Pueden ser árboles dioicos o monoicos, siendo más largas las flores femeninas. Incluso existe la posibilidad de que en un año se produzcan flores masculinas y al siguiente año, flores femeninas (Dobrowolska *et al.*, 2011), cambiando las posibles concentraciones de polen liberadas a la atmósfera.

La floración de este género es invernal (Trigo *et al.*, 2008), dando como resultado el incremento en las concentraciones de polen suspendidas en el aire, presentándose un pico de concentración en junio o julio. En la Ciudad de México, *F. uhdei* florece durante el periodo de febrero a mayo, una de las temporadas más secas (CONABIO, 2011, Olivé 2011).

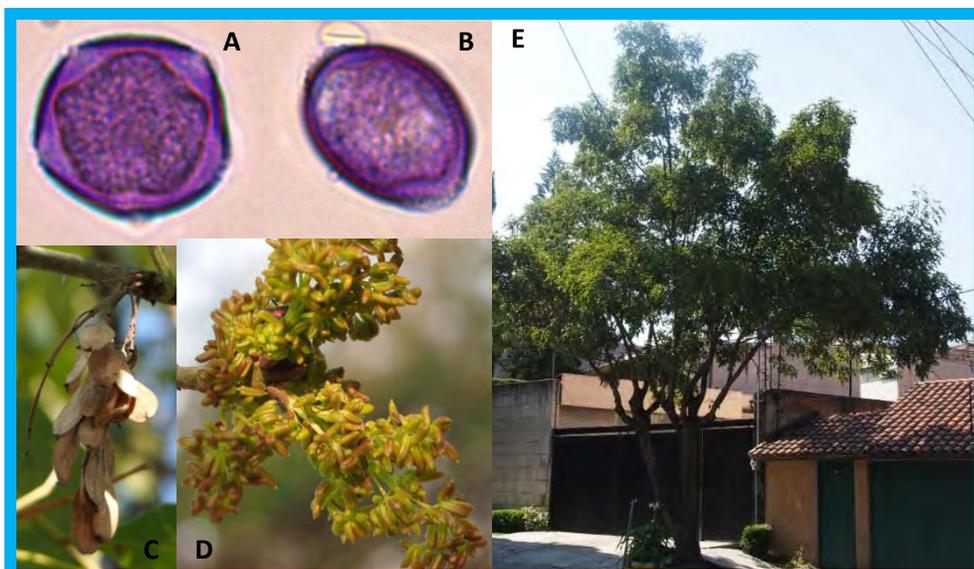


Figura 34. *Fraxinus* spp. A) Grano de polen vista polar. B) Grano de polen vista ecuatorial. C) Rama con frutos secos. D) Rama florífera. E) Árbol

**Distribución:** Su hábitat natural suelen ser cerros, barrancas, cañadas y esporádicamente a las orillas de corrientes de agua. Es utilizado para reforestación o rehabilitación de suelos donde hubo algún tipo de explotación al ambiente, o como árbol ornamental, el desarrollo de esta especie se da principalmente en zonas templadas húmedas a subhúmedas, en altitudes de 1 100 a 2 600 m.s.n.m., con suelos arcillosos, arenosos, lava basáltica, ácidos calcáreos profundos y húmedos. *F. uhdei* es la única especie que se encuentra en estado silvestre en la Ciudad de México, forma parte del bosque de galería, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña (Rzedowski y Rzedowski, 2001). Es utilizado para reforestar parques, jardines, camellones, banquetas y los alrededores de la ciudad (Martínez y Chacalo, 1994)

**Floración:** en México, se da principalmente durante la temporada de secas (Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** *Fraxinus* es estrictamente anemófilo, con una producción polínica alta, con 12 500 granos de polen por antera en el caso de *F. excelsior* (Subba *et al.*, 1986) y 18 000 – 87 000 en el caso de *F. angustifolia* (Trigo *et al.*, 2008)

**Morfología polínica:** Grano de polen tetracolpado (puede presentar de 3 – 6 aperturas). Isopolar y radiosimétrico. Forma subcircular a cuadrado en vista polar, corte óptico ecuatorial, subcircular a elíptico en vista ecuatorial, corte óptico polar. Oblado-esferoidal con un eje polar de 15-35  $\mu\text{m}$  y eje ecuatorial de hasta 27  $\mu\text{m}$ . Ectoaberturas de tipo colpo estrechas y largas de 15-20  $\mu\text{m}$  de longitud. Exina delgada (1-2  $\mu\text{m}$  de grosor) con tectum reticulado y lúmenes irregulares de 1-1.5  $\mu\text{m}$  de longitud (Trigo *et al.*, 2008; Docampo, 2008).

**Alergenicidad:** Es considerado como uno de los principales causante de la polinosis primaveral en Estados Unidos (Lewis *et al.*, 1983), y como uno de los principales agentes sensibilizantes de los pacientes alérgicos ante la presencia de Oleáceas en Europa (Poncet *et al.*, 2010). Se ha comprobado por medio de pruebas cutáneas, que la alergenidad de este género

puede ser moderada a alta. El aeroalergeno que produce, tiene una alta analogía con otros miembros de la familia Oleaceae (Domínguez *et al.*, 1984; Bousquet *et al.*, 1985; Barderas *et al.*, 2005; Poncet *et al.*, 2010).

### Correlaciones con los parámetros meteorológicos

Las relaciones entre las concentraciones de polen atmosférico de *Fraxinus* y distintas variables meteorológicas se analizaron durante el periodo de prepico (tabla 9) y postpico (tabla 10).

#### Prepico

Tabla 9. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Fraxinus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	-0.25	.039	-.093	-.087	<b>.324**</b>	<b>-.172**</b>	<b>-.147*</b>	<b>.154*</b>	-.035	
Sig. (bilateral)	-	.691	.539	.141	.169	.000	.005	.017	.012	.572	
N	263	250	250	250	251	263	263	263	263	263	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

El análisis muestra que durante la temporada de prepico, se presentaron correlaciones positivas con la precipitación acumulada y la dirección del viento.

Mientras que las variables de velocidad media y máxima del viento presentaron correlaciones negativas, ya que las altas velocidades de viento pueden dispersar los granos de polen del sitio de muestreo, o dificultar el impacto de las mismas en el muestreador, resultando en una baja en las concentraciones de polen atmosféricas registradas.

#### Postpico

Tabla 10. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Fraxinus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico.

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	<b>-0.495**</b>	<b>-.372**</b>	<b>-.631**</b>	<b>-.316**</b>	<b>-.378**</b>	-.015	<b>-.152**</b>	<b>.124**</b>	<b>-.180**</b>	
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.000	.000	.685	.000	.001	.000	
N	704	697	697	697	697	704	704	613	704	704	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico, la temperatura (media, máxima y mínima), precipitación, precipitación acumulada, velocidad máxima del viento y la humedad relativa tienen

correlaciones negativas significativas con los granos de polen atmosférico. La única correlación positiva que se presentó fue con la dirección del viento, aunque fenológicamente las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en descenso, éstas aumentan cuando los vientos vienen del nornoroeste (350°).

### Variación Intradiaria

Se realizó el análisis de la variación intradiaria de *Fraxinus*, para determinar su distribución a lo largo del día. El índice de variación intradiaria de *Fraxinus* fue de 0.1, lo que significa que este grano de polen presenta un pico de concentración durante el día. La concentración máxima se presentó a las 14:00 horas, y las concentraciones más elevadas de este tipo polínico se registraron de las 12:00 a las 20:00 horas (figura 35).

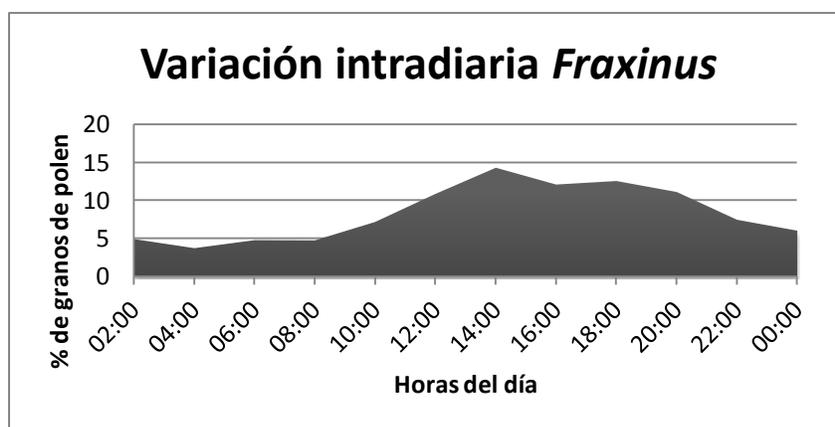


Figura 35. Variación Intradiaria de *Fraxinus* durante el periodo de muestreo

### Discusión:

El tipo polínico *Fraxinus* fue el que presentó la mayor concentración, con respecto al total de granos de polen colectados durante todo el periodo de muestreo (2008-2012), produciendo del 29-50% del total colectado cada año, aunque el periodo donde se presentaron las mayores concentraciones fueron de noviembre a marzo, lo que corresponde a la temporada más fría y seca del año. Se encontró una disminución constante de las concentraciones de polen atmosférico con la presencia de lluvias, debido al lavado atmosférico que éstas producen en la atmósfera, provocando el descenso de las partículas que se encuentran suspendidas en el aire. Debido a que los granos de polen de *Fraxinus* se dispersan de forma anemófila, cada uno de los individuos es capaz de producir y liberar miles de granos de polen a la atmósfera durante su temporada de floración, con el fin de asegurar la polinización de las flores. Aunado a esto, el 27.19 % de las especies leñosas que se presentan en el Bosque de Chapultepec, corresponden a *Fraxinus* (GDF, 2006a; GDF, 2006b; Orozco, 2007).

Los resultados encontrados en este estudio coinciden con los reportados por Jato *et al.* (2004), que registró la temporada invernal como el periodo de polinización de *Fraxinus*, mientras que en el Bosque de Chapultepec, se registraron éstos granos de polen de diciembre a marzo, y cuyas concentraciones más altas se registraron en el mes de enero. En México, Salazar (1995)

coincide en que las mayores concentraciones de *Fraxinus* se presentaron durante la temporada de sequía.

La temperatura y el fotoperiodo son factores que afectan la producción y liberación de los granos de polen de plantas leñosas con floración invernal, aunque estos factores se vuelven esenciales cuando estas plantas se encuentran en zonas templadas como la Ciudad de México. La temperatura es un factor que afecta en gran medida a las concentraciones de polen atmosférico, ya que para iniciar la floración, es necesario que se presente una temperatura mínima lo más cercano a 0°C (Jato *et al.*, 2004), esto ha sido estudiado en países donde las estaciones del año están muy marcadas, y las temperaturas mínimas llegan por debajo de los 0°C (Candau *et al.*, 2004; Jato *et al.*, 2004), después de esto es necesario que aumenten las temperaturas para poder romper la dormancia e iniciar la floración (Perry, 1971). Por lo que es posible que cualquier cambio en las temperaturas que se presenten anualmente, promuevan cambios en la fenología de *Fraxinus*, y por lo tanto, en las concentraciones de polen atmosférico que sean registradas.

Aunado a esto, las concentraciones de polen atmosférico presentan una relación significativa con la precipitación acumulada, lo que determina la necesidad de éste árbol para la producción de los granos de polen que posteriormente se liberaran a la atmósfera. De igual manera, se observó una correlación con la dirección del viento positiva y altamente significativa, por lo que se sugiere que gran parte de los granos de polen colectados durante la temporada de prepico provienen del Nornoroeste (350°), con respecto al muestreador (Olivé, 2012).

La relación entre los granos de polen atmosférico y la humedad relativa, fue negativa aunque solo parece ser significativa durante el periodo de postpico, esto debido a que el aumento en la humedad relativa, puede derivar en que las anteras no se abran, por lo que los granos de polen no pueden ser liberados por acción del viento, además de la capacidad de los granos de polen de hidratarse o deshidratarse, dependiendo del medio en el que se encuentren, por lo que el aumento en la humedad relativa puede dificultar su transporte, ya que al hidratarse cambian de forma, tamaño, volumen, peso, etc., facilitando su deposición (Jato *et al.*, 2002).

La correlación con los granos de polen atmosférico y la precipitación, generalmente es negativa, ya que las lluvias “lavan” la atmósfera, facilitando que las concentraciones de granos de polen en el aire disminuyan.

Debido a que el tipo polínico *Fraxinus* es típicamente anemófilo, la velocidad del viento, es un factor de gran importancia para su dispersión, sin embargo, se presentó una correlación negativa entre las concentraciones de polen atmosférico y el aumento en la velocidad del viento, ya que el Bosque de Chapultepec cuenta con gran cantidad de árboles de este género, que durante la etapa de floración están liberando los granos de polen a la atmósfera, por lo que al captador es más eficiente para coleccionar mayor cantidad de granos de polen cuando la velocidad del viento es baja o se encuentra en un periodo de calmas, aunado a esto, cuando la velocidad de los vientos es muy alta, se produce un efecto de “barrido” en el muestreador, dificultando que los granos de polen se introduzcan en la boquilla (Edmonds, 1979; Salazar, 1994).

Finalmente, la variación intradiaria muestra que las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, aumentan a lo largo del día, con forme la radiación solar aumenta, debido a que a medio día (12:00 hrs) que es el momento de mayor radiación solar en el día, se observa el inicio del incremento de las concentraciones, manteniéndose hasta las

20:00 hrs, cuando se registró el descenso de las concentraciones de polen atmosférico descendiendo, debido a que disminuye la radiación solar, al igual que la temperatura. Los resultados obtenidos por Olivé (2012) y los registrados en este estudio, son en la misma zona, sin embargo se observaron unas diferencias, debido a que los datos obtenidos por Olivé corresponden a un año, mientras que los reportados en este estudio representan la media de más años de estudio, y es posible que con la continuidad de este estudio, los datos presenten diferencias similares, ya que al tener más años de muestreo, se esperaría que las diferencias entre los picos de concentración a lo largo del día se vayan suavizando, sin embargo, la distribución general de las concentraciones de polen atmosférico es muy similar a lo reportado por Olivé.

Las características que presenta este tipo polínico, como la distribución anemófila, las altas concentraciones que se presentan en la atmósfera, el número de individuos presentes en el Bosque de Chapultepec, las proteínas que lo componen y su pequeño tamaño, es que se considera uno de los principales aeroalergenos polínicos (Lewis *et al.*, 1983; Trigo *et al.*, 2008; Morfin *et al.*, 2009). La proteína Fra e 1 (Barderas *et al.*, 2005), es considerada su principal alérgeno, y presenta una reactividad cruzada con otras especies de la familia de las oleáceas, como Ole e 1, que es considerado una de las causas principales de la polinosis europea (Bousquet *et al.*, 1985; Obispo *et al.*, 1993; Alché y Rodríguez, 1997; Gastaminza *et al.*, 2005).

Se ha reportado un umbral de activación de 100 gp/m<sup>3</sup> de aire para este tipo polínico (Gehring y Peeters, 2000), mientras que el umbral de activación para Olea, reportado por Waisel *et al.* (2003) es de 2 – 4 gp/m<sup>3</sup>. Sin embargo, es importante considerar que durante la temporada de floración, las concentraciones de granos de polen de *Fraxinus* en la atmósfera superan esta concentración, incluso hasta 10 veces en un solo día, poniendo en riesgo la calidad de vida de las personas susceptibles a presentar una respuesta alérgica.

## **Cupressaceae**

La familia Cupressaceae está conformada por 19 géneros representados a nivel mundial, y la morfología polínica de esta familia, es similar a la de las familias Taxaceae y Taxodiaceae (Trigo *et al.*, 2008), por lo que se consideran las tres familias cuando se refiere al tipo polínico Cupressaceae.

**Especies representativas:** *Cupressus benthamii*, *Cupressus lusitanica*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus sempervirens*, *Juniperus sp.* y *Taxodium mucronatum*, siendo las dos primeras especies endémicas del Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

**Familia a la que pertenece:** Cupressaceae

**Nombre(s) común(es):** Teotlate, tlazcan (Rep. Mex.), cedro, cedro blanco, ciprés, nuculpat, ciprés nuculpat (Chis.), gretado amarillo, gretado galán (Oax.), sesa'na (l. mazahua, Mex.), tascate (Sin.)(CONABIO, 2012)

**Descripción:** Árbol dioico o monoico, perennifolio. Puede alcanzar una altura de 12 a 35m. Su corteza es delgada, de color grisácea o pardo rojizo y con estrías longitudinales. Las hojas

pueden ser opuestas o verticiladas, aciculares o escuamiformes. Los estróbilos o cono masculinos son solitarios, pequeños, con 3-7 sacos polínicos por escama. Los estróbilos femeninos generalmente son globosos u ovoideos, leñosos y con escamas tectrices soladas. Los frutos pueden ser globosos, subglobosos, leñosos o carnosos. La maduración puede ser anual o bienal, sin embargo, algunos se presentan trienal (Martínez y Chacalo, 1994; Recio, 1995; Medina & Ávila, 1997).

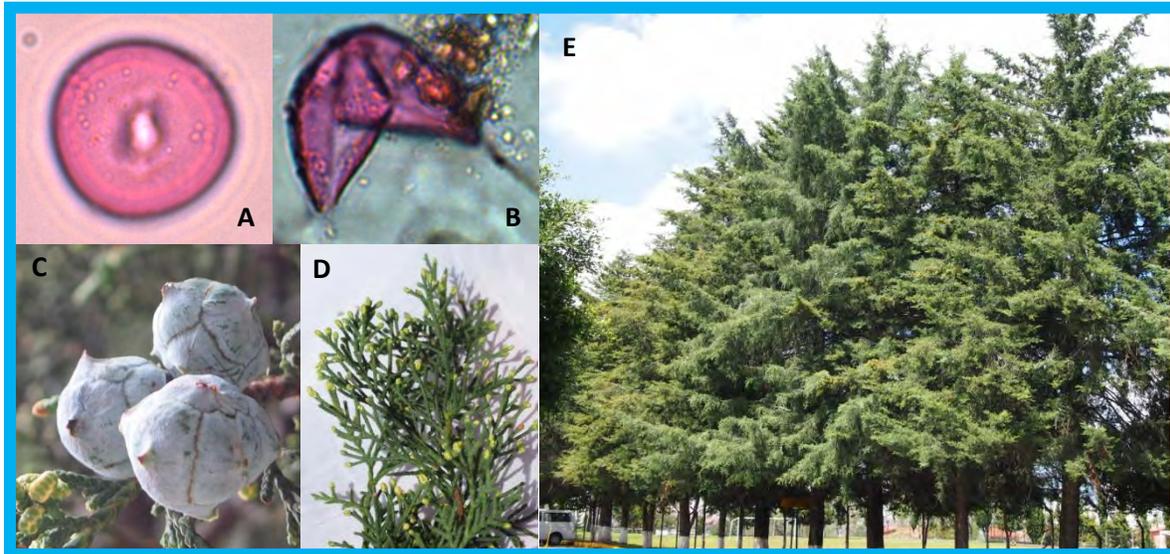


Figura 36. Cupressaceae. A) Grano de polen. B) Grano de polen roto. C) Flores femeninas. D) Flores masculinas. E) Árboles en barrera.

**Distribución:** Se presentan principalmente en climas húmedos y frescos, cañadas y suelos profundos. Se encuentran cultivados por toda la ciudad de México.

**Floración:** *Juniperus* de Noviembre a Abril. *Cupressus* durante los primeros meses del año (febrero a julio) (Zamudio y Carranza, 1994)

**Polinización:** Anemófila

**Alergenicidad:** El tipo polínico considerado como Cupressaceae, cuenta con una alergenidad alta (pollen.com) y a partir de este tipo polínico, se han aislado proteínas taumatin-like, como Cup a 1 (Palacín *et al.*, 2012) y Cup s 3, Jun a 3, r 3 y v 3 y son isoflavonas- reductasas (Messeguer, 2008). Se sabe que *Cupressus* puede producir mayor cantidad de Cup a 3 cuando se encuentra en un ambiente contaminado, como resultado de la urbanización (Cortegano *et al.*, 2004).

**Morfología polínica:** grano de polen inaperturado, apolar y radiosimétrico. Circular en corte óptico, esferoidal. Tamaño pequeño a mediano, con un eje polar de 27-45  $\mu\text{m}$  y un eje ecuatorial de 22-37  $\mu\text{m}$  (Ludlow *et al.*, 2003) dependiendo de la especie y de la capacidad de hidratación del grano de polen (Roure, 1985). Exina delgada, de 1  $\mu\text{m}$  de grosor aproximadamente, e intina de hasta 6.5  $\mu\text{m}$ , que se encuentra rodeando un citoplasma estrellado. Superficie escábrida a verrucosa, cubierta de pequeños orbículos equinulados. Usualmente se

puede observar la fractura de la exina y el citoplasma fuera de él. (Bassett *et al.*, 1978, Recio, 1995, Anero *et al.*, 2008; Trigo *et al.*, 2008)

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizaron las concentraciones de polen atmosférico y distintas variables meteorológicas, con el fin de establecer las correlaciones que se presentan entre éstas, dividiendo la temporada de polinación, en prepico (tabla 11) y postpico (tabla 12).

#### Prepico

Tabla 11. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Cupressaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	.092	<b>.129**</b>	-.022	-.084	<b>.251**</b>	-.005	.074	<b>.170**</b>	<b>-.235**</b>	
Sig. (bilateral)	-	.063	.009	.657	.090	.000	.912	.133	.000	.000	
N	417	404	404	404	405	417	416	416	416	417	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

La concentración de polen atmosférico del tipo polínico Cupressaceae durante el periodo de prepico, se encontró relacionada positivamente con la temperatura máxima, la precipitación acumulada y la dirección del viento. La única correlación negativa se registró con la humedad relativa.

#### Postpico

Tabla 12. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Cupressaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	<b>-.176**</b>	-.051	<b>-.418**</b>	<b>-.334**</b>	<b>-.467**</b>	.053	<b>-.091*</b>	-.045	<b>-.374**</b>	
Sig. (bilateral)	-	.000	.130	.000	.000	.000	.115	.011	.185	.000	
N	880	871	871	871	873	880	880	789	878	880	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante el periodo de postpico, las correlaciones entre la concentración de granos de polen atmosférico y los factores meteorológicos fueron negativas y significativas con la temperatura (media y mínima), precipitación y precipitación acumulada, así como con la velocidad máxima del viento y la humedad relativa.

## Discusión:

Durante este muestreo, el tipo polínico de Cupressaceae fue el 2° más importante, en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, ya que aportó del 20-40 % de la producción total de granos de polen colectados. Dentro del Bosque de Chapultepec, se tienen registradas 7 especies que corresponden a la familia Cupressaceae (ProBosque Chapultepec, 2008), algunas de ellas presentan distintas fechas de floración, como *Juniperus* que florea de Noviembre a Abril y *Cupressus* que florea durante los primeros meses del año (febrero a julio) (Zamudio y Carranza, 1994). Durante el muestreo, se registraron granos de polen de Cupressaceae a lo largo de todo el año, aunque las concentraciones más altas, se registraron de noviembre a abril, que corresponde a la floración de géneros como *Juniperus* y *Cupressus*. Debido a la similitud entre los granos de polen producidos por los distintos géneros de esta familia, es que la identificación de éstos no pueden llegar más lejos en su clasificación, sin embargo, esta familia se caracteriza por estar ampliamente distribuida y con gran cantidad de individuos en la Ciudad de México, las altas concentraciones de granos de polen que cada uno de los individuos libera a la atmósfera, facilitando que este tipo polínico quede suspendido por largos periodos (Salazar, 1994).

Las relaciones que presentaron las concentraciones de granos de polen atmosférico y los parámetros meteorológicos, se observa una relación positiva con la temperatura máxima, debido a que las altas temperaturas promueven que las anteras se sequen y expongan los granos de polen para ser liberados por acción de los vientos, además de romper la dormancia, promoviendo la floración, especialmente cuando se presentaron temperaturas mínimas de 10 °C o menos (Porsjberg *et al.*, 2003). Sin embargo, durante la temporada de postpico se observa una correlación negativa significativa con la temperatura media, que se atribuye en gran parte a la fenología de la planta, en el que las concentraciones de polen liberado a la atmósfera se encuentra en descenso, mientras que la temperatura aumenta por el ciclo estacional que se cumple cada año.

Durante la temporada de prepico, la presencia de este tipo polínico en la atmósfera, presentó una relación positiva con la dirección del viento, que significa, que durante este periodo, los granos de polen transportados por el viento se ven influidos por la dirección del viento, que de acuerdo a lo reportado por Olivé (2012), provienen en mayor medida junto con los vientos del sur.

La humedad relativa presentó una correlación negativa con las concentraciones de granos de polen atmosférico durante las dos fases de polinación (prepico y postpico), relacionado con el mecanismo higroscópico de esta familia, donde las escamas que forman parte de la inflorescencia masculina, se cierran cuando absorben el agua presente en el ambiente, protegiendo a los granos de polen, por lo que al momento de aumentar la temperatura del aire, disminuye la humedad relativa, promoviendo que las escamas se abran de nuevo y liberen los granos de polen a la atmósfera (Hidalgo *et al.*, 2003).

La velocidad del viento máxima presentó una correlación negativa con las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, debido a que el incremento de este factor, produce un efecto de barrido de las aeropartículas, dificultando la captura de los granos de polen atmosférico, por el muestreador.

El tipo polínico Cupressaceae es importante dentro de la atmósfera del Bosque de Chapultepec, debido a que es uno de los granos de polen que más se presentaron en el aire de

esta zona, del 20 -45 %. Por lo que ocupa el 2° lugar en producción, después de *Fraxinus*. Además de ser considerado con alto nivel de alergenicidad, y se ha reportado que en ciudades contaminadas como la Ciudad de México, la incidencia de alergenicidad a este tipo polínico está en aumento (Cortegano *et al.*, 2003).

La polinosis a Cupresáceas es importante, debido a que presentan diferencias clínicas con respecto a pacientes que sufren de otro tipo de polinosis, ya que es más frecuente encontrar pacientes monosensibilizados a este tipo polínico (Moral de Gregorio, 2003). En Europa, se ha registrado un aumento repentino de la prevalencia de alergias a este polen, a pesar de no presentarse un incremento significativo en sus conteos, por lo que es necesario estudiar la presencia y producción de las proteínas de este tipo polínico en el ambiente, así como es importante considerar la presencia de reactividad cruzada entre pólenes de la misma familia, actualmente se ha logrado purificar distintos alergenos de esta familia, como Cup a 1, Cup s 1, Jun o 4, Jun a 1, 2, 3, Jun v 1, Cry j 1, 2, Cha o 1, 2 (Panzani, 2003)

## **Alnus**

**Especies representativas:** *Alnus acuminata arguta* (Schlect.) Furlow y *Alnus jorullensis*

**Familia a la que pertenece:** Betulaceae

**Nombre(s) común(es):** Aile, llite, aliso (Rep. Mex.) , abedul (Ver.), aile (Hgo., Oax.), aliso (Sin.), elite, palo de águila (Oax.) (CONABIO, 2012)

**Descripción:** Es un árbol monoico, perennifolio/caducifolio. Puede alcanzar una altura de 10- 25 m (incluso hay individuos de 30 m). Su copa es angosta y piramidal, su tronco es cilíndrico, con varias ramificaciones. La corteza de este árbol tiene un color gris o café grisáceo y se encuentra fisurada. Hojas de lámina ovada, con margen agudamente biserrado, base cuneada o redondeada, con el haz oscuro y el envés pálido y piloso, y el periodo de carencia de hojas es breve (Martínez y Chacalo, 1994, CONABIO, 2012). Las inflorescencias masculinas están dispuestas en amentos de 5 – 10 mm de largo, por lo general formando agrupaciones de 3. Mientras que se unen 3 – 4 inflorescencias femeninas en racimos, con una altura de 3-8 mm. Los conos que se forman miden de 11-28 mm de largo y 8-12 mm de diámetro.

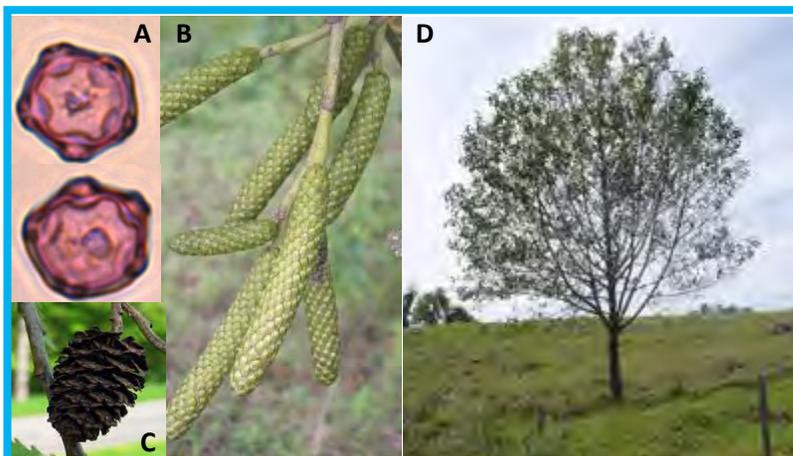


Figura 37. *Alnus* spp. A) Granos de polen en vista polar. B) Inflorescencia inmadura. C) Conos. D) Árbol.

**Distribución:** Este género se encuentra distribuido en casi toda la República, a una altitud de 1300 a 2800 m.s.n.m. Es originario de México y Centroamérica. Se desarrolla en las riberas de los ríos y arroyos, praderas o formando parte del bosque de galería (CONABIO, 2012). Se observa como parte de comunidades sucesionales de encinares y pinares, o a consecuencia de la destrucción de otros tipos de bosques (Rzedowski, 1981). El rango óptimo para su desarrollo es de 4-27°C, con una precipitación de 1,000 a 3,000mm o más. *Alnus acuminata* y *A. jorullensis* son especies naturales del Valle de México, se distribuyen naturalmente en cañadas como la de Sierra de las Cruces y el Ajusco, y se encuentran ampliamente representadas en áreas verdes urbanas del sur y suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001), debido a que son utilizadas para la reforestación de parques y camellones, en áreas sin vegetación, debido a su uso para la recuperación de suelos erosionados (Rodríguez y Cohen, 2003).

**Floración:** noviembre a mayo

**Polinización:** Anemófila

**Alergenicidad:** la alergenidad de este tipo polínico es moderada (Pollen.com) y su principal alérgeno es Aln g 1 (Breiteneder *et al.*, 1992).

**Morfología polínica:** Grano de polen 5-7 zonocolporado, isopolar, radiosimétrico. En vista polar tiene forma pentagonal a heptagonal, dependiendo del número de aberturas, mientras que en vista ecuatorial se observa de elíptico a plano convexo. Oblado, tamaño de pequeño a mediano, con un eje polar de 13-18  $\mu\text{m}$  y ecuatorial de 23-28  $\mu\text{m}$ . Las aberturas son poros aspidados de 2 a 3  $\mu\text{m}$  de diámetro. Exina de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  de grosor en la mesocolpia y unas tres veces más gruesa alrededor de las aberturas. Superficie finamente rugulada, escábrida o ligeramente equinulada, punteada en los arcos. La intina forma pequeños engrosamientos bajo los poros (Hyde, 1954; Bassett *et al.*, 1978; Roure, 1985; Jones *et al.*, 1995; Recio, 1995; Trigo *et al.*, 2008)

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizó la relación entre las concentraciones del tipo polínico *Alnus* en la atmósfera, con respecto a distintas variables meteorológicas, dividiendo la temporada de principal de polinización en prepico (tabla 13) y postpico (tabla 14).

#### Prepico

Tabla 13. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Alnus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.058	<b>.058*</b>	<b>-.085**</b>	-.017	<b>-.150**</b>	<b>-.150**</b>	<b>-.128**</b>	<b>.080**</b>	<b>-.064*</b>
Sig. (bilateral)	-	.052	.049	.004	.576	.000	.000	.000	.007	.031
N	1139	1139	1139	1139	1139	1131	1131	1078	1131	1139

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante el periodo de prepico que presentó el tipo polínico *Alnus*, hubo una relación positiva con la temperatura máxima y con la dirección del viento. Las correlaciones negativas que se presentaron, fueron con la temperatura mínima, la precipitación acumulada, el aumento de la velocidad del viento (media y máxima), además de la humedad relativa.

### Postpico

Tabla 14. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Alnus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.007	-.012	-.043	-.114**	.007	-.022	-.059*	.052	-.080**
Sig. (bilateral)	-	.806	.674	.125	.000	.803	.430	.047	.062	.004
N	1280	1280	1280	1280	1280	1280	1272	1134	1272	1280

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico se presentaron correlaciones significativas negativas con la precipitación, la velocidad máxima del viento y la humedad relativa.

### Discusión:

Las especies de *Alnus* presentes en la Ciudad de México, son *A. acumiata* y *A. jorullensis*. Por su distribución geográfica, ambas especies dependen de un incremento en la temperatura, después de un periodo de bajas temperaturas para que se lleve a cabo la floración. Esta activación de la floración por el cambio de temperatura, se da gracias a que durante el invierno, algunas plantas entran en una etapa de letargo celular, conocido como dormancia, donde todo el metabolismo disminuye para evitar el daño celular por congelamiento, sin embargo, es necesaria la elevación de la temperatura para reactivar el metabolismo e iniciar la época reproductora del ciclo, que en las plantas con flor corresponde a la floración (Taiz y Zeiger, 2010; Linkosalo *et al.*, 2006; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2009). Esta necesidad de los cambios de temperatura en *Alnus*, han sido comprobados en lugares donde cada una de las estaciones del año se encuentran bien definidas, por lo que se observan los periodos de floración con el inicio de la primavera (Freguelli *et al.*, 1991; Clot, 2003; Peternel *et al.*, 2005; González-Parrado *et al.*, 2009), todos estos estudios coinciden en que la floración de este tipo polínico inicia con la primavera, cuando inicia el aumento de la temperatura que favorece la formación de los primordios florales. En los estudios realizados en la Ciudad de México, donde las estaciones del año no se encuentran bien definidas, se reporta la presencia de *Alnus* durante los meses de diciembre a marzo, que corresponde a los meses más fríos del año (Rosales, 1985; Bronillet, 1992; Salazar, 1995; Torres, 2006).

Si comparamos los reportes de los trabajos previos y los registros obtenidos durante el periodo del muestreo en este estudio, se observa una similitud en ambos resultados, por lo que se deduce que la fenología de este tipo polínico se ha mantenido sin muchos cambios durante este tiempo. También se puede observar que la floración de *Alnus* se encuentra influenciada por los factores meteorológicos, ya que durante los distintos años de muestreo, se observa que después de finalizar las lluvias, el descenso de la temperatura marca el inicio del reposo vegetativo en

ambas especies, el cual se rompe al aumentar la temperatura, iniciando la floración, que es cuando empiezan a elevarse las concentraciones de polen en la atmósfera.

Este tipo polínico se colocó en el 3er lugar de abundancia en la atmósfera del Bosque de Chapultepec aportando entre 2 – 7 % de la producción total anual de granos de polen registrados cada año. Asimismo, se considera de alergenicidad moderada a severa, además de presentar reactividad cruzada con *Betula* y en algunas ocasiones con *Quercus* (Ipsen y Hansen, 1991; Breiteneder *et al.*, 1992).

## **Pinaceae**

Este tipo polínico está integrado por los géneros *Abies*, *Cedrus* y *Pinus*, aunque el mayormente representado en el Bosque de Chapultepec es *Pinus*, que pertenece a la familia de las pináceas, con una amplia distribución a lo largo del hemisferio Norte. En el Valle de México, es posible encontrar de forma natural a 30 especies, de las 90 que comprende este género (Martínez y Chacalo, 1994).

**Especies representativas:** *Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. greggii*, *P. halepensis*, *P. maximartinezii*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. radiata*, *Abies religiosa* y *Cedrus libani* (INIFAP, Probosque de Chapultepec, 2008).

**Familia a la que pertenece:** Pinaceae

**Nombre(s) común(es):** Pino o piñón para *Pinus*, oyamel para *Abies* y cedro para *Cedrus*

**Descripción:** Son árboles monoicos perennifolios, resinosos y con abundantes ramificaciones. Alcanzan hasta 30 m de altura. Su copa es cónica o piramidal, según la especie. Las hojas son características de este grupo, aciculares y persistentes, de longitud, grosor y color polimorfas, y se encuentran dispuestas en fascículos sobre braquiblastos. Las inflorescencias que presenta son cónicas y agrupadas cerca de los extremos de las ramas jóvenes, con escamas en espiral y dos sacos polínicos en cada una. Los estróbilos femeninos cuentan con dos rudimentos seminales, que varían en morfología y tamaño. Las infrutescencias son leñosas, conocidas comúnmente como piñas, mientras que las semillas se encuentran provistas de un ala semidesarrollada (Trigo *et al.*, 2008; Benavides *et al.*, 2010; Olivé 2012).

Para el caso del género *Abies*, los árboles son de copa cónica o piramidal y las hojas son lineares, dispuestas sobre macroblastos, subdísticas o dispuestas radialmente. Los conos masculinos se agrupan de la misma forma que el pino (en los extremos de las ramas). Los estróbilos son erectos o péndulos, subcilíndricos y se deshacen al madurar. Poseen dos semillas aladas (Martínez y Chacalo, 1994; Recio, 1995; Akaushe y Caulton, 2008; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012).

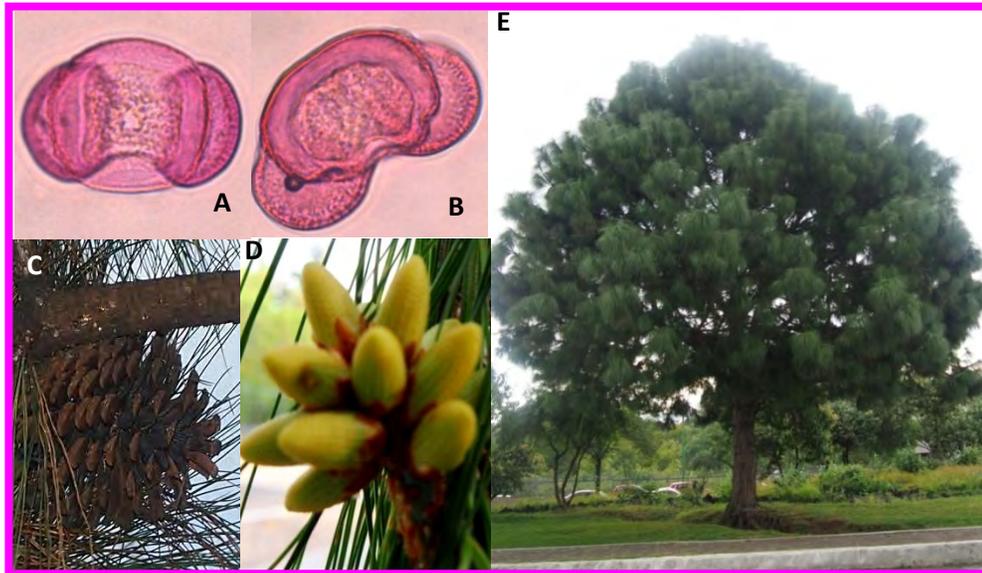


Figura 38. *Pinus* sp. A) grano de polen vista ecuatorial. B) grano de polen vista polar. C) Conos femeninos. D) Conos masculinos jóvenes. E) árbol

**Distribución:** La familia de las Pináceas se encuentra ampliamente distribuida a lo largo del país, formando agrupaciones o masas puras en las sierras, zonas montañosas y bosques de Pino-Encino, en áreas de rocas ígneas, gneis, esquistos, margas, areniscas, lutitas y calizas. Con desarrollo en tierras rojas, con arcillas derivadas de basaltos, o sobre suelos negros y profundos. A más de 3000 m.s.n.m. los pinares son la especie dominante por su capacidad de prosperar a grandes altitudes (Benavides *et al.*, 2010, Olivé, 2012).

*Pinus cembroides*: Originario de Norteamérica, se distribuye desde el suroeste de los Estados Unidos hasta México, en los estados de Chihuahua, Baja California, Durango, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Hidalgo y Puebla, entre los 1,350 y 2,800 m.s.n.m. (Vázquez *et al.*, 1999).

*Pinus radiata*: Nativo del sur de California, crece en climas templados o cálidos, suelos silíceos y profundos, no se presenta en temperaturas muy bajas y requiere bastante humedad (Blanca *et al.*, 2009).

*Pinus montezumae*: Presente en bosques de pino y encino de 1400-3200 m.s.n.m., en zonas boscosas de las montañas de México (Benavides *et al.*, 2010).

*Pinus ayacahuite*: Es un pino nativo del sureste de México. Presentándose principalmente en altitudes de 1000-2500 m.s.n.m. en sitios húmedos (Olivé, 2012).

Los boques formados por *Abies religiosa* (oyamel) se observan en el norte y suroeste de México, principalmente en sitios de gran altitud (2400-3000 m.s.n.m.) extendiéndose hasta América Central. Es posible observar rodales puros, o con asociaciones a *Quercus* sp. y *Pinus* sp. (Rzedowski, 1981, Trigo *et al.*, 2008). Aunque también son cultivados en parques, jardines y avenidas de la Ciudad de México, ya que se les utiliza en reforestaciones (Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** Aunque la floración es típicamente invernal (Recio *et al.*, 1996), existen especies de *Pinus* que florecen durante marzo y abril para *Pinus cembroides* (CONABIO, 2012)

*Abies religiosa* tiene una floración cíclica y se completa en dos años. Dependiendo de su distribución geográfica su floración puede iniciar en diciembre, y la polinización se da en marzo y abril del siguiente año (Rzedowski, 1981).

**Polinización:** Anemófila

**Alergenicidad:** Este tipo polínico es considerado con baja capacidad alérgica, que se atribuye a su gran tamaño (60-105  $\mu\text{m}$ ), que resulta en una pobre penetración de las vías respiratorias. Aunque también es atribuida a su naturaleza hidrofóbica y bajo contenido proteico (Fountain & Cornford, 1991, Olivé, 2012).

**Morfología polínica:** los granos de polen de las Pináceas, comparten las siguientes generalidades:

Grano de polen monoanaleptomado, heteropolar, simetría bilateral, vesiculado. Cuerpo de oblado a oblado-esferoidal, elíptico en vista polar, mientras que en vista ecuatorial se observa plano-convexo y las vesículas aeríferas de elípticas a subcirculares. Tamaño del cuerpo, de mediano a grande para *Pinus*, donde el eje polar mide 34-60  $\mu\text{m}$  y el diámetro ecuatorial de 40-70  $\mu\text{m}$ . Mientras que *Abies* se encuentra en un tamaño de grande a muy grande, ya que el eje polar mide 60-105  $\mu\text{m}$  y el eje ecuatorial 80-110  $\mu\text{m}$ . El leptoma (adelgazamiento de la exina) está situado en el polo distal, entre los sacos aéreos (monoanaleptomado). La exina tiene un grosor de 2-4  $\mu\text{m}$  (en *Abies* llega a medir hasta 6  $\mu\text{m}$ ) en el polo proximal, y menos de 1  $\mu\text{m}$  en el polo distal. La superficie es granulada-verrugosa en el corpus, mientras que la superficie de los sacos aéreos es escábrida (aunque en el microscopio óptico se observan como reticulados (Roure, 1985, Recio, 1995, Agashe y Caulton, 2008, Trigo *et al.*, 2008).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizó la correlación existente entre distintas variables meteorológicas y las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, para realizar éste análisis, la temporada principal de polinación se dividió en prepico (tabla 15) y postpico (tabla 16).

#### Prepico

Tabla 15. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Pinaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	.516**	.464**	.521**	-.043	.398**	.137**	.094	-.002	-.283**	
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.000	.000	.003	.057	.971	.000	
N	456	456	456	456	456	456	456	416	456	456	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 14) las concentraciones los granos de polen de Pináceas presentaron correlaciones positivas significativas con la temperatura (media, máxima y mínima), la precipitación acumulada y la velocidad media del viento. Mientras que la única relación negativa significativa correspondió a la humedad relativa.

### Postpico

Tabla 16. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Pinaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.126**</b>	<b>.288**</b>	<b>-.180**</b>	<b>-.323**</b>	<b>-.272**</b>	<b>.333**</b>	<b>-.134**</b>	.070	<b>-.558**</b>
Sig. (bilateral)	-	.007	.000	.000	.000	.000	.000	.007	.135	.000
N	461	454	454	454	454	461	461	410	461	461

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Con respecto a las correlaciones que se presentaron durante el periodo de postpico (tabla 15), éstas fueron positivas con la temperatura media y máxima, además de la velocidad media del viento. Mientras que la correlación con la temperatura mínima, precipitación, precipitación acumulada, velocidad máxima del viento y la humedad relativa fueron negativas.

### Discusión:

La floración de este tipo polínico se registró durante los meses de enero a agosto, con un pico de producción durante abril y mayo. Se ha reportado que en la fenología de *Pinus*, la floración se ve afectada principalmente por el tamaño de la planta, la duración del fotoperiodo diario, además del aumento de giberelinas que tienen un efecto directo en la promoción de la floración (Cecich *et al.*, 1994). Del mismo modo, estos factores se encuentran regulados por el ambiente en el que se desarrollen (Parantainen y Pulkkinen, 2003). Si se realiza una comparación entre los estudios realizados por Cid (2007) y este estudio, se obtienen resultados similares, a pesar que el primer estudio se llevó a cabo en una zona del noreste de la Ciudad de México, estos resultados arrojan un periodo de floración similar (de febrero a junio).

El tipo polínico Pinaceae se encuentra conformado por distintos géneros, dentro de los cuales se pueden observar distintos periodos de floración, lo que puede resultar en una ampliación en la temporada de este tipo polínico, lo que explica el comportamiento de este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, donde se observa la presencia de este tipo polínico desde finales de noviembre hasta mediados de julio, con una clara tendencia a presentar mayores concentraciones durante los meses de marzo y abril. Un ejemplo de esta situación es el género *Cedrus* cuya floración ha sido reportada en el mes de octubre (Trigo *et al.*, 2008).

La correlación positiva entre las concentraciones de Pináceas y la temperatura (media, máxima y mínima), durante el periodo de prepico, deriva de la necesidad de este grupo de alcanzar un total de horas acumuladas en las que la planta se mantuvo a más de 10 °C, por lo que

en zonas templadas, se produce mayor número de flores que en zonas más frías, aunque si se presentan diferencias, la temporada de floración solo se mueve por un par de días (Boyer, 1973).

La precipitación acumulada presentó una relación positiva, con respecto a las concentraciones de polen de este tipo polínico, lo cual sugiere que las lluvias previas tienen un efecto positivo sobre el desarrollo de los granos de polen debido ya que representa el agua disponible para el uso de la planta, por lo que el aumento en la precipitación acumulada resulta en el aumento en la producción de los granos de polen, que finalmente se liberan a la atmósfera, como lo ha reportado Alizoti *et al* (2010).

La correlación positiva con la velocidad media del viento, se establece al tipo de transporte anemófilo que requiere este tipo polínico para su dispersión, ya que debido a su gran tamaño, el aumento en la velocidad del viento propicia que estos granos de polen sean liberados a la atmósfera, y transportados en la misma.

En cuanto al periodo de postpico, se encontró que la temperatura media y máxima presentaron una relación positiva con las concentraciones, debido a que el aumento en la temperatura, promueve que las anteras se sequen y expongan los granos de polen para ser liberados por el viento. Sin embargo, la temperatura mínima mostró una relación negativa, lo que se atribuye a que en el periodo de postpico, las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en disminución debido a la fenología de la planta, mientras que la temperatura mínima presentó un incremento mucho más marcado, en comparación con la temperatura media y máxima. La correlación negativa que se presentó con la precipitación acumulada se explica gracias a la fenología de la planta, donde las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en descenso, mientras que la precipitación acumulada se encuentra en ascenso gracias a la temporada de lluvias. Sin embargo, las correlaciones negativas que se presentaron con la precipitación y la humedad relativa, se deben a que el aumento de éstas promueve el cierre de las anteras, evitando la liberación de los granos de polen a la atmósfera, ésta relación se atribuye al mismo mecanismo higroscópico de protección que utilizan las cupresáceas (Hidalgo *et al.*, 2003). Asimismo, las lluvias producen la sedimentación de las aeropartículas, debido al "lavado" de la atmósfera.

Finalmente, la velocidad máxima del viento, presentó una relación negativa, ya que las concentraciones de polen se encuentran en descenso, y un aumento considerable en la velocidad máxima del viento, transporta los granos de polen lejos del sitio donde se encuentra ubicado el muestreador, además de promover un efecto de barrido en el muestreo de las aeropartículas, que dificulta la entrada de las partículas a la boquilla del muestreador. Sin embargo, la velocidad media del viento presentó una correlación positiva, debido a que los vientos constantes promueven el movimiento de las aeropartículas, por lo que es posible que los granos de polen se encuentren suspendidos por más tiempo, resultando en la colecta de más granos de polen.

Este polen forma parte de los tipos polínicos que aportaron más del 1% en este estudio, sin embargo, la alergenicidad que se le atribuye a estos granos de polen es baja y de poca importancia clínica, aunque si existen reportes de pacientes sensibles a este tipo polínico (Marcos *et al.*, 2001; Leal *et al.*, 2012). Por lo que es importante tener en consideración la posibilidad de sensibilización de pacientes que presenten una polinosis estacional durante los periodos de mayor concentración de este tipo polínico en la atmósfera.

## Casuarina

Pertenece a la familia de las casuarináceas, que está integrado por otros tres géneros, y aproximadamente 70 especies. Generalmente, su uso es ornamental, para reforestación, fabricación de postes, como combustible en carbón de leña y en la obtención de taninos

**Especies representativas:** *Casuarina equisetifolia* (INIFAP, ProBosque de Chapultepec, 2008).

**Familia a la que pertenece:** *Casuarinaceae*

**Nombre(s) común(es):** Pino australiano, pino de París, árbol de la tristeza, cola de caballo

**Descripción:** Es un árbol monoico perennifolio, que es capaz de alcanzar 45m de altura. Caracterizado por un tronco recto, de corteza color marrón, gris claro, áspera y arrugada. También cuenta con una copa cónica irregular, conformada por ramillas fotosintéticas que se inclinan hacia abajo. Sus ramas son articuladas, largas, delgadas, de contorno circular, profundamente estriadas y colgantes con movimiento dependiente del viento. Hojas lanceoladas o escuamiformes de tamaño diminuto, dispuestas en verticilos de 8-10, formando un collar dentado en las uniones de las ramillas. Las inflorescencias masculinas son largas y delgadas, en el ápice de las ramas jóvenes. Cada una de las flores masculinas tienen un estambre exerto (filamento más largo que la antera). Las inflorescencias femeninas son elipsoidales y densifloras, cuentan con un estilo corto y dividido en dos estigmas filiformes largos, rojizos y muy salientes, encontradas en el ápice de ramas laterales cortas (Nee, 1983; Parrota, 1993; Martínez y Chacalo, 1994).

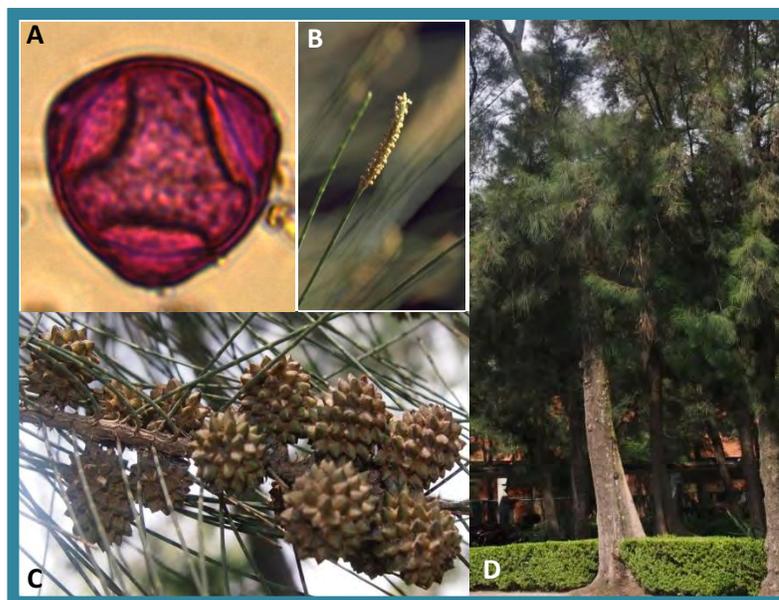


Figura 39. *Casuarina equisetifolia*. A) Grano de polen vista polar. B) Inflorescencias femeninas  
C) Inflorescencias masculinas. D) árbol

**Distribución:** Esta especie se desarrolla naturalmente en zonas tropicales y subtropicales húmedas, donde la precipitación anual, se encuentra entre los 700 y 500 mm con una temporada de secas, sin embargo, tiene una gran adaptación a la sequía, desarrollándose en condiciones de

200 mm anuales de precipitación. Este género se encuentra distribuido desde el norte hasta el sur de América y es cultivado en México como una especie ornamental a lo largo de parques, jardines, alineaciones y reforestaciones del Valle de México (Nee, 1983; Parrota, 1993; Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** En regiones con lluvias prolongadas, la producción de flores y frutos tiende a ser irregular y ocurre una o dos veces al año (Turnbull, 1983). *C. equisetifolia*, que es la especie que se encuentra en la Ciudad de México, florece en primavera (Nee, 1983; Trigo, 1998; Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** Anemófila (Parrota, 1993).

**Alergenicidad:** Baja (García *et al.*, 1997; Trigo *et al.*, 2008), aunque se encuentra presente en las pruebas cutáneas que se realizan para la detección de alergias en pacientes sensibles, ya que se conoce su actividad como aeroalergeno desde 1987 (Bucholtz *et al.*, 1987)

**Morfología Polínica:** Grano de polen trizonoporado, isopolar, radiosimétrico y angulaperturado. Se observa triangular en vista polar, con lados convexos, y elíptico en vista ecuatorial. Oblado. Tamaño mediano, debido a que cuenta con un eje polar de 24-27  $\mu\text{m}$  y un eje ecuatorial de 28-33  $\mu\text{m}$ . Aberturas simples de tipo poro, en la zona ecuatorial, con un diámetro que varía de 2-3  $\mu\text{m}$ . La exina tiene 1.5-2  $\mu\text{m}$  de grosor y se encuentra engrosada alrededor del poro. La superficie es escábrida y la intina está engrosada debajo del poro (Recio, 1995; Trigo *et al.*, 2008).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Para el análisis de las correlaciones presentes entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones de estos granos de polen en la atmósfera, se dividió el periodo de polinación principal en prepico (tabla 17) y postpico (tabla 18).

#### Prepico

Tabla 17. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Casuarina* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.187*	-.287**	-.062	.144	.263**	-.138	.014	-.014	.241**
Sig. (bilateral)	-	.012	.000	.408	.054	.000	.064	.855	.849	.001
N	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico de *Casuarina*, presentaron correlación positiva con la precipitación acumulada y la humedad relativa. Mientras que las correlaciones con tendencias negativas fueron con la temperatura media y máxima.

## Postpico

Tabla 18. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Casuarina* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.121**</b>	.059	<b>.111**</b>	-.010	<b>.075*</b>	<b>-.113**</b>	<b>-.075*</b>	.037	.042
Sig. (bilateral)	-	.000	.066	.001	.767	.020	.000	.024	.255	.187
N	971	971	971	971	971	971	963	910	963	971

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Para el caso del periodo de postpico del tipo polínico *Casuarina*, se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media y mínima) y con la precipitación acumulada, además de presentar correlaciones negativas con la velocidad media y máxima del viento.

## Discusión

A pesar que la Familia Casuarinaceae está conformada por 90 especies (Torrey & Berg, 1988), en México solo se encuentra registrada *Casuarina equisetifolia* como representante de esta familia (INIFAP, ProBosque de Chapultepec, 2008), la cual es utilizada para reforestación de áreas verdes de la Ciudad de México, debido a que tiene la capacidad de desarrollarse en suelos degradados y ayudar a la recuperación de éstos (Fuentes, 2012). Los estudios aerobiológicos realizados en Argentina (Latorre & Pérez, 1997; Nitiu *et al.*, 2003) y Nigeria (Chukwumeka, 2006), reportan que el periodo de polinación de este tipo polínico se presentó en la temporada de lluvias, a diferencia de los estudios realizados en España (García *et al.*, 1997), Australia (Green *et al.*, 2002) y Portugal (Abreu *et al.*, 2003), que registraron este periodo durante el invierno. Sin embargo, la estacionalidad que presentó este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, es mucho más larga, ya que se presentó de junio hasta finales de marzo, lo que representa  $\frac{3}{4}$  partes del año, con un pico principal de producción durante el mes de julio, y un segundo pico de concentración durante el mes de noviembre, este comportamiento es similar a lo que se presentó en la zona de Coyoacán (Fuentes, 2012), atribuyéndose a la marcada diferencia entre la temporada de lluvias y la temporada de secas, ya que en zonas, donde se observan éstos ciclos, como el caso del Valle de México, las Casuarinas tienen la capacidad de presentar dos floraciones al año, e incluso, existe la posibilidad de que este género presente una floración irregular durante todo el año, cuando las temperaturas son altas y las lluvias constantes (Parrota, 1993). La floración de *C. equisetifolia*, que es la especie presente en la Ciudad de México, debería registrarse en los meses de marzo a mayo, sin embargo, los registros con las concentraciones más altas se presentaron de agosto a septiembre.

Al comparar los estudios realizados en la Ciudad de México, Salazar (1995) reportó la aparición de este tipo polínico en la atmósfera, durante todo el año, mientras que otros trabajos establecen la existencia de dos periodos de floración, uno en temporada de lluvias (mayo) y otro en temporada de secas (noviembre) (Bronillet, 1992; Torres, 2006; Fuentes, 2012; Olivé, 2012).

Durante la temporada de prepico, la correlación con la humedad relativa fue positiva, ya que en ocasiones después de algunos días de precipitaciones fuertes, la insolación y las temperaturas de los días siguientes aumentaron, favoreciendo la desecación de las anteras y la liberación del polen. La correlación positiva con la precipitación acumulada, se atribuye a la necesidad de lluvias por parte de este género para un crecimiento óptimo (Parrota, 1993). Las correlaciones negativas se presentaron con la temperatura (media y máxima), atribuyéndose al ciclo biológico de la planta, debido a que la floración inicia durante los meses de junio y julio, donde las temperaturas inician su descenso, resultando en este tipo de relación.

En cuanto a la temporada de postpico, las correlaciones positivas se presentaron con la temperatura (media y mínima), ya que fenológicamente, las concentraciones de granos de polen atmosférico se encuentran en descenso, debido a que ya se liberaron gran parte de los granos de polen producidos para la etapa de floración, por lo que el aumento en la temperatura media y mínima, suponen una contribución, para secar las anteras y poder liberar los granos de polen por acción del viento. Del mismo modo que en la temporada de prepico, durante el postpico, la precipitación acumulada presenta una relación positiva. Mientras que la velocidad del viento (media y máxima) presentaron una relación negativa, que se atribuye a que el aumento en alguno de estos factores, promueve el transporte de los granos de polen en la atmósfera, lejos del muestreador.

La presencia de éste tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec es de gran importancia, ya que se registró durante  $\frac{3}{4}$  partes del año, sin embargo la prevalencia de sensibilización a este tipo polínico es baja, aunque han sido reportados algunos casos de pacientes sensibles a *Casuarina* (García *et al.*, 1997).

## **Myrtaceae**

Esta familia se encuentra formada por 140 géneros y aproximadamente 3800 especies a nivel mundial, se localiza principalmente en Australia, sureste de Asia, África, y en América, desde el ecuador hacia las regiones templadas del polo sur (Wilson *et al.*, 2001; López *et al.*, 2005). Este tipo polínico representa los mirtos y eucaliptos, debido a que su morfología polínica es muy similar. Han sido introducidos a México con gran éxito, con fines ornamentales, medicinales y como combustible (Benavides *et al.*, 2010)

**Especies representativas:** *Callistemon speciosus*, *Eucalyptus* sp., *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cinerea*, *E. globulus*, *E. longifolia*, *E. polyanthemos* y *E. robusta*, aunque también se han registrado individuos del género *Psidium* (*P. guajava*), originarios de México y América Central (INIFAP, ProBosque de Chapultepec, 2008).

**Familia a la que pertenece:** Myrtaceae

**Nombre(s) común(es):** Mirto, arrayán, eucalipto

**Descripción:** Este tipo polínico está conformado por arbustos y árboles que llegan a medir más de 30 m de altura. Es un género de rápido crecimiento, con un follaje perenne. Su tronco es retorcido, con copa extendida o irregular piramidal, corteza lisa, grisácea, fibrosa y caediza. Sus

hojas son dimórficas, las juveniles son amplexicales, opuestas, azuladas, ovadas u ovado lanceoladas, con de base redondeada, sésiles y glaucas, mientras que las hojas maduras son lanceoladas, alternas y pecioladas. Cuentan con glándulas subepidérmicas donde concentran aceites esenciales, que en ocasiones se transforman en filodios. La flores son hermafroditas y dispuestas en distintas inflorescencias, raras veces solitarias (López *et al.*, 2005). Los pétalos en *Myrtus* son libres, mientras que en *Eucalyptus* se encuentran unidos a los sépalos y formando un opérculo que cae en la antesis. El androceo cuenta con numerosos estambres, más largos que los pétalos y dispuestos en series. Gineceo con ovario ínfero. El fruto que produce *Myrtus* es tipo baya, mientras que *Eucalyptus* forma una cápsula (Martínez y Chacalo, 1994; Recio, 1995; López *et al.*, 2005; Trigo *et al.*, 2008).

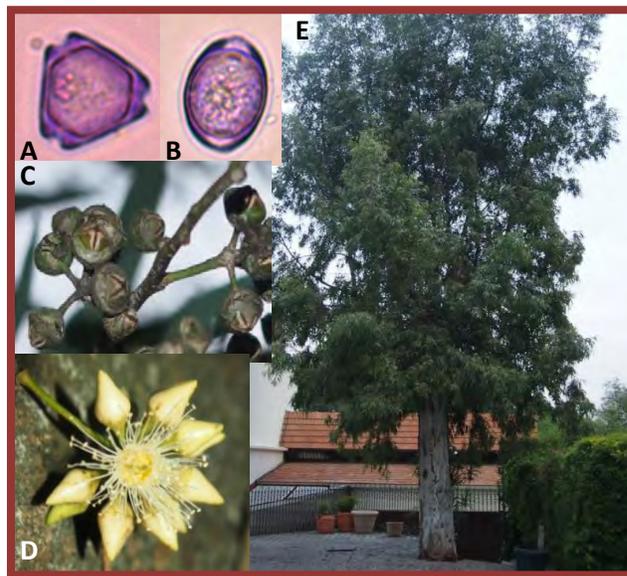


Figura 40. *Eucalyptus* sp. A) grano de polen vista ecuatorial. B) grano de polen vista polar. C) fruto. D) inflorescencia. E) árbol

**Distribución:** Esta familia se desarrolla en lugares cálidos y templados alrededor del mundo, evitando temperaturas extremas. Forman parte del sotobosque de pinares y encinares, en lugares umbrosos. Existen especies introducidas, como *Eucalyptus camaldulensis*, empleado para reforestación de parques, jardines y alineación en las calles. *E. globosus* se utiliza como planta de ornato y de sombra, y en zonas rurales se utiliza para formar cortinas rompe vientos, secar terrenos muy húmedos, recuperación de suelos erosionados y protección de represas (Martínez y Chacalo; 1994, Recio, 1994; Rzedowski y Rzedowski, 2001; López *et al.*, 2005; Olivé, 2012)

**Floración:** la mayoría florece de mayo a junio, aunque existen especies como *E. camaldulensis* que presenta flores casi todo el año (principalmente de enero a octubre). *E. robusta* de junio a septiembre, *E. cinerea* al final de primavera, *E. globulus* en otoño y *E. robusta* de invierno a primavera. *Psidium guajava* florece en primavera (Martínez y Chacalo, 1994; Recio, 1995; López *et al.*, 2005; Trigo *et al.*, 2008; CONABIO, 2012).

**Polinización.** Típicamente entomófila, aunque también se puede dispersar en el aire.

**Alergenicidad:** La alergenidad de este grano de polen se considera baja, y los casos de reacción alérgica que se presentan son pocos (Olivé, 2012; pollen.com, 2012).

**Morfología polínica:** El tipo polínico es un polen trizonocolporado (en ocasiones tetrazonocolporado, sincolporado o parasincolporado), isopolar y radiosimétrico. En vista polar se observa triangular y corte óptico ecuatorial, mientras que en vista ecuatorial se observa elíptico y con corte óptico. Oblado. De tamaño pequeño, con un eje polar de 15-19  $\mu\text{m}$  y un eje ecuatorial de 18-21  $\mu\text{m}$ . Anguloaperturado. Ectoaberturas tipo colpo, estrechos y dispuestos en la zona ecuatorial y fusionándose a nivel de los polos, por lo que se forma una laguna polar triangular. Cada uno de los poros mide 2-3  $\mu\text{m}$  de diámetro. La exina es tecada, con 1-1.5  $\mu\text{m}$  de grosor, el cual aumenta en las zonas cercanas a los poros, donde supera los 2  $\mu\text{m}$  de diámetro. La intina es más delgada, engrosándose cerca de las aperturas. La superficie es psilada cerca de las aperturas y escábrida en el resto del grano de polen. (Roubik *et al.*, 1991; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Las correlaciones que presentaron las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Casuarina*, y distintos parámetros meteorológicos fueron analizadas durante la temporada de prepico (tabla 19) y postpico (tabla 20).

#### Prepico

Tabla 19. Correlación entre los granos de polen de Myrtaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	.085	<b>.095*</b>	.008	<b>-.099*</b>	<b>.357**</b>	<b>.092*</b>	<b>.133**</b>	-.014	<b>-.151**</b>	
Sig. (bilateral)	-	.062	.036	.864	.030	.000	.045	.003	.761	.001	
N	481	481	481	481	481	481	480	480	480	481	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico se registraron correlaciones positivas entre las concentraciones de granos de polen atmosférico y la temperatura máxima, la precipitación acumulada y la velocidad del viento (media y máxima). Las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación y la humedad relativa.

#### Postpico

Tabla 20. Correlación entre los granos de polen de Myrtaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	<b>0.71*</b>	<b>.201**</b>	<b>-.259**</b>	<b>-.368**</b>	<b>-.548**</b>	<b>.129**</b>	<b>-.198**</b>	-.018	<b>-.545**</b>	
Sig. (bilateral)	-	.034	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.586	.000	
N	893	884	884	884	886	893	886	795	884	893	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico, las correlaciones entre las concentraciones de polen atmosférico y los factores meteorológicos presentaron relaciones positivas con la temperatura (media y máxima) y la velocidad media del viento. Sin embargo, las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación, precipitación acumulada, velocidad máxima del viento y la humedad relativa.

### **Discusión:**

Los granos de polen de Myrtaceae se registraron durante todo el año en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, aunque las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de diciembre a junio, como se muestra en el calendario polínico. Esto es resultado de las distintas floraciones que presenta este grupo, dependiendo de la especie que se trate, ya que en el Bosque de Chapultepec se encuentran registradas 9 especies correspondientes a esta familia (*Callistemon speciosus*, *Eucalyptus* sp., *E. camaldulensis*, *E. cinerea*, *E. globulus*, *E. longifolia*, *E. polyanthemos*, *E. robusta* y *Psidium*). El periodo donde las concentraciones de granos de polen de este grupo aumenta en la atmósfera, se atribuye a la sincronización de algunas de las especies durante su floración (Olivé, 2012). Los géneros de *Eucalyptus* sp. y *Callistemon* sp., son nativas de Australia, e introducidas como ornamentales en la reforestación de parques, jardines y camellones (Fuentes, 2012), sin embargo, se ha reportado que algunas especies como *E. globulus* y *E. robusta* han tenido un efecto negativo sobre las especies nativas, favoreciendo la pérdida de la biodiversidad, por lo que se consideran especies invasoras (Bossard *et al.*, 1986; McDonald, 1986).

Se estima que gran parte de los granos de polen colectados de la atmósfera del Bosque de Chapultepec, provienen principalmente de distintos tipos de *Eucalyptus* y *Callistemon*, ya que los mirtos generalmente se encuentran en el sotobosque y se podan con mucha más frecuencia que los árboles, por lo que es más difícil encontrar sus granos de polen en la atmósfera (Recio, 1995).

El comportamiento de este tipo polínico depende mucho de la especie fuente, por lo que en distintos estudios aerobiológicos, como en Uruguay (Tejera y Beri, 2005) y Brasil (Vergamini *et al.*, 2006), registran su presencia en la atmósfera desde mediados de invierno, hasta mediados de primavera. A diferencia de los encontrado en Chile (Rojas y Roure, 2001), Australia (Green *et al.*, 2002), Portugal (Abreu *et al.*, 2003), Argentina (Nitiu *et al.*, 2003; Bianchi y Olabuenaga, 2006) y España (Pérez *et al.*, 2010), desde mediados de primavera hasta el verano. Sin embargo, en Argentina (Gatusso *et al.*, 2003) se reportó la presencia de polen de Mirtáceas durante todo el año, para la ciudad de Rosario, Argentina, donde se dan condiciones meteorológicas similares a las de la Ciudad de México.

Los trabajos realizados previamente en la Ciudad de México, establecen distintos periodos para los meses con mayor concentración de este tipo polínico en el aire, Bronillet (1992) y Salazar (1995) ubican este periodo de enero a marzo, mientras que Rosales (1985) lo ubica de marzo a mayo y Torres (2006) lo establece de febrero a octubre. Aunque a fechas recientes, Fuentes (2012) reportó para la REMA la presencia de Mirtáceas todo el año, en un estudio con duración de dos años en la estación de Coyoacán. También es importante señalar que durante el periodo de muestreo de 2009-2010 este tipo polínico fue el 2° más importante debido a la concentración que se registró, aportando el 18.93% de la producción total anual, con 42 273 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire durante ese año.

El análisis de la relación entre las concentraciones de granos de polen de mirtáceas en la atmósfera del Bosque de Chapultepec con respecto a distintos factores meteorológicos, arrojó que durante la temporada de prepico (tabla 19) se obtuvo una relación positiva con la temperatura máxima debido a que su aumento produce el secado de las anteras, facilitando la dispersión anemófila de este tipo polínico. La relación positiva con respecto a la precipitación acumulada, se relaciona con la disponibilidad de nutrientes y agua durante el desarrollo del polen (Wilson, 2003), mientras que la relación positiva con la velocidad del viento (media y máxima) se debe a que el viento transporta los granos de polen a través de la atmósfera, aumentando sus concentraciones en el sitio de muestreo.

Asimismo, se registró una correlación negativa con la precipitación y la humedad relativa, que se debe a que el aumento en ambas dificulta la liberación y el transporte de los granos de polen en el aire, propiciando la sedimentación de los mismos como resultado del “lavado” de la atmósfera por acción de las lluvias.

Durante la temporada de postpico (tabla 20) se presentaron relaciones positivas con la temperatura (media y máxima) que probablemente se deba, al descenso de las concentraciones de este tipo polínico, que se da gracias a la fenología de la planta, sin embargo, el aumento en estos dos factores propician el secado de las anteras, facilitando la liberación de los granos de polen a la atmósfera por acción del viento, lo cual está relacionado con la relación positiva que se presenta con la velocidad media del viento, ya que un movimiento continuo de los vientos resulta en el mantenimiento de las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera.

En cuanto a las correlaciones negativas, éstas se presentaron con la temperatura mínima, debido a que las concentraciones de este tipo polínico se encuentran en descenso, gracias a la fenología de la planta, mientras que la temperatura mínima se encuentra en ascenso, debido a variaciones estacionales, que es el mismo tipo de relación que se presenta con la precipitación acumulada, ya que este es un periodo de lluvias. Aunque la relación negativa con la precipitación también se da por el “lavado” de la atmósfera, que propicia la sedimentación de las partículas, por lo que las concentraciones de este y otros granos de polen disminuyen. La correlación negativa con la velocidad máxima del viento, se atribuye al movimiento de los granos de polen por en la atmósfera, y en este caso, los vientos fuertes promueven el transporte de los granos de polen lejos del muestreador, disminuyendo las concentraciones en el sitio de muestreo, además de dificultar la captura de los granos de polen, debido a la rapidez con la que los granos de polen son transportados. Finalmente, la humedad relativa, afecta negativamente la liberación de los granos de polen, debido a la humedad que absorben las anteras, siendo difícil la liberación de los granos de polen, hasta que estas se encuentren secas.

En cuanto a su alergenicidad, este tipo polínico se considera con una capacidad alergénica de moderada a baja (Singh, 1987). Debido a que se ha reportado la alergia a granos de polen de Eucalipto y/o a su aceite, provocando alergias respiratorias o cutáneas por la exposición a estos (Galdi *et al.*, 2003).

Como ya se dijo, este es una familia con especies que se consideran invasoras (los géneros *Eucalyptus* sp. y *Callistemon* sp.), aunque todavía se utiliza como una especie ornamental en parques y jardines.

## Poaceae

Esta familia es cosmopolita y está formada por cerca de 10, 000 especies, con la capacidad de crecer en cualquier hábitat. Dentro de este grupo se encuentran, tanto pastos silvestres como cultivados, ya sean cereales u ornamentales. (Olivé, 2012).

**Especies representativas:** *Hilaria cenchroides*, *Panicum bulbosum*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum tenellum*, *Pennisetum villosum*, *Poa annua*, *Sporobolus indicus*, *Eragostis intermedia*. También se encuentran *Setaria geniculata*, *Stipa leucotricha*, *Tripsacum dactyloides*, *Bromus carinatus* y *Bromus catharticus* (Rzedowski y Rzedowski, 2001; INIFAP, ProBosquede Chapultepec, 2008).

**Familia a la que pertenece:** Poaceae

**Nombre(s) común(es):** Pasto, banderilla, grama del cerro, bromo, pipil, cebadilla, zacate, pasto nativo, panicum, pasto miel, grama de agua, zacate plumoso, pasto de invierno, zacate azul, cepillo de botellas, plumerillo, pasto alambre, pericón, maicillo.

**Descripción:** Los pastos son plantas herbáceas anuales o perennes, rizomatosas o estoloníferas, generalmente de tallos erectos, cilíndricos, largos y huecos. Hojas alternas, dispuestas en dos filas y diferenciadas en una vaina alrededor del tallo y un limbo linear-lanceolado y divergente. Inflorescencias de tipo espiga, racimo o panícula de espiguillas. Cada espiguilla cuenta con una o más flores y normalmente dos brácteas o glumas en la base. Las flores son modificadas, con el periantio ausente o formado por dos o tres escamas pequeñas. Androceo con uno a tres (incluso hasta seis) estambres con filamentos largos y delgados, anteras versátiles. El ovario es súpero, unicarpelar, rematado por dos o tres estigmas plumosos. El fruto es cariósipide (rara vez aquenio) y las semillas cuentan con endospermo amiláceo (Recio, 1995; Trigo *et al.*, 2008; CONABIO, 2012; Olivé, 2012)

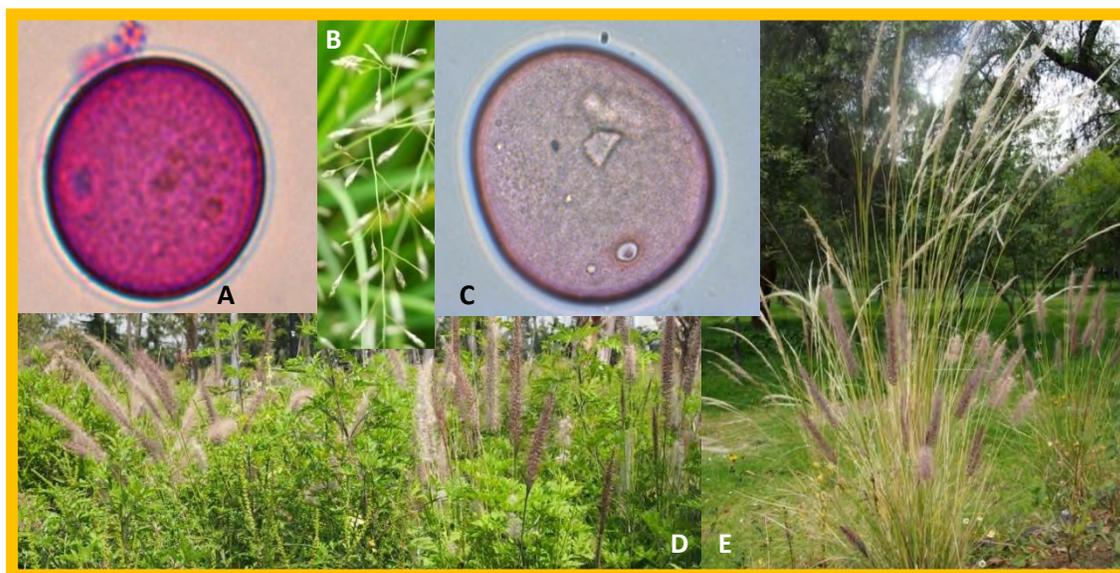


Figura 41. Poaceae. A) Grano de polen de *Panicum* sp. B) pasto en floración C) Grano de polen de Maíz. D-E) Pastos en floración.

**Distribución:** Este grupo cuenta con una distribución cosmopolita, por lo que su crecimiento se considera natural en gran parte del planeta (Agashe y Caulton, 2009; Blanca *et al.*, 2009). Es capaz de crecer en gran variedad de lugares, como praderas y pastizales, además de zonas abandonadas y grietas. Se puede encontrar desde zonas al nivel del mar, hasta zonas con gran elevación, como montañas. En la delegación Miguel Hidalgo, podemos encontrarla cultivada a lo largo de parques, camellones o sitios con poca vegetación (Olivé, 2012).

**Floración:** La floración de este grupo es muy prolongada, ya que puede durar casi todo el año, ya que se encuentra compuesta por distintas especies que florecen sucesivamente, aunque es más frecuente durante la primavera (Trigo *et al.*, 2008).

**Polinización:** Anemófila

**Morfología polínica:** la morfología de los granos de polen de los pastos es muy similar, tanto de los silvestres, como cultivados. Las generalidades que comparten son: monoanaporado, heteropolar, radiosimétrico. Con vista polar circular y en vista ecuatorial se puede observar circular o ligeramente elíptico u ovoide. De forma esferoidal o prolado-esferoidal, de tamaño pequeño a mediano, entre 25-40  $\mu\text{m}$  de diámetro, aunque existen casos como los cereales cultivados, donde pueden alcanzar los 100  $\mu\text{m}$ . Abertura tipo poro, en el polo distal y cubierto por un opérculo La exina es tecada con 1-2 $\mu\text{m}$  de grosor, y se engrosa alrededor de la apertura, formando un anillo. Superficie granulada a rugulada. La intina generalmente es más gruesa que la exina. Engrosándose por debajo de la apertura. Polen monoporado (Bassett *et al.*, 1978; Recio, 1995; Ludow *et al.*, 2003; Agashe y Caulton, 2009; Trigo *et al.*, 2008).

**Alergenicidad:** La capacidad alérgica de este grupo va a depender de la especie a la que se esté expuesto. Se sabe que existen más de 200 especies de pastos capaces de provocar una respuesta alérgica, sin embargo, los más ampliamente distribuidos y estudiados en el mundo son *Alopecurus*, *Dactylis*, *Lolium perenne* y *Phleum* (Agashe y Caulton, 2009).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

La temporada de polinación principal de los pastos se dividió en prepico (tabla 21) y postpico (tabla 22), para ser relacionado con algunas variables meteorológicas.

#### Prepico

Tabla 21. Correlación entre las concentraciones del tipo polínico Poaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.012	<b>.108**</b>	<b>-.148**</b>	<b>-.348**</b>	<b>-.223**</b>	<b>.210**</b>	<b>.084*</b>	-.031	<b>-.184**</b>
Sig. (bilateral)	-	.725	.001	.000	.000	.000	.000	.013	.349	.000
N	901	886	886	886	889	901	893	867	891	901

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 20), las concentraciones de granos de polen atmosférico registraron correlaciones positivas con la temperatura máxima, la velocidad media y la velocidad máxima del viento. En cuanto a las correlaciones negativas, estas se presentaron con la temperatura mínima, la precipitación, precipitación acumulada y la humedad relativa.

### Postpico

Tabla 22. Correlación entre las concentraciones del tipo polínico Poaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.032	.061	-.193**	-.301**	-.196**	.406**	.092**	.047	-.316**
Sig. (bilateral)	-	.348	.071	.000	.000	.000	.000	.008	.156	.000
N	901	887	887	887	890	901	901	836	899	901

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 21), se presentaron correlaciones positivas entre los granos de polen atmosférico de los pastos y la velocidad media y máxima del viento. Mientras que las correlaciones negativas fueron con la temperatura mínima, la precipitación, la precipitación acumulada y la humedad relativa

### Discusión:

En la Ciudad de México los pastos se encuentran representados por 206 géneros de los cuales, 49 son introducidos. Ésta familia es una de las angiospermas más importantes económicamente hablando, debido a que gran parte de la alimentación humana se basa en algunas de estas especies, como maíz, arroz, trigo, sorgo, avena, cebada, caña de azúcar, entre otros, también existen especies silvestres que se cultivan con el fin de alimentar al ganado, como *Avena sp.*, *Hordeum sp.*, *Dactylis sp.* y *Festuca sp.*, asimismo, existen especies que se utilizan para algunas áreas verdes urbanas como camellones y banquetas, debido a que son formadoras de césped, como *Lolium sp.*, *Pennistum sp.* y *Cynodon sp.* En cuanto a la importancia ecológica de esta familia, se encuentra la gran diversidad de especies, de individuos y el papel que representa en diferentes comunidades vegetales, como los pastizales o las praderas. Específicamente en la Ciudad de México, los géneros predominantes son *Bouteloua sp.*, *Hilaria sp.*, *Distichlis sp.*, *Eragrostis sp.*, *Muhlenbergia sp.*, *Andropogon sp.*, *Calamagrostis sp.*, *Festuca sp.*, *Buchloë sp.* y *Aristida sp.* (Valdés y Dávila, 1995; Rzedowski y Rzedowski, 2005).

La fenología anual o perenne de las distintas especies de esta familia, se ven afectadas por los distintos factores ambientales, como las lluvias, temperatura, fotoperiodo, etc. lo que resulta en distintos comportamientos a lo largo del año (Laaidi, 2001). Debido a que la población de pastos en la Ciudad de México se encuentra representada por más de un género, por lo que es posible encontrar este tipo polínico durante todo el año, como se ha reportado en otros países (Dvorin *et al.*, 2001; Nitiu *et al.*, 2003; Katelaris y Burke, 2003; Abreu *et al.*, 2003; Latorre y Belmonte, 2004; Weryszko y Piotrowska; 2004; Tejera y Beri, 2005; Peternel *et al.*, 2006; Kizilpinar *et al.*, 2011). A pesar de esto, se puede registrar un periodo de concentraciones máximas durante

la primavera y el verano. En cuanto a México se refiere, los estudios aeropalinológicos (Rosales, 1985; Bronillet, 1992; Salazar, 1995; Torres, 2006) reportan el registro de granos de polen de pastos durante todo el año, con un periodo de concentración máxima durante la temporada de junio a octubre, que corresponde a la temporada de lluvias. Éstos registros previos, concuerdan con lo encontrado en el Bosque de Chapultepec, donde se observó la presencia de granos de polen de pasto durante todo el año, y se atribuye a las diferencias en el periodo de floración de los 76 géneros de pastos reportados en el Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

Durante el periodo de prepico (tabla 20), las concentraciones atmosféricas de polen de pastos presentaron correlaciones positivas con la temperatura máxima, gracias a que el aumento en la temperatura, permite que se sequen las anteras y expongan los granos de polen a la atmósfera, por acción de los vientos, con los que también presentaron correlaciones positivas (velocidad media y máxima del viento), esta relación se establece, principalmente por las características anemófilas del grupo, y el aumento en la velocidad de los vientos promueve el levantamiento de los granos de polen desde los pastos, que en su generalidad se encuentran a ras de piso, además de promover la suspensión de éstos en la atmósfera.

Las correlaciones negativas se presentaron con la temperatura mínima, debido a que un aumento excesivo de este factor puede promover la marchitez de la planta. Otra correlación negativa fue con la precipitación, que se atribuye al “lavado” de la atmósfera que producen las lluvias, promoviendo la sedimentación de los granos de polen. La relación con la humedad relativa, promueve el cierre de las anteras, del mismo caso que en el resto de las plantas anemófilas, dificultando la liberación de los granos de polen.

Durante el periodo de postpico, las correlaciones positivas se presentaron con la temperatura mínima, debido a que este factor se encuentra en descenso, por lo que ligeros aumentos en la temperatura mínima resultan favorables para el secado de las anteras y la liberación de los granos de polen.

Este tipo polínico es de gran importancia en cuanto a alergenicidad se refiere, ya que la incidencia de pacientes con polinosis es alta (Larenas *et al.*, 2009). Es importante recalcar que no todos los pastos producen los mismos alérgenos, por lo que es importante el estudio de los diferentes alérgenos de este grupo en el aire, ya que no es posible diferenciarlos por microscopía óptica. Los géneros que se consideran más alérgicos alrededor del mundo, son *Alopecurus*, *Dactylis*, *Lolium perenne* y *Phleum* (Agashe y Caulton, 2009). Y el grupo en total aportó entre el 1.8 – 5.3 % de la producción total anual, durante el periodo de muestreo, por lo que su presencia en el ambiente se considera importante.

## **Quercus**

Este género es considerado uno de los más importantes dentro de las fagáceas, se encuentra representado por cerca de 300 especies en el área boreal, principalmente en América del Norte (Acedo, 2004).

**Especies representativas:** *Quercus excelsa*, *Quercus ilex*, *Quercus ruber*, *Quercus rugosa*

**Familia a la que pertenece:** Fagaceae

**Nombre(s) común(es):** Encino, encino blanco, encino chino, roble, toczuz, palo china y urika.

**Descripción:** Este género abarca desde árboles o arbustos, con alturas que van de los 2 a los 30 m. Son monoicos, perennifolios o caducifolios. Su copa es amplia y redondeada, provocando una sombra densa y con crecimiento lento. La corteza tiene profundas fisuras de color café oscuro. Las hojas son simples y alternas, enteras, aserradas, lobuladas a pinatipartidas. Con flores masculinas en amentos colgantes, mientras que las femeninas son solitarias y dispuestas en un pedúnculo largo y delgado. Los frutos son bellotas largas, aunque pueden presentarse en grupos de 2 o 3, rodeadas en un tercio por cápsulas poco profundas y cubiertas de escamas, que son delgadas, agudas y de un color café negruzco con pedúnculos cortos (Reiche, 1963; Rzedowski, 1981; Martínez y Chacalo, 1994; Acedo, 2004).



Figura 42. *Quercus* spp. A) grano de polen vista polar. B) grano de polen vista ecuatorial. C) inflorescencia masculina. D) fruto. E) Árbol

**Distribución:** Los encinos se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas boscosas y montañosas. Debido a que su desarrollo se favorece en laderas de cerros, barrancas y cañadas, así como en terrenos planos, tolerando lugares secos o muy húmedos. Son más abundantes en regiones con climas templados fríos y semifríos. Se establecen sobre roca madre, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica, de igual modo que en suelos profundos y terrenos aluviales planos. En México, podemos encontrarlos en casi todo el país, de norte a sur, exceptuando los estados de Quintana Roo y Yucatán, presentándose hasta los 3100 m. s. n. m., siendo más abundantes entre los 1200 y 2800 m.s.n.m. Aunque las poblaciones más abundantes se observan en el centro del país, donde forman bosques extensos (Rzedowski, 1981; Trigo *et al.*, 1998; Valencia y Cartujano, 2002; Olivé, 2012)

**Floración:** La floración es en primavera, aunque según la especie puede comenzar desde finales de febrero hasta principios de junio. *Q. rugosa* florece de octubre a febrero (Acedo, 2004; Valencia y Cartujano, 2002).

**Polinización.** Principalmente es anemófila, aunque debido a su elevada población, producción floral y polínica, su polen tiene gran importancia como alimento para las abejas (Recio *et al.*, 1999)

**Alergenicidad:** Es considerado como un grano de polen con alergenidad alta en Norteamérica (pollen.com), debido a que presenta reactividad cruzada con los individuos de su familia (Fagales) y con algunas betuláceas (Weber, 2001)

**Morfología polínica:** Grano de polen trizonocolporado, isopolar, simetría radial. Con forma circular o ligeramente elíptico en vista ecuatorial, mientras que en vista polar se observa subcircular a subtriangular ánguloaperturado, con ángulos obtusos y aristas ligeramente convexas. De suboblado a subprolado. Tamaño pequeño a mediano, con el eje polar de 27-36  $\mu\text{m}$  y el eje ecuatorial de 37-40  $\mu\text{m}$ . Generalmente es trizonocolpado o trizonoporado, dependiendo de la especie, las ectoaberturas son tipo colpo, largas, estrechas y terminales. Cuentan con una membrana granulosa en las aberturas. Superficie reticulada o granulosa-verrucosa. (Moore *et al.*, 1991; Recio, 1994; Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Para el análisis de las correlaciones presentes entre este tipo polínico en la atmósfera y distintas variables meteorológicas, la temporada de polinación principal fue dividida en la temporada de prepico (tabla 23) y postpico (tabla 24).

#### Prepico

Tabla 23. Correlación entre los granos de polen de *Quercus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	.572**	.497**	.500**	-.076	.449**	.219**	.124*	-.027	-.144**	
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.151	.000	.000	.029	.608	.006	
N	359	359	359	359	359	359	359	308	359	359	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 23), se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), la precipitación acumulada y la velocidad del viento (media y máxima). La única relación negativa se presentó con la humedad relativa.

## Postpico

Tabla 24. Correlación entre los granos de polen de *Quercus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.087	-.096	<b>-.284**</b>	<b>-.252**</b>	<b>-.215**</b>	<b>.151**</b>	-.034	.054	<b>-.398**</b>
Sig. (bilateral)	-	.084	.057	.000	.000	.000	.003	.520	286	.000
N	398	391	391	391	391	398	398	358	398	398

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Las concentraciones registradas durante la temporada de postpico del tipo polínico *Quercus* (tabla 24), presentaron una correlación positiva con la velocidad media del viento. Mientras que las relaciones negativas se presentaron con la temperatura mínima, la precipitación y precipitación acumulada, además de la humedad relativa.

## Discusión:

El género *Quercus*, es el único género de la familia Fagaceae que se presenta de manera natural en México (Rzedowski y Rzedowski, 2005), y en el Bosque de Chapultepec se encuentran registradas 4 especies (*Quercus excelsa*, *Quercus ilex*, *Quercus ruber*, *Quercus rugosa*, *Quercus* sp.). El tipo polínico *Quercus* se presentó en la atmósfera de Chapultepec, principalmente de finales de noviembre a mediados de junio, con las mayores concentraciones durante los meses de marzo y abril. Estos resultados corresponden con lo reportado para el tiempo de floración de este género, cuando se encuentran en zonas cerca del ecuador, ya que en individuos que habitan sitios como Estados Unidos (Dvorin *et al.*, 2001) y Europa la floración inicia entre abril y mayo (Romano *et al.*, 1988; Spiekma, 1991; Nilsson y Spiekma, 1992; Moreno-Grau *et al.*, 2000; Spiekma *et al.*, 2003; Weryszko y Piotrowska, 2004). Este comportamiento se debe a la necesidad de este grupo por alcanzar una temperatura acumulada, dentro de un umbral cercano a los 11 °C, que se alcanza en menor tiempo, cuando el hábitat de desarrollo se encuentra más cercano al ecuador (García *et al.*, 2000). En cuanto a los trabajos realizados previamente en la Ciudad de México, Salazar (1995), en el sur y Cid (2007) en el norte, reportaron el mismo periodo de polinación para este tipo polínico, que el encontrado en este estudio.

La producción y liberación de granos de polen de *Quercus* se ven afectados principalmente por la temperatura (Norris-Hill, 1998; Recio *et al.*, 1999; Corden y Millington, 1999). Aunque el periodo principal de polinación se da desde mediados de marzo, que es la temporada de floración de acuerdo con la zona en la que se ubica el muestreo (Yan *et al.*, 2004; Linkosalo *et al.*, 2006). Al ser un género típicamente anemófilo (Trigo *et al.*, 2008), sus concentraciones atmosféricas, se ven afectadas por los distintos factores meteorológicos, por lo que se realizaron pruebas estadísticas con el fin de saber cómo se relacionan.

Durante el periodo de prepico (tabla 23), se presentaron relaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), estas relaciones se atribuyen a la dehiscencia de las anteras, que se presenta como un mecanismo controlado por el incremento de la temperatura y la

disminución de la humedad relativa, con procesos de diferenciación y degeneración celular con el que se promueve la liberación de las anteras y la exposición de los granos de polen, para ser liberados por acción del viento (Picini, 2008; Yang *et al.*, 2009), con los que también se presentaron correlaciones positivas (velocidad media y máxima del viento), ya que el aumento en estos factores, liberan los granos de polen de las anteras hacia la atmósfera, y los suspenden en el aire, para ser transportados. También se presentó una correlación positiva con la precipitación acumulada, que se atribuye a la necesidad de agua disponible de parte de las plantas para el desarrollo de los granos de polen, además de la parte fisiológica de las concentraciones de granos de polen que se encuentra en aumento durante el inicio de la temporada de lluvias, por lo que se observa un crecimiento de las dos variables.

Durante la temporada de postpico (tabla 24) se registró una relación positiva con la velocidad media del viento, debido a que es un polen anemófilo y a pesar que las concentraciones de este tipo polínico se encitraban en descenso como resultado de la fenología de la planta, los vientos constantes promovieron el transporte desde otros sitios, al sitio de muestreo. Mientras que las relaciones negativas se presentaron con la temperatura mínima y la precipitación acumulada, que se atribuye principalmente a la fenología de la planta, en la que las concentraciones de polen atmosférico disminuyen al mismo tiempo en que la temperatura mínima y la precipitación acumulada se encuentran en aumento de acuerdo al clima de esa temporada. Sin embargo, la precipitación tiene un efecto mucho más directo sobre las concentraciones de polen atmosférico, ya que la presencia de lluvias promueve la sedimentación de las aeropartículas, debido a un “lavado” de la atmósfera. Finalmente, la humedad relativa, al igual que en el resto de los tipos polínicos, el aumento en este factor meteorológico, promueve el cierre de las anteras, dificultando la liberación de los granos de polen por acción del viento.

El tipo polínico de *Quercus* es considerado un alérgeno importante, ya que es uno de los sensibilizadores más comunes en pacientes con alergia respiratoria alrededor del mundo y en la Ciudad de México (Ontiveros *et al.*, 1995; Tabarez *et al.*, 1996; Enríquez *et al.*, 1997; Sienna, 2000; Suárez, 2007; Álvarez y Torres, 2009; Morfin *et al.*, 2009), así como Guadalajara (Bedolla y Hernández, 2010) y Monterrey (Rocha *et al.*, 2009). Aunado a esto, se ha reportado la reactividad cruzada con otros géneros de su familia (*Castanea* sp. y *Fagus* sp.) además de *Fraxinus* sp., *Alnus* sp., y *Cupressus* sp. (Mazzitelli y Gilli, 2003; Suárez, 2007).

## **Urticaceae**

**Especies representativas:** *Parietaria pensylvanica* Muhl, *Urtica dioica* var. *angustifolia*, *U. urens*, *U. mexicana*, *U. Chamaedryoides* (Rzedowski y Rzedowski, 2005), también se tiene registro de *Soleirolia soleirolii* (Req.) Dandy (Benavides *et al.*, 2010).

**Familia a la que pertenece:** Urticaceae

**Nombre(s) común(es):** Ortigas, parietaria, hierba de muro, hierba caracolera, vidriola, pelosilla, pulitaina, lágrima de niño.

**Descripción:** Son hierbas anuales y perennes, monoicas o dioicas, a veces leñosas en la base, algunas especies, como *Parietaria* cuentan con pelos urticantes. Las hojas de este grupo son

simples y opuestas, con forma de oval a elíptica y borde dentado. Presentan inflorescencias axilares, formadas por pocas flores, las cuales pueden ser femeninas, masculinas o hermafroditas. El periantio cuenta con cuatro piezas sepaloideas. El androceo cuenta con cuatro estambres, opuestos a las piezas periantales, y explosivos en el caso de *Parietaria*. El gineceo tiene un estigma multifido. El fruto es un aquenio pequeño (López *et al.*, 2000; Rzedowski y Rzedowski, 2005; Trigo *et al.*, 2008).



Figura 43. *Urtica* sp. A) grano de polen vista polar. B) Ramas floríferas

**Distribución:** Es un género de amplia distribución en regiones tropicales y templadas. Las especies mexicanas como *P. pensylvanica* y *U. dioica* se encuentran distribuidas de forma natural en bosques y matorrales del Valle de México, mientras que *U. urens* es una especie ruderal (ocupando espacios alterados por actividades humanas), distribuida en la zona oeste y sur de la Ciudad de México (Fuentes, 2012). También crecen como mala hierba en lugares deshabitados, con paredes de ladrillo o piedra, en suelos enriquecidos con nitrógeno (Steinmann, 2005)

**Floración:** Es posible encontrarlas a lo largo del año, sin embargo, la mayor concentración de *Parietaria* se presenta de enero a octubre, de febrero a noviembre *Urtica membranosa*, y de mayo a julio *U. dioica*. Es posible que las urticáceas presenten dos ciclos, uno largo en primavera y otro más corto en otoño (Baltazar y Martí, 2002; Steinmann, 2005).

**Polinización:** Anemófila, ya que los estambres de este grupo se encuentran curvados hacia el interior de la flor, los cuales se extienden violentamente hacia afuera cuando llegan a su etapa de maduración, este movimiento produce una pequeña nube cargada de granos de polen, los cuales son dispersados por el viento (Recio, 1995; Baltazar y Martí, 2002; Olivé, 2102)

**Alergenicidad:** para *Urtica* se considera una alergenidad moderada, mientras que *Parietaria* tiene una alergenidad alta (pollen.com), aunque no presentan reactividad cruzada entre ambos géneros (Damián *et al.*, 2002)

**Morfología Polínica:** Se trata de un grano de polen trizonoporado (incluso 4-5 poros), isopolar o apolar, radiosimétrico. Se observa circular en corte óptico. Tiene un tamaño pequeño, de 13 a 20  $\mu\text{m}$ . Los poros son simples, de 1.5-2  $\mu\text{m}$  de diámetro. La superficie se encuentra ornamentada de forma microequinulada-granulosa, además de pequeñas espículas y gránulos distribuidos por la superficie del grano de polen. La intina se engrosa en las zonas debajo de los

poros, formando oncos. (Hyde, 1954; Recio, 1995; Baltazar y Martí, 2002; Ludlow *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012)

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizó la relación entre las concentraciones del tipo polínico Urticaceae en la atmósfera, con respecto a distintas variables meteorológicas, dividiendo la temporada de principal de polinización en prepico (tabla 25) y postpico (tabla 26).

#### Prepico

Tabla 25. Correlación entre los granos de polen de Urticaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.152**</b>	<b>.152**</b>	-.027	<b>-.180**</b>	-.003	.050	-.057	.019	<b>-.260**</b>
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.445	.000	.932	.163	.132	.600	.000
N	781	781	781	781	781	781	773	703	773	781

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante el periodo de prepico, la temperatura media y máxima presentaron correlaciones positivas, mientras que la precipitación y la humedad relativa presentaron correlaciones negativas con los granos de polen atmosférico de Urticaceae.

#### Postpico

Tabla 26. Correlación entre los granos de polen de Urticaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.131**</b>	<b>.186**</b>	<b>-.107**</b>	<b>-.348**</b>	<b>-.313**</b>	.066	.054	-.048	<b>-.373**</b>
Sig. (bilateral)	-	.001	.000	.007	.000	.000	.099	.182	.226	.000
N	781	637	637	637	637	637	637	622	637	637

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 26) las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, se vieron afectadas positivamente por la temperatura media y máxima. Sin embargo, la temperatura mínima presentó una relación negativa con las concentraciones atmosféricas de este grano de polen, del mismo modo que la precipitación, la precipitación acumulada y la humedad relativa.

## Discusión:

Esta familia, se encuentra conformada por 45 géneros, de los cuales, dos tienen granos de polen altamente aerovagantes, *Urtica* y *Parietaria* (López *et al.*, 2000). Y aunque no se tiene un reporte o listado de todas las especies herbáceas presentes en el Bosque de Chapultepec, se ha reportado la existencia de urticáceas como *Soleirolia soleirolii* (Benavides *et al.*, 2010), además de existir un registro de diversas especies de *Urtica* y *Parietaria* nativas del Valle de México, dentro de las inmediaciones de la delegación Miguel Hidalgo, que corresponde al territorio donde se encuentra localizado el Bosque de Chapultepec (Rzedowsky y Rzedowsky, 2001). Para la Ciudad de México, se presentan 3 géneros de esta familia, una especie de *Parietaria* sp. (*P. pensylvanica* Muhl.), cinco especies distintas de *Urtica* sp. (*U. chamaedryoides* Pursh., *U. dioica* L., *U. mexicana* Liebm., *U. subincisa* Benth. y *U. urens* L.), y una especie de *Soleirolia* sp. (*S. soleirolii*) (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

Este tipo polínico se encontró en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante todo el año, con un aumento en las concentraciones durante los meses de marzo y abril, como se muestra en el Calendario Polínico (figura 34). Este dato concuerda con lo reportado por Abreu *et al.* (2003) que registró este tipo polínico en la atmósfera de Portugal a lo largo de todo el año. Esto se atribuye a la variedad de especies presentes en el sitio de muestreo y las condiciones ambientales a las que está sometido, un ejemplo, es lo reportado por Díaz de la Guardia *et al.* (1998), estableció el periodo de floración para *Parietaria judica* de finales de octubre a principios de agosto, con un aumento en las concentraciones durante los meses de enero a abril, este comportamiento es similar a lo que reportan distintos autores españoles (Domínguez *et al.*, 1984, Trigo *et al.*, 1996). Sin embargo en lugares con climas distintos como lo son Londres (Emberlin y Norris-Hill, 1992) y en Perugia, Italia (Fornaciari *et al.*, 1992) la mayor concentración atmosférica de este tipo polínico se registró durante el verano, mientras que en Argentina, el periodo de mayor concentración se presentó en invierno (Nitiu *et al.*, 2003). Lo que indica que las condiciones ambientales a las que se somete la planta afectan su fenología y por lo tanto la producción y liberación de granos de polen a la atmósfera. En cuanto a los estudios realizados en la Ciudad de México (Rosales, 1985; Salazar, 1995), se estableció el periodo de polinación de febrero a mayo, concordando con lo que reporta la estación de la REMA en Coyoacán (Fuentes, 2012). Sin embargo, este tipo polínico se presentó durante todo el año en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, que se atribuye a las distintas especies presentes en la zona.

Para el análisis de las relaciones entre las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico con respecto a diversas variables meteorológicas, la temporada de polinación se dividió en periodo prepico (tabla 25) y postpico (tabla 26).

En el periodo de prepico, se presentaron correlaciones positivas con la temperatura media y máxima, que es similar a lo encontrado por otros autores, donde la temperatura media y máxima tuvieron un impacto positivo sobre las concentraciones atmosféricas, así como la temperatura acumulada (Corden y Millington, 1991; Emberlin y Norris-Hill, 1991; González *et al.* 1997; Díaz de la Guardia, 1998). Mientras que la precipitación y la humedad relativa presentaron un efecto negativo sobre las concentraciones de polen atmosférico, gracias al “lavado” de la atmósfera que se produce con las lluvias, y propicia la sedimentación de las aeropartículas, mientras que la humedad relativa dificulta la liberación de los granos de polen, ya que el aumento de este factor, promueve el cierre de las anteras, evitando que los granos de polen sean liberados por el viento.

Durante la temporada de postpico la temperatura máxima y media afectaron positivamente a las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, sin embargo, la temperatura mínima presentó una relación negativa, que podría relacionarse con la marchitez que promueve la elevación en la temperatura mínima, reduciendo la producción y liberación de granos de polen a la atmósfera. La precipitación y la humedad relativa presentaron una relación negativa, que se explican del mismo modo que en el periodo de prepico. La relación negativa que se presentó con la precipitación acumulada, se atribuye a la fenología de la planta, ya que las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en descenso como parte del ciclo natural de la planta, mientras que la precipitación acumulada se encuentra en ascenso gracias a la temporada de lluvias, aunado a esto, existen especies en donde es necesario la presencia de un estrés hídrico para promover la floración (Boot *et al.*, 1986).

La alergenicidad de este tipo polínico es importante, ya que se registró durante todo el año, y se considera un alergen importante en Europa y Estados Unidos, debido a que es un inductor de dermatitis y urticaria (Vega *et al.*, 2006). Y aunque las especies que se consideran las más alergénicas (*P. judica* y *P. officinalis*) no se encuentran registradas en la Ciudad de México, existen pacientes que dan positivo en las pruebas cutáneas (Larenas *et al.*, 2009). También es importante recalcar que morfológicamente su diferenciación por microscopía óptica es muy complicada, por lo que la identificación se realiza hasta familia.

### **Ligustrum**

Este árbol es endémico de Japón, India y otros países europeos y representa al menos el 50% de los árboles inventariados en el bosque de Chapultepec (GDF, 2006; Orozco, 2007; INIFAP, ProBosquede Chapultepec, 2008), hecho que posiblemente sea resultado de la reforestación durante el Porfiriato (Orozco, 2007).

**Especies representativas:** *Ligustrum confusum*, *L. japonicum*, *L. vulgare* y *L. lucidum*.

**Familia a la que pertenece:** Oleaceae

**Nombre(s) común(es):** Trueno, aligustre

**Descripción:** Son árboles que alcanzan a medir hasta 8 m de alto, monoicos, perennifolios. Sus ramas son dispersas y lenticeladas, resultando en una copa redondeada u oblonga. La corteza es dura, lisa y grisácea. Las hojas son simples, opuestas, ovaladas u oblongo-elípticas, ápice de obtuso a agudo, con base redondeada y margen entero. Produce el glucósido oleuropeína, que es característico de la familia de las oleáceas. Las flores que presenta son blancas, pequeñas y con panículas terminales. El fruto es una drupa semejante a una baya, oblonga y de color negro azulado (Martínez y Chacalo, 1994; Olivé, 2012).

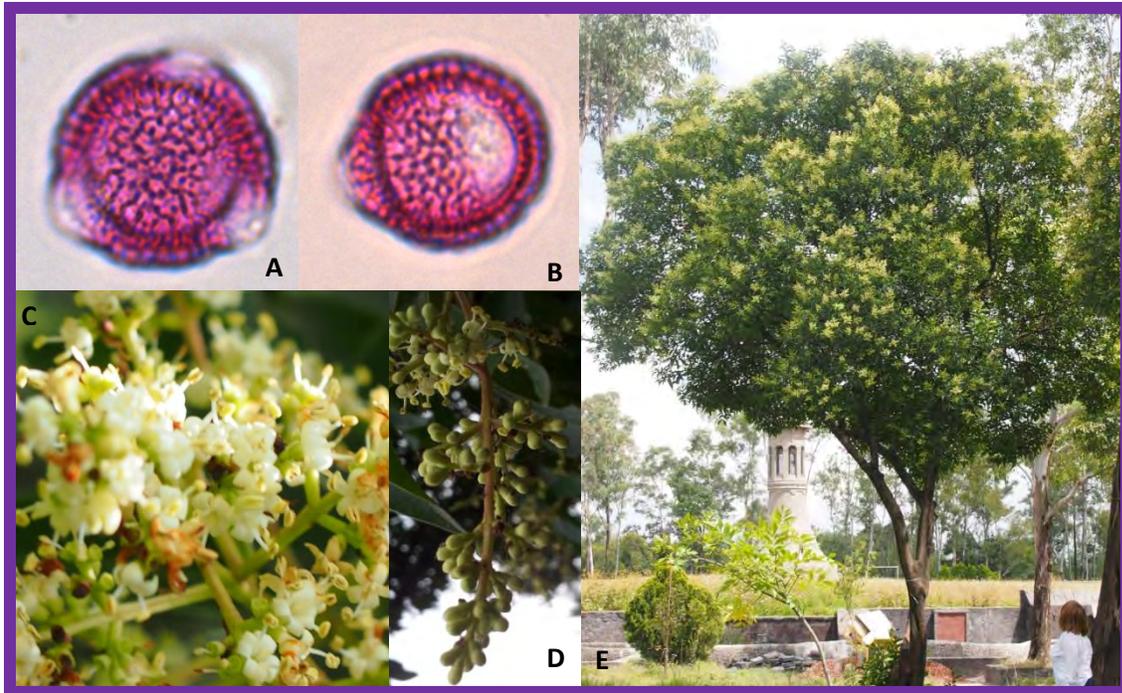


Figura 44. *Ligustrum* sp. A) Grano de polen vista polar. B) Grano de polen vista ecuatorial. C-D) Inflorescencias. D) Flores

**Distribución:** Este género es una especie introducida, por lo que se le utiliza en la reforestación, de parques y camellones, alineaciones en las calles y avenidas (Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** Su floración tiene lugar en verano (Martínez y Chacalo, 1994)

**Polinización:** Entomófila

**Alergenicidad:** Debido a que la familia a la que pertenece cuenta con distintos géneros altamente alergénicos, es posible que presente reactividad cruzada con alguna de estas oleáceas, como *Fraxinus* u *Olea* (Bousquet *et al.*, 1985; Obispo *et al.*, 1993; Alché y Rodríguez, 1997; Gastaminza *et al.*, 2005).

**Morfología Polínica:** Se trata de un grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Se observa de subcircular a circular lobulado en vista polar y corte óptico ecuatorial, mientras que en vista ecuatorial se observa de subcircular a ligeramente elíptico y corte óptico meridiano. Cuenta con un tamaño mediano, debido a que el eje polar mide 25-30  $\mu\text{m}$  y el eje ecuatorial 25-32  $\mu\text{m}$ . Las aberturas son compuestas, ectoaberturas tipo colpo, subterminales, y endoaberturas de tipo poro, difusas. Su morfología polínica es bastante similar a la del olivo, del que puede distinguirse por el grosor de la exina y por la mayor anchura que alcanzan los lúmenes del retículo. Exina de 3-4  $\mu\text{m}$  de grosor, con superficie reticulada, lúmenes anchos (hasta 5  $\mu\text{m}$  de diámetro) y muros lisos. La intina cuenta con engrosamientos bajo las aberturas (oncus). (Hyde, 1954; Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012)

## Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizó la relación entre las concentraciones del tipo polínico *Ligustrum* en la atmósfera, con respecto a distintas variables meteorológicas, dividiendo la temporada de principal de polinización en prepico (tabla 27) y postpico (tabla 28).

### Prepico

Tabla 27. Correlación entre los granos de polen de *Ligustrum* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV Media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.110*</b>	.080	<b>.137**</b>	.000	<b>.155**</b>	-.203	<b>-.216**</b>	.077	<b>.161**</b>
Sig. (bilateral)	-	.021	.094	.004	.992	.001	.000	.000	.109	.001
N	438	438	438	438	438	438	437	437	437	438

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 27), se presentan las correlaciones que se presentaron con los factores meteorológicos, y fueron positivas con la precipitación acumulada, la temperatura mínima y media. Además fue uno de los únicos tipos polínicos que presentó una correlación positiva con la humedad relativa. También presentó una correlación negativa con la velocidad máxima del viento.

### Postpico

Tabla 28. Correlación entre los granos de polen de *Ligustrum* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>-.101**</b>	<b>-.144**</b>	.004	-.020	<b>.080*</b>	<b>-.152**</b>	<b>-.204**</b>	.066	<b>.204**</b>
Sig. (bilateral)	-	.003	.000	.901	.571	.020	.000	.000	.057	.000
N	844	844	844	844	844	844	844	759	844	844

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico, el tipo polínico *Ligustrum* presentó correlaciones positivas con la precipitación acumulada y con la humedad relativa, mientras que las correlaciones negativas se registraron con la temperatura (media y máxima), asimismo, con la velocidad media y máxima del viento.

### Discusión:

El tipo polínico de *Ligustrum* se presentó casi durante todo el año, con las mayores concentraciones de octubre a diciembre y es importante considerarlo, debido a que pertenece a una de las familias de aeroalergenos polínicos más importantes, las Oleáceas. Además de ser uno

de los árboles más abundantes en el Bosque de Chapultepec, de acuerdo al inventario realizado por el INIFAP y ProBosque de Chapultepec (2008). A pesar de ser un género con polinización entomófila, la cantidad de individuos presentes en la zona, permite encontrar sus granos de polen en la atmósfera, aunque debido su tamaño, la dispersión a larga distancia por acción del viento es difícil (Trigo *et al.*, 2008), esa es la razón por la que las concentraciones del grano de polen, son mayores en las zonas cercanas a la fuente, con una relación donde las concentraciones a 1.5 m de distancia de la fuente son hasta 100 veces mayores que a unos kilómetros de distancia (Cariñanos *et al.*, 2002).

Pese al transporte preferentemente entomófila de los granos de polen de esta especie, en algunas ocasiones las concentraciones atmosféricas pueden ser lo suficientemente altas para desencadenar alergias en individuos sensibilizados (Cariñanos *et al.*, 2002). La presencia o ausencia de sus polinizadores es un factor de gran importancia, ya que es posible que los factores meteorológicos promuevan el transporte de forma anemófila, como se observa en las correlaciones con algunos factores meteorológicos. Durante la temporada de prepico (tabla 26) se presentó una relación positiva con la precipitación acumulada, como resultado de la necesidad de este árbol de grandes cantidades de agua para su desarrollo y propagación (Aragón y Groom, 2003). La temperatura mínima y media también presentaron correlaciones positivas, ya que como en el resto de los tipos polínicos, el aumento de la temperatura favorece que las anteras se sequen y espongan los granos de polen, por lo que son liberados por acción del viento, favoreciendo el transporte de manera anemófila. También se presentó una relación positiva con la humedad relativa, debido a que este género es nativo de lugares húmedos (Aragón y Groom, 2003). Mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la velocidad máxima del viento, que está relacionado con el transporte de los granos de polen lejos del sitio de muestreo por acción de los vientos.

En cambio, durante la temporada de postpico (tabla 28), este tipo polínico presentó correlaciones positivas con la precipitación acumulada, debido a la dependencia a la disponibilidad de agua para su desarrollo, y al aumentar la precipitación acumulada, aumenta el agua disponible. También presenta una correlación positiva con la humedad relativa, la cual se atribuye a la misma razón que durante la temporada de prepico.

Finalmente, las correlaciones que se presentaron negativamente durante la temporada de postpico, fueron con la temperatura media y máxima, que se atribuye a que durante el periodo de postpico, cuando las concentraciones de tipo polínico se encuentran en descenso como consecuencia de la fenología de la planta, sin embargo es posible que el aumento en estos factores, contribuyen a que los insectos polinizadores realicen estas funciones. Aunque las concentraciones de granos de polen presentes en el aire van a ser transportadas lejos del sitio de muestreo, cuando la velocidad de los vientos (media y máxima) aumenten.

En cuanto a la alergenicidad de este tipo polínico, es importante enfatizar su importancia, ya que es considerado como un posible agente sensibilizante, en pacientes que terminen sufriendo de reacciones cruzadas con otros tipos de oleáceas, como el fresno y el olivo (Lombardero *et al.*, 2002; Morfin *et al.*, 2009), este tipo de relación fue estudiada por Gastaminza *et al.* (2002) donde el 22.9% de individuos sensibles a *Olea*, reaccionaban alérgicamente a *Ligustrum*. Hay que tomar en cuenta la proliferación de este género, debido a que existen países donde este género fue introducido como ornamental y actualmente hay especies que se consideran invasoras, ya que ponen en riesgo la diversidad natural del lugar donde habitan

(Aragón y Groom, 2003). Por lo que es importante saber no solo las concentraciones de polen atmosférico, si no la cantidad de árboles presentes, con el fin de mantener la diversidad de nuestros ecosistemas.

## **Schinus**

**Especies representativas:** *Schinus molle* var. *areira* y *Schinus huygan* Molina (GRIN, 2000 en Benavides *et al.*, 2010).

**Familia a la que pertenece:** Anacardiaceae

**Nombre(s) común(es):** Perú, pirwi, tsactumi, tzactumi, tzantuni, y en el Valle de México como pirú o pirúl (CONABIO, 2002)

**Descripción:** Árbol perennifolio, dioico, alcanza hasta 15 m de altura, con follaje medianamente denso y copa redondeada de 5 a 8 m de diámetro y corteza rugosa de color marrón oscuro. Hojas perennes, alternas, compuestas, de 15 a 30 cm de largo, colgantes. Las inflorescencias son paniculadas pequeñas de color amarillo verdoso que aparecen de abril a junio. Las semillas están cubiertas por un fruto carnoso y resinoso de color rojo de 5 a 8 mm de diámetro (Martínez, 1979, INIFAP, 1997, Rodríguez y Cohen, 2003).

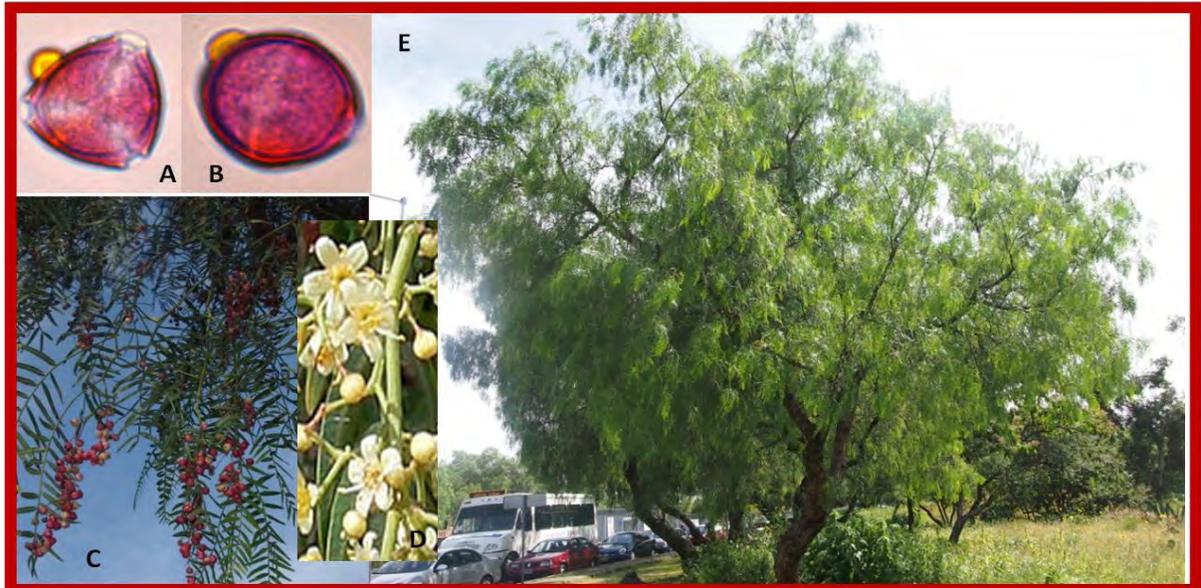


Figura 45. *Schinus molle*. A) grano de polen vista ecuatorial. B) grano de polen vista polar. C) Ramas con frutos. D) inflorescencias. E) árbol

**Distribución:** es una especie nativa de la región andina de América del sur, aunque se ha naturalizado en México y se distribuye en el Valle de México y en la zona templada seca de la Altiplanicie (sobre todo en regiones semiáridas de Durango a Coahuila, Veracruz y Oaxaca), entre los 2,000 y 2,500 m.s.n.m. (INIFAP, 1997; Benavides *et al.*, 2010). Crece principalmente en regiones semiáridas, templadas calientes y subtropicales húmedas y montañosas, con precipitaciones

cercanas a los 700 mm anuales, con inviernos secos y temperatura media anual de 12 – 17°C (Mitastein, 1962; Benavides *et al.*, 2010)

**Floración:** La temporada de floración varía dependiendo de la latitud y la elevación, pero en la Ciudad de México generalmente, se presenta en primavera y verano (Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** Principalmente entomófila

**Alergenicidad:** Media (pollen.com) y se ha reportado reactividad cruzada con la alergia alimentaria al mango (Vargas *et al.*, 1991)

**Morfología polínica:** grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Se observa subtriangular en vista polar y corte óptico ecuatorial, anguloaperturado, mientras que se observa subcircular en vista ecuatorial y corte óptico meridiano. Oblado esferoidal a prolado-esferoidal. Su tamaño es mediano, con un eje polar de 25-32 µm y un eje ecuatorial de 25-31 µm. Con ectoaperturas tipo colpo, mientras que las endoaperturas son tipo poro, lalongados. La exina es subtecada, de aproximadamente 2 µm de grosor y la superficie es estriada reticulada. (Roure, 1985; Olivera *et al.*, 1998).

#### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Schinus* y distintas variables meteorológicas, se realizó dividiendo el periodo principal de polinación en prepico (tabla 29) y postpico (tabla 30).

#### Prepico

Tabla 29. Correlación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico de *Schinus* en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	.299**	.284**	.266**	-.024	.133**	-.046	-.047	-.104**	-.090*	
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.515	.000	.221	.234	.005	.016	
N	718	718	718	718	718	718	718	637	718	718	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

En la tabla 29, se muestran las correlaciones que presentaron los factores meteorológicos y las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Schinus*, las cuales fueron positivas para la temperatura (media, máxima y mínima) y la precipitación acumulada. Mientras que la dirección del viento y la humedad relativa fueron negativas

## Postpico

Tabla 30. Correlación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Schinus* en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	1.000	.310**	.324**	.177**	-.184**	-.219**	.050	-.082*	-.192**	-.379**
N	710	710	710	710	710	710	702	702	702	710

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 30), las concentraciones de polen atmosférico de *Schinus*, se vieron afectadas de forma positiva por la temperatura (media, máxima y mínima). Mientras que las correlaciones negativas se registraron con la precipitación, precipitación anual, velocidad máxima, dirección del viento y humedad relativa.

## Discusión:

*Schinus molle*, es un árbol que se considera una especie naturalizada en el Valle de México, además de ser utilizado como un árbol ornamental o de sombra en jardines. La fenología de distintas especies de este género, reportan que la temporada de floración se da durante la temporada de lluvias y cuando la temperatura alcanza su punto máximo en el año (Forkone y Kutschker, 2006; Cesário, 2008). En cuanto a las concentraciones de polen atmosférico correspondientes a este tipo polínico que han sido registradas en otros países, no se ha podido establecer una temporada de polinización, ya que los datos que se obtienen son muy pocos, debido a bajas concentraciones (Lewis y Vinay, 1979; Waisel *et al.*, 1997; Latorre y Pérez, 1997; Moreno-Grau *et al.*, 1998; Gùvensen y Öztürk, 2002; Ballero y Maxia, 2003; Tejera y Beri, 2005; Bianchi y Olabuenaga, 2006; Latorre *et al.*, 2008). Sin embargo, Rojas y Roure (2001) realizaron un estudio en Chile, donde establecieron la temporada de polinación para *Schinus*, a finales de primavera, con el inicio de la temporada de lluvias. Es importante recalcar que este tipo polínico es ambífilo, lo que quiere decir que su dispersión es con ayuda de insectos, así como por acción del viento (Trigo *et al.*, 2008), aunque se ha observado que variaciones en los distintos factores meteorológicos, como el descenso de la humedad relativa, altas temperaturas y presencia de los vientos favorecen la dispersión de los granos de polen en la atmósfera de manera anemófila (Potter y Cadman, 1996). Durante este estudio, los granos de polen del tipo polínico *Schinus* se presentaron casi durante todo el año en concentraciones muy bajas, con una clara tendencia a aumentar las concentraciones de finales de abril, a principios de junio, cuando se presentan las condiciones anteriormente establecidas, ya que estos meses son los más calurosos del año, además de presentarse el inicio de la temporada de lluvias.

En la temporada de prepico (tabla 29), se presentaron correlaciones positivas entre las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, y la temperatura (media, máxima y mínima), asimismo, con la precipitación acumulada, Esto se da como resultado de la fisiología de la planta, donde la combinación del aumento de las temperaturas y las lluvias promueven el inicio de la floración (Potter y Cadman, 1996).

En cuanto a las correlaciones negativas, éstas se presentaron con la humedad relativa y la dirección del viento, ya que el aumento de la humedad relativa dificulta la exposición de los granos de polen para ser liberados a la atmósfera, por acción de los vientos. Finalmente, la relación negativa con la dirección del viento, significa que cuando los vientos vienen principalmente del norte, estos disminuyen las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera.

Durante la temporada de postpico (tabla 30), cuando las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera se encontraban en descenso, éstas presentaron una relación positiva con la temperatura (media, máxima y mínima), ya que las temperaturas altas promueven que las anteras se sequen y expongan los granos de polen para ser liberados a la atmósfera por acción del viento. También se presentaron correlaciones negativas con la precipitación, precipitación acumulada, con la velocidad máxima y dirección del viento, además de la humedad relativa. En cuanto a las precipitaciones, este tipo de relación se establece, debido a que la lluvia produce el “lavado” de la atmósfera, como en el resto de los tipos polínicos, en cuanto a la precipitación acumulada, la tendencia a la disminución durante este periodo, contrario al periodo de crecimiento de la precipitación acumulada, ya que se lleva a cabo durante temporada de lluvias.

La correlación que se presentó con el viento, se debe a que la velocidad máxima del viento, junto con la dirección del mismo, disminuyen las concentraciones en la atmósfera, gracias a que el aumento de en estos factores, transportaron los granos de polen lejos del muestreador, disminuyendo sus concentraciones. Finalmente, la correlación con la humedad relativa, presentó una relación muy similar a la que se presenta con el periodo de prepico.

Aunque este tipo polínico se presenta casi todo el año, se presenta en condiciones muy bajas, sumando a esto la predisposición a ser transportados por insectos, junto con la baja alergenidad que se le atribuye (pollen.com), es que este tipo polínico no es considerado como un riesgo para la salud.

## **Moraceae**

Esta familia está representada por 37 géneros con un total de 1100 especies, con amplia distribución mundial, con mayor presencia en regiones intertropicales. Su savia posee una sustancia llamada látex (Carvajal, 2007).

**Especies representativas:** *Ficus benjamina*, *Ficus carica*, *Ficus elastica*, *Ficus retusa*, *Maclura pomifera*, *Morus celtidifolia*, *Morus nigra*

**Familia a la que pertenece:** Moraceae

**Nombre(s) común(es):** Moras, Laurel de la India, laurel llorón, higo, hule, morera negra

**Descripción:** Son árboles o arbustos, caducifolios o perennes, y raramente pueden presentarse como hierbas (*Dortenia*, *Cannabis*, *Humulus*), monoicas o dioicas. Las hojas son simples dentadas y a veces de contorno lobado, alternas u opuestas, con estípulas caducas. Sus flores son pequeñas, unisexuales, monoclamídeas, frecuentemente tetrámeras, y el cáliz puede estar formado por 4 - 6 sépalos, mientras que el androceo tendrá el mismo número de estambres

que las piezas que formen el cáliz, gineceos súperos (*Arthocarpus*) a ínferos (*Castilloa*), bicarpelar sincárpico, suele abortar uno, pero permanecen los dos estilos, reunidas en inflorescencias cimosas. Frutos en núculas aquenios, drupáceos o que a menudo constituyen pseudocarpos o infrutescencias (Rodríguez y Cohen, 2003; Carvajal, 2007).

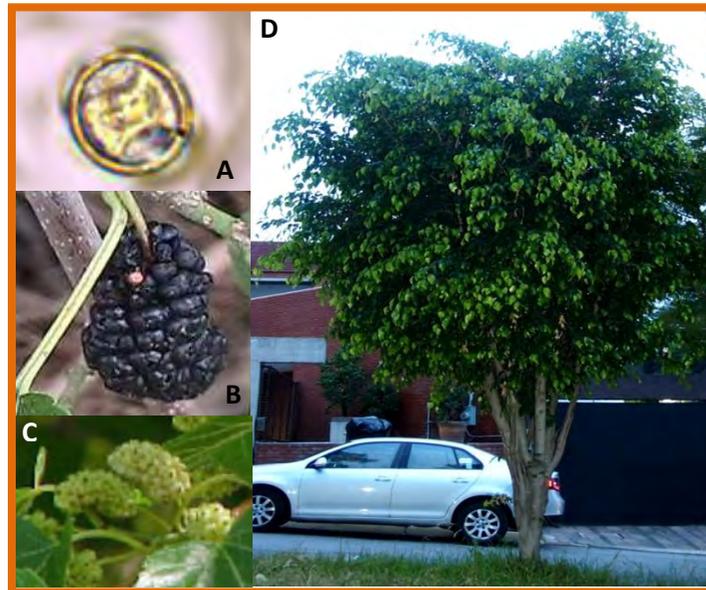


Figura 46. Moraceae. A) Grano de polen. B) Fruto *Morus* sp. C) Flor. D) árbol *Ficus benjamina*.

**Distribución:** En México, las moráceas se encuentran representadas por 10 géneros y diversos investigadores proponen la presencia de 54 a 58 especies (Carvajal, 2007). Este grupo tiene como requerimientos para su desarrollo, la exposición a pleno sol, suelos fértiles y bien drenados, así como riegos moderados (López *et al.*, 2000). Se les utiliza como especies ornamentales en jardines privados, aunque también se observan de manera aislada en la ciudad, principalmente en el sur (Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** La floración de las moráceas se da en primavera, principalmente entre abril y junio, sin embargo, *Morus nigra* florece en invierno (López *et al.*; 2000, Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012). *M. celtidifolia* florece de febrero a marzo (Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** Anemófila (Rocha *et al.*, 2008), aunque *Ficus* sp. puede ser polinizada de manera entomófila (Williams y Adam, 2010).

**Alergenicidad:** Es considerada como alergenicidad alta (pollen.com) y existe registro de hipersensibilidad causada por el polen de *Morus alba* (Navarro *et al.*, 1997; Olivé, 2012)

**Morfología Polínica:** El grano de este grupo es di-(a veces tri-)zonoporado, isopolar y radiosimétrico. Se observa circular en vista polar y corte óptico ecuatorial, mientras que en vista ecuatorial se observa de circular a elíptico y corte óptico meridiano, esferoidal. Tiene un tamaño de pequeño a mediano, con eje ecuatorial y polar entre 15- 30  $\mu\text{m}$ . Aberturas simples tipo poro, de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro, La exina es delgada (menos de 1mm de grosor) y tecada, con una superficie que puede ser escábrida a microequinulada. La intina se engrosa debajo de los poros, formando oncus. (Hyde, 1954; Recio, 1994; Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012)

## Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación que presentaron algunas variables meteorológicas y las concentraciones de polen atmosférico del tipo polínico Moraceae, se analizó dividiendo la temporada de polinación principal en prepico (tabla 31) y postpico (tabla 32).

### Prepico

Tabla 31. Correlación entre los granos de polen de Moraceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.276**</b>	<b>.247**</b>	<b>.205**</b>	<b>-.143**</b>	.026	<b>.166**</b>	<b>.152**</b>	-.030	<b>-.173**</b>
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.467	.000
N	606	593	593	593	594		605	558	605	606

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico, se observó un efecto positivo de parte de la temperatura (media, máxima y mínima), así como de la velocidad del viento (media y máxima).

### Postpico

Tabla 32. Correlación entre los granos de polen de Moraceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.115**</b>	<b>.180**</b>	<b>-.670**</b>	<b>-.342**</b>	<b>-.317**</b>	.040	<b>-.102**</b>	<b>-.097**</b>	<b>-.358**</b>
Sig. (bilateral)	-	.001	.000	.000	.000	.000	.257	.006	.006	.000
N	794	785	785	785	787	794	787	743	785	794

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

En la temporada de postpico se observaron correlaciones positivas con las temperaturas media y máxima. Mientras que las relaciones negativas se presentaron con la temperatura mínima, precipitación y precipitación acumulada, así como con la velocidad máxima del viento, la dirección del viento y la humedad relativa.

### Discusión:

La familia Moraceae está conformada por más de 1400 especies, y en el Bosque de Chapultepec se encuentra representada por 7 especies (Anexo 5). De las cuales, *Ficus benjamina* tiene gran importancia, debido a su uso como ornamental en distintos puntos de la ciudad, dentro de jardines, parques y camellones (Rodríguez y Cohen, 2003). La fenología de esta familia, se encuentra influenciada principalmente por la temperatura y las horas de sol para promover la floración (Borchert *et al.*, 2005; Johnston *et al.*, 2011).

Los estudios aerobiológicos realizados en países donde las cuatro estaciones del año se encuentran bien definidas, como sucede en Estados Unidos (Dvorin *et al.*, 2001), Chile (Rojas y Roure, 2001), Polonia (Kasprzyl, 2004), España (García *et al.*, 2006) e Italia (Rizzi *et al.*, 2007), la floración de ésta familia se presenta durante la primavera e incluso principios del verano (Fuentes, 2012). Durante el periodo de muestreo, el tipo polínico Moraceae se encontró durante casi todo el año, atribuyéndose a las distintas especies que se encuentran presentes (Anexo 5), aunado a esto, es importante destacar la capacidad de *Ficus* sp. para formar simbiosis con avispas para realizar la polinización de manera entomófila (Williams y Adam, 2010). A pesar de estar presente todo el año, se observó un periodo de mayor concentración desde finales de febrero, hasta principios de abril, correspondiendo con lo reportado en la literatura. En México, la presencia de este tipo polínico no se encuentra registrado entre los principales, debido a su abundancia en la atmósfera, sin embargo, el periodo de polinación se estableció a finales de la época de secas, que corresponden a los meses de abril y mayo (Rosales, 1985; Bronillet, 1992; Salazar, 1995; Torres, 2006; Cid, 2007).

Debido a la situación ambífila del transporte de los granos de polen producidos por este género (anemófila y entomófila), las concentraciones de polen atmosférico de esta familia se ven afectadas de distintas formas, siendo importantes algunas de las correlaciones que se pueden presentar con los factores meteorológicos, ya sea durante la temporada de prepico (elevación de las concentraciones), o postpico (disminución de las concentraciones).

Durante la temporada de prepico (tabla 31), las concentraciones de polen atmosférico se vieron favorecidas por la temperatura (media, máxima y mínima) y la velocidad del viento (media y máxima). Estas relaciones se atribuyen a que una vez producidos los granos de polen, es necesario que las anteras se abran y expongan los granos de polen para ser liberados por acción de los vientos hacia la atmósfera. En este caso, el aumento de la temperatura seca las anteras, propiciando que el “polvillo” formado por los granos de polen vuele por acción del viento, separándolo de la flor y suspendiéndolo en la atmósfera, gracias a la acción de los vientos, por lo que el aumento en este factor también promueve la elevación de las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera. Mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación y la humedad relativa, ya que el aumento en estos factores dificultan la liberación y el transporte de los granos de polen en la atmósfera, ya que la lluvia promueve la sedimentación de las aeropartículas (entre ellas, los granos de polen), y la humedad relativa evita que las anteras expongan los granos de polen para ser liberadas a la atmósfera.

La temporada de postpico (tabla 32), se presenta cuando las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en descenso, como resultado de la fenología de la planta, esta etapa dentro del periodo de polinización, presentó correlaciones con la temperatura (media y máxima), el aumento que presentan con respecto a los días previos no es muy drástico, aunque es suficiente para provocar el secado de las anteras y favorecer la liberación de los granos de polen que aún quedan en las anteras. Sin embargo, la temperatura mínima presentó una correlación negativa con las concentraciones de polen atmosférico, que se atribuye a la combinación de factores, en donde las concentraciones de polen atmosférico se encuentran en descenso, mientras que aparece un aumento muy marcado de la temperatura mínima, como resultado del ciclo anual de temperatura, aunado a esto, es posible que el aumento tan marcado en la temperatura mínima, promueva la marchitez de las flores.

Durante esta etapa (prepico), también se presentaron correlaciones negativas con la precipitación y la humedad relativa, que se explica del mismo modo que durante el periodo de prepico. Finalmente, la relación negativa con la dirección del viento, significa que las concentraciones de este tipo polínico son dependientes de la dirección del viento, sobre todo cuando se encuentran en descenso, debido a que este grupo se encuentra representado sobre todo en el Norte de la Ciudad (Fuentes, 2012)

La capacidad alergénica de las moráceas es de gran importancia en el mundo, ya que se considera severa, y se ha establecido la prevalencia de casos de alergia a este grano de polen, así como a sus frutos (Navarro *et al.* 1997; Armentia *et al.*, 1999; Bartra *et al.*, 2002; Singh y Kumar, 2003). También se ha reportado la presencia de reactividad cruzada con Betula, cuando la alergia es principalmente a sus frutos (Armentia *et al.*, 1999)

## Ulmus

**Especies representativas:** *Ulmus parvifolia* y *U. mexicana*

**Familia a la que pertenece:** Ulmaceae

**Nombre(s) común(es):** Olmo chino, Olmo, cuerillo

**Descripción:** Árbol caducifolio o perennifolio, de 8-20 m de alto. Copa umbelada, Hojas simples, de elíptica a ovada de 2-7 cm X 4 cm, su nervadura es pinnada, con borde dentado o doblemente dentado, con ápice agudo y base punteada. Corteza color pardo- grisácea, áspera y fisurada longitudinalmente. Las inflorescencias se presentan en forma de racimos, como panículas pubescentes de hasta 7 cm de largo. El fruto es una sámara ovoide o elipsoide, membranosa, con tricomas.

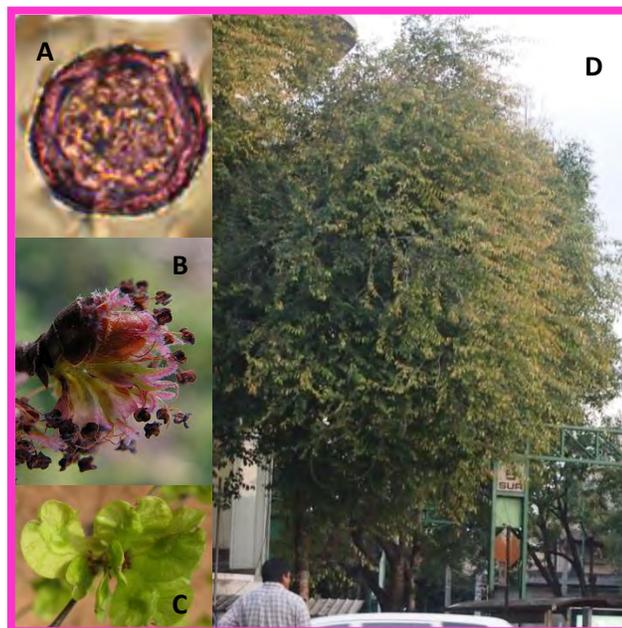


Figura 47. *Ulmus* sp. A) Grano de polen en vista polar. B) Flor. C) Fruto (URL 43). D) Árbol

**Distribución:** Generalmente se encuentra de forma aislada en avenidas, calles y parques de la Ciudad de México. Distribuyéndose desde los 900 a 2200 m.s.n.m., con precipitaciones de 1900 a 3800 mm y temperaturas de 16 a 20°C, creciendo en suelos volcánicos, calizos o metamórficos (URL 42).

**Floración:** Se presenta de enero a junio, dependiendo de la especie (URL 42)

**Polinización:** Principalmente anemófila

**Alergenicidad:** Se considera media, ya que en altas concentraciones puede provocar reacciones alérgicas (Basset *et al.*, 1987; pollen.com)

**Morfología Polínica:** Grano de polen 5-6 porado, heteropolar y radiosimétrico. Esferoidal, de tamaño mediano (26-50  $\mu\text{m}$ ). Se observa circular en corte óptico. Cuenta con 6 aperturas tipo poro en la sección ecuatorial, cuentan con un opérculo. La exina es reticulada y cuenta con pequeñas verrugas (Basset *et al.*, 1987; Trigo *et al.*, 2008),

#### Correlación con los parámetros meteorológicos

Se analizó la relación entre las concentraciones del tipo polínico *Ulmus* en la atmósfera, con respecto a distintas variables meteorológicas, dividiendo la temporada de principal de polinización en prepico (tabla 33) y postpico (tabla 34).

#### Prepico

Tabla 33. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de *Ulmus* presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV Media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.238**</b>	<b>.260**</b>	<b>.176*</b>	-.057	<b>.249**</b>	<b>-.148*</b>	-.134	.105	-.136
Sig. (bilateral)	-	.001	.000	.015	.432	.001	.042	.065	.149	.061
N	191	191	191	191	191	191	191	191	191	191

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Las correlaciones que se encontraron durante la temporada de prepico de *Ulmus* y distintas variables meteorológicas (tabla 33) fueron positivas con temperatura (media, máxima y mínima) además de la precipitación acumulada. Solo se presentó una correlación negativa, que corresponde a la velocidad media del viento.

## Postpico

Tabla 34. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de *Ulmus* presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.108	<b>.144*</b>	-.009	<b>-.189**</b>	<b>.181**</b>	.015	-.119	.017	-.121
Sig. (bilateral)	-	.114	.034	.897	.005	.007	.828	.131	.801	.076
N	217	217	217	217	217	217	217	162	217	217

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 34) se presentaron correlaciones positivas con la temperatura máxima y la precipitación acumulada. Mientras que la relación negativa se presentó con la precipitación.

## Discusión:

El género *Ulmus* se encuentra formado aproximadamente por 45 especies, que crecen principalmente en bosques de zonas templadas del hemisferio norte. Aparentemente su origen es asiático, sin embargo, se han reportado especies originarias de Oaxaca (Todzia *et al.*, 1998). En el Bosque de Chapultepec se encuentran dos especies *U. americana* y *U. parvifolia* (Anexo 5).

El tipo polínico *Ulmus* se registró de noviembre a marzo, con un pico de concentración durante diciembre y enero, en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. Este grupo de pólenes se identifica como Ulmaceae en la mayoría de los estudios, sin embargo, en la zona de estudio sólo existen dos especies de la familia Ulmaceae (Anexo 5), por lo que nos referimos a este tipo polínico como *Ulmus*.

La literatura considera al género *Ulmus* como invernal (Latorre y Bianchi, 1998), en Argentina (Latorre *et al.*, 1997), Madrid (Lazaroa *et al.*, 2006) y Australia (Ong *et al.*, 1995), sin embargo, en New Jersey (Port *et al.*, 2006) y Canadá (Ritchie y Lichti-Federovich, 1967), se presenta principalmente durante la primavera. Estas variaciones se deben a la variedad de especies presentes en la zona de estudio, además de las condiciones meteorológicas en cada una de ellas.

La relación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Ulmus*, y las condiciones meteorológicas, se analizaron y arrojaron los siguientes datos:

Durante la temporada de prepico (tabla 33) se presentó una relación positiva con la temperatura (media, máxima y mínima), aunque este género es invernal, hay que considerar las condiciones en las que se desarrolla, debido a que lo reportado por Alba y Díaz de la Guardia (1999) aporta información para estimar que la presencia de 23 días con un mínimo de 5°C induce la floración, por lo que es posible que después de presentarse esta baja de forma consecutiva, un ligero aumento en la temperatura favorezca la liberación de los granos de polen, gracias a que seca las anteras para que expongan los granos de polen y sean liberados por acción de los vientos. Esto explicaría la diferencia en la temporada de floración alrededor del mundo, ya que en lugares

donde el clima es más extremo, como en el caso de Canadá, la floración de este género se presenta durante la primavera, además de considerar las distintas especies que se presenten en estos lugares. También se presentó una relación positiva con la precipitación acumulada, que aunque la precipitación presente durante esta temporada es mínima, representa un aumento en el agua disponible para el uso de la planta, por lo que, incluso ligeras lluvias, pueden favorecer las concentraciones de polen.

Finalmente, la correlación negativa se presentó la velocidad media del viento, lo que significa que las concentraciones de granos de polen de *Ulmus* disminuyen con el aumento constante en la velocidad de los vientos, debido a que promueven que éstos sean transportados lejos del sitio de muestreo.

Durante la temporada de postpico (tabla 34), las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, presentaron correlaciones positivas con la temperatura máxima y la precipitación acumulada. La correlación que se presentó con la temperatura máxima, se explica debido a que el aumento que presentó la temperatura máxima, resulta favorable para el secado de las anteras, que resulta en la posterior liberación de los granos de polen a la atmósfera. Mientras que la correlación con la precipitación acumulada, resulta de la necesidad de agua disponible de parte de este género, la cual aumenta ligeramente durante estas fechas.

En cuanto a su alergenicidad, esta se considera media, ya que en cantidades elevadas es capaz de desencadenar alergias en individuos sensibles, en Estados Unidos se reportó la alergia respiratoria o por contacto con los granos de polen (Czarnecki *et al.*, 1993).

## **Amaranthaceae**

**Especies representativas:** *Chenopodium ambrosioides* (Chenopodiaceae), *Amaranthus hybridus*, *Iresine celosia* e *I. heterophylla* correspondiente a Amaranthaceae (aunque en las dos últimas el polen puede llegar a presentar ciertas variaciones) (Olivé *et al.*, 2012).

**Familia a la que pertenece:** Amaranthaceae y Chenopodiaceae

**Nombre(s) común(es):** Amaranto, cenizo, moco de pavo, celosía, Iresine

**Descripción:** Este grupo de plantas pueden ser herbáceas o arbustivas y son conocidas como “malas hierbas”. Plantas anuales o perennes. Las plantas de la familia Amaranthaceae presentan hojas simples, opuestas o alternas, con márgenes enteros o toscamente dentados y carentes de estípulas, generalmente forman agrupaciones tanto basales como terminales en las hojas. Sus flores se presentan solitarias o agrupadas en racimos, espiguillas o panículas, siendo unisexuales o hermafroditas. El perianto es sepaloideo con 3-5 piezas, mientras que los estambres se disponen opuestos a los tépalos en números de 1-5. Cuentan con un Ovario súpero. El fruto que producen suele ser seco, como una nuez o una cápsula circuncisa, y en raras ocasiones puede producir una baya. Los ejemplares de la familia Chenopodiaceae son plantas glabras, pubescentes o harinosas con pelos vesiculares. Sus hojas son simples, alternas u opuestas. Las flores son unisexuales o hermafroditas, con brácteas, solitarias o agrupadas en glomérulos densos que se disponen en una inflorescencia espiciforme o paniculiforme. El perianto se encuentra ausente o

formado por 1-5 piezas, y es acrescente en el fruto (piezas más o menos connadas). Cuenta con un androceo formado de 1-5 estambres opuestos a los segmentos del perianto. El gineceo tiene un ovario súpero, unilocular, con un primordio solitario y basal. El fruto es un aquenio con semillas comprimidas (vertical u horizontalmente) (López *et al.*, 2000; Alfaya y Marqués, 2002; Trigo *et al.*, 2008).



Figura 48. *Amaranthus* sp. A) Grano de polen de Amaranthacea. B- C) Ramas floríferas

**Distribución:** Existen especies de la familia Amaranthaceae que tienen uso ornamental (*Amaranthus caudatus*), alimenticio (*A. gageticus*), y existen especies que crecen en zonas áridas y/o salinas (Sánchez-Del Pino, *et al.*, 1999; López *et al.*, 2000).

Las Amarantáceas se desarrollan en diversos hábitats, desde zonas áridas (en ambientes difíciles como arenas, caliza, sal o yeso), hasta bosques tropicales perturbados, e incluso existen unas cuantas especies marinas (Sánchez- Del Pino *et al.*, 1999). Para su desarrollo necesitan de exposición al sol y existen especies intolerantes al frío (menos de 10-12°C). Del mismo modo, las Chenopodiáceas cuentan con una amplia distribución, debido a su capacidad para crecer en suelos secos y salinos, así como nitrificados o halófitos (López *et al.*, 2000; CONABIO, 2012)

**Floración:** Principalmente se presenta de junio a octubre (Gatusso *et al.*, 2003; Echavarría *et al.*, 2009; CONABIO, 2012).

**Polinización:** Anemófila (Recio *et al.*, 1998).

**Alergenicidad:** Se considera un tipo polínico de alta alergenicidad, ya que éste comprende gran variedad de especies, las cuales pueden variar en su alergenicidad (pollen.com)

**Morfología Polínica:** Grano de polen polipantoporado, apolar y radiosimétrico. Se observa de circular a elíptico en corte óptico. Forma esferoidal, su tamaño puede variar de pequeño a mediano, dependiendo de la especie productora (10-30  $\mu\text{m}$ ). Aberturas simples tipo poro con un diámetro de 2-3  $\mu\text{m}$ , que se encuentran repartidas por toda la superficie del grano de polen, formando círculos concéntricos (de 15-100 poros). Tecado, con una exina de 2 a 3  $\mu\text{m}$  de grosor y la superficie puede ser equinulada, escábrida o rugulada. (Basset *et al.*, 1978; Jones *et al.*, 1995; Recio *et al.*, 1998; Ludlow *et al.*, 2003; Olivé, 2012).

## Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Amaranthaceae*, se realizó dividiendo la temporada de polinación principal en el periodo de prepico (tabla 35) y postpico (tabla 36).

### Prepico

Tabla 35. Correlación entre los granos de polen de *Amaranthaceae* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.039	-.006	.020	<b>-.119**</b>	<b>.250**</b>	-.011	<b>-.092*</b>	-.022	.047
Sig. (bilateral)	-	.342	.883	.619	.004	.000	.796	.026	.593	.250
N	594	594	594	594	594	594	587	587	587	594

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico y algunos factores meteorológicos, presentaron una correlación positiva con la precipitación acumulada y negativa con la precipitación y la velocidad máxima del viento.

### Postpico

Tabla 36. Correlación entre los granos de polen de *Amaranthaceae* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.048	-.014	<b>.116**</b>	-.020	.015	-.031	-.020	.014	<b>.191**</b>
Sig. (bilateral)	-	.184	.697	.001	.592	.671	.399	.610	.704	.000
N	757	757	757	757	757	757	756	676	756	757

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico, las correlaciones que presentaron con respecto a distintas variables meteorológicas, fueron positivas con la temperatura mínima y con la humedad relativa.

### Discusión:

El grupo de los amarantos y quenopodios son de distribución cosmopolita y conforman el grupo más diverso de los Caryophylliales con 180 géneros y 2500 especies (Rodríguez *et al.*, 2012). Este tipo polínico se encuentra formado por dos familias de herbáceas (*Amaranthaceae* y *Chenopodiaceae*), debido a que las diferencias morfológicas en los granos de polen de ambas

familias son tan sutiles que no se ha establecido una manera de diferenciarlos cuando la identificación se realiza en microscopía óptica. Este tipo polínico apareció en la atmósfera del Bosque de Chapultepec a lo largo de todo el año, aunque en concentraciones muy bajas, como se muestra en Calendario polínico (figura 34), las concentraciones presentaron una ligera elevación al final de la temporada de lluvias, que son datos similares a los que se registraron en Turquía (Bacakci *et al.*, 2003), donde tienen una temporada de lluvias similar a la nuestra, este tipo polínico se registro de abril a octubre. Sin embargo, es distinto a lo reportado por Alfaya y Marqués (2002), que registraron los valores más altos durante los años más secos, en Barcelona, este resultado se atribuye a la facilidad de este grupo para crecer en suelos con alta salinidad, además de tolerar cierto grado de sequía (González *et al.*, 1997; Feo *et al.*, 1998; Echavarría *et al.*, 2009). Las variaciones en los resultados, corresponden a varios factores, como la presencia de distintas especies alrededor del mundo, la gran diversidad de hábitats en los que se desarrollan, desde suelos halófitos (en las costas y continentales), ruderales, desérticos, tropicales, subtropicales, entre otros (Heklau *et al.*, 2012).

Debido a la naturaleza anemófila de los granos de polen de este grupo, es que las concentraciones atmosféricas se ven afectadas por distintos factores meteorológicos, se dividieron en dos temporadas (prepico y postpico), las cuales fueron analizadas por separado para saber las relaciones que presentan cada una de estas fases con distintas variables meteorológicas. Donde se muestra que las concentraciones de polen atmosférico durante la temporada de prepico (tabla 35) presentaron una correlación positiva con la precipitación acumulada, debido a que el aumento en este factor se debe a que la temporada de secas se presenta después de una temporada de lluvias intensas que favorecen el desarrollo de las plantas y resultando en el aumento de las concentraciones de granos de polen atmosférico (Recio *et al.*, 1998). En cuanto a las relaciones negativas, estas se presentaron con la precipitación y la velocidad máxima del viento. La relación negativa con la precipitación, se debe al “lavado” que se produce de la atmósfera, y la velocidad del viento afectó negativamente las concentraciones de polen atmosférico, ya que vientos demasiado rápidos, transportan los granos de polen lejos del sitio de muestreo, resultando en la disminución de las concentraciones.

En cuanto a las correlaciones que se presentaron durante la temporada de postpico (tabla 36), éstas fue positiva con la temperatura mínima, que se explica debido a que el aumento de este factor, favorece que las anteras se sequen y expongan los granos de polen para ser liberados por el viento. Sin embargo la relación positiva con la humedad relativa se atribuye a que este grupo se encuentra representado por gran variedad de especies, capaces de tolerar distintos tipos de ambientes, dentro de los que están algunos tropicales y subtropicales (Heklau *et al.*, 2012), a los que favorecería el aumento en la humedad relativa.

En cuanto a la alergenicidad de los granos de polen, ésta se considera alta, ya que dentro del grupo se encuentran especies capaces de desencadenar reacciones alérgicas en individuos sensibilizados (Lombardero, 1991), estas reacciones alérgicas pueden desencadenarse a partir de 10 – 15 gp/m<sup>3</sup> de aire (Rocha *et al.*, 2008), por lo que es importante saber las concentraciones presentes en el aire, así como la estacionalidad que presentan. También ha sido reportada la reacción cruzada con alimentos, como el ajo y la cebolla (Añibarro *et al.*, 1997), además de presentar reacciones cruzadas con otros granos de polen que tienen concentraciones mucho más altas como Poaceae, Betulaceae y Oleaceae (Barderas *et al.*, 2002)

## Rosaceae

Esta familia se encuentra compuesta por 125 géneros aproximadamente, que incluyen a la mayoría de las especies frutales que se consumen en la actualidad, además de distintas especies ornamentales (López *et al.*, 2003).

**Especies representativas:** *Cotoneaster pannosa*, *Crataegus mexicana*, *Eriobotrya japonica*, *Fragaria mexicana*, *Prunus armeniaca*, *P. cerasifera*, *P. domestica*, *P. persica*, *P. serotina* spp. *capuli*, *Pyracantha koidzumii* y *Pyrus communis* (INIFAP, ProBosqueChapultepec, 2008).

**Nombre(s) común(es):** Rosa común, duraznero, manzano, peral, cerezo, chabacano

**Descripción:** Son árboles, arbustos, monoicos, caducifolios o perennifolios. Las flores que producen generalmente son sencillas aunque con una gran producción de granos de polen, que atrae a diversos insectos. Cuentan con inflorescencia y gran diversidad de frutos, como secos y carnosos (acompañados de un cáliz persistente), en drupa, pomo, folículo, e incluso en un número indefinido de aquenios o drupas (Martínez y Chacalo, 1994).

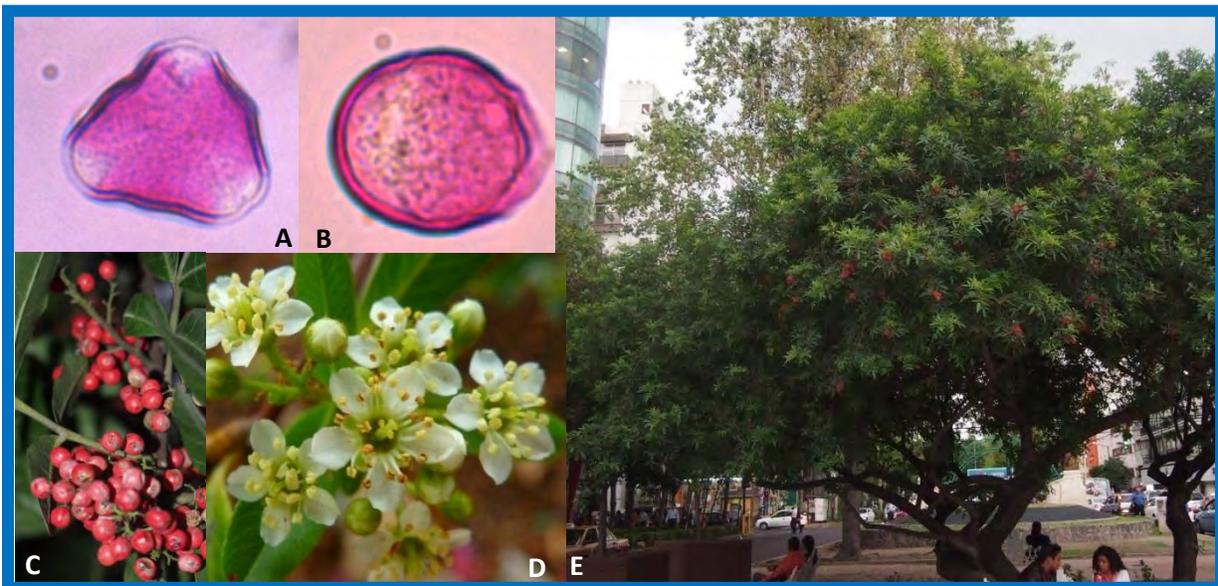


Figura 49. *Pyracantha koidzumii* A) Grano de polen en vista polar. B) Grano de polen en vista ecuatorial. C) Ramas con frutos. D) Ramas con flores. E) Árbol

**Distribución:** Esta familia es de gran importancia económica, debido a los frutos que produce, sin embargo, se utiliza como especie ornamental en parques y jardines. Una de las especies mejor representadas como seto vivo en camellones y jardineras es *Pyracantha koidzumii* Rehd., mejor conocido como “piracanto” (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

**Periodo de Floración:** Este grupo florea principalmente durante la primavera, hasta inicios del verano (López *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012). Aunque existen especies que presentan un periodo de floración después de esta temporada, como *Eriobotrya japonica*, de agosto a noviembre, o incluso presentarla antes como *Crataegus mexicana*, que florece de enero a marzo (Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** Principalmente entomófila

**Alergenicidad:** La alergenidad de los granos de polen de este grupo es baja, sin embargo sus frutos producen gran variedad de alergias alimentarias. (Lewis *et al.*, 1983; Lázaro *et al.*, 1999). Los pacientes sensibles a los alérgenos de rosáceas pueden presentar reactividad cruzada con granos de polen de *Lolium perenne*, *Artemisia vulgaris* y *Betula verrucosa* (Rivas, 1994).

**Morfología polínica:** Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Se observan de subcircular a subtriangular en vista polar, mientras que en vista ecuatorial se observan subelíptico o elíptico. De subprolado a prolado, tamaño mediano, con un eje polar de 16-40mm y eje ecuatorial de 19-50mm. Ectoaberturas tipo colpo, terminales, mientras que las endoaberturas son de tipo poro lalongadas). La exina mide 1.5-3 μm de grosor, con una superficie que puede ser estriada (estrías de forma irregular, independientes o en pequeños grupos), débilmente rugulada, perforada o incluso estriada (las estrías pueden estar dispuestas longitudinalmente, como en *Prunus*). (Recio, 1995, Olivé, 2012)

### Correlación con los parámetros meteorológicos

Para el análisis de correlación entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico Rosaceae, y algunas variables meteorológicas, el periodo de polinación principal se dividió en prepico (tabla 37) y postpico (tabla 38).

#### Prepico

Tabla 37. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Rosaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.511**	.448**	.467**	-.077	.218**	.090	.077	-.196**	-.186**
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.143	.000	.086	.186	.000	.000
N	363	363	363	363	363	363	363	299	363	363

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 37), se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima) y la precipitación acumulada, mientras que las relaciones negativas se presentaron con la dirección del viento y la humedad relativa.

## Postpico

Tabla 38. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico Rosaceae presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.091	-.074	-.131*	-.037	.132*	-.018	-.205**	.081	-.142**
Sig. (bilateral)	-	.085	.158	.013	.477	.012	.728	.000	.124	.007
N	363	363	363	363	363	363	363	342	363	363

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 38), se presentó una relación positiva con la precipitación acumulada, mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la temperatura mínima, la velocidad máxima y la humedad relativa.

## Discusión:

La Familia Rosaceae se encuentra formada por cerca de 100 géneros con 2000 a 3000 especies presentes en todo el mundo, principalmente en regiones templadas y subtropicales del hemisferio norte (Rzedowski y Rzedowski, 2005). En el Bosque de Chapultepec, esta familia está representada por *Amelanchier laevis*, *Cotoneaster pannosa*, *Crataegus mexicana*, *Eriobotrya japonica*, *Fragaria mexicana*, *Prunus armeniaca*, *Prunus cerasifera*, *Prunus domestica*, *Prunus pérsica*, *Prunus serotina* spp., *Pyracantha koidzumii*, *Pyrus communis* (Anexo 5). Este tipo polínico se presentó en la atmósfera del Bosque de Chapultepec principalmente durante los meses de febrero a junio, con un aumento de concentraciones durante marzo y abril. La aparición de este tipo polínico en noviembre y diciembre, puede atribuirse a que existen distintas especies que aporten estos granos de polen en la atmósfera. Lo que concuerda con lo reportado por Rizzi *et al.* (2007) en Italia, que encuentra granos de polen de Rosaceae de marzo a junio en concentraciones muy bajas.

Esta familia tiene un tipo de polinización principalmente entomófila, sin embargo, existen registros de este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, como resultado de la gran variedad de especies presentes en la zona, por lo que sus concentraciones atmosféricas son muy bajas, a comparación de especies cuya polinización es anemófila. A pesar de esto, las concentraciones registradas, fueron suficientemente altas para presentar una estacionalidad, que se encuentra representada en el calendario polínico (figura 34). Debido a eso, se realizó el análisis de correlación presente entre las concentraciones de este tipo polínico y distintas variables meteorológicas, dando como resultado, que durante la temporada de prepico (tabla 37) se presentaron relaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima) ya que esta familia inicia la floración a finales del invierno, esto se da como el resultado de la combinación, donde las bajas temperaturas que se presentan en los meses de diciembre a febrero, producen cambios en las concentraciones de fitohormonas, resultando en una dormancia de la floración, la cual se rompe con el aumento de la temperatura en el mes de marzo, iniciando la floración. También se presentó una correlación positiva con la precipitación acumulada, ya que el aumento de este factor, aumenta la cantidad de agua disponible para el uso de la planta. Finalmente las relaciones

negativas se presentaron con la dirección del viento, ya que cuando los vientos soplan en ciertas direcciones, transportan lejos de la zona de muestreo a los granos de polen, por lo que disminuyen sus concentraciones. Asimismo, se presentó una correlación negativa con la humedad relativa, gracias a que el aumento de este factor, promueve el cierre de las anteras, evitando que los granos de polen sean liberados a la atmósfera por acción de los vientos.

Se realizó el mismo análisis para la temporada de postpico (tabla 38), arrojando una relación positiva con la precipitación acumulada, mientras que presentaron relaciones negativas con la velocidad máxima y la humedad relativa, ya que la elevación en la velocidad de los vientos, transporta este tipo polínico lejos del sitio de muestreo. Mientras que la correlación con la humedad relativa, se explica del mismo modo que la relación presente en la temporada de prepico.

La alergenicidad de los granos de polen de la familia Rosaceae es considerada baja, en cuanto al desencadenamiento de la polinosis, sin embargo, existen gran variedad de frutos provenientes de esta familia, capaces de desencadenar alergias alimentarias (Lewis *et al.*, 1983; Lázaro *et al.*, 1999). Los pacientes sensibles a los alérgenos de rosáceas pueden presentar reactividad cruzada con granos de polen de *Lolium perenne*, *Artemisia vulgaris* y *Betula verrucosa* (Rivas, 1994) y alimentaria con semillas como avellana y cacahuates (Asero *et al.*, 2002).

## **Salix**

El género *Salix* se encuentra formado por cerca de 300 especies, que principalmente provienen de regiones frías y templadas del hemisferio Norte (INIFAP y Chapultepec-Probosque, 2008).

**Especies Representativas:** *Salix bonplandiana*, *S. paradoxa*.

**Familia a la que pertenece:** Salicaceae

**Nombre(s) vulgares(s):** Sauce, saucillo

**Descripción:** Son árboles, arbusto, incluso pequeñas matas, monoicos o dioicos, caducifolios. Su corteza es liza, aunque en ejemplares longevos se observa agrietada, de color café oscuro a tonalidades negras. Las hojas que presenta son alternas, simples, estrechamente lanceoladas a oblongas, o ampliamente lineares, enteras y aserradas. Las flores cuentan con 1 o 2 nectarios pequeños en la base, que se encuentran en forma verticilada o espiralada, las masculinas con 2 estambres, mientras que las femeninas cuentan con un ovario aovado-cónico, sentado o pedicelado, lampiño o peloso. El fruto que producen es una cápsula corta, color amarillento o rojizo claro, con un gran número de semillas (con mucho vello) (Martínez y Chacalo, 1994; López *et al.*, 2003).

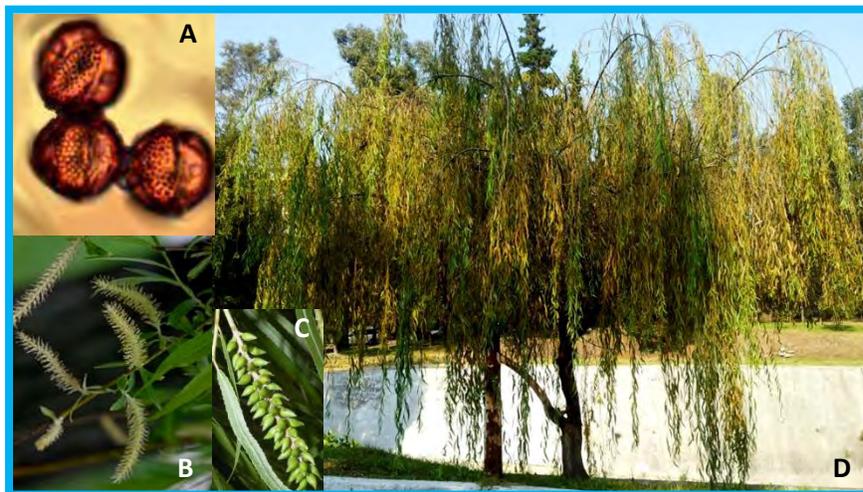


Figura 50. *Salix* sp. A) Granos de polen. B) Ramas floríferas (URL 37). C) Ramas con frutos (URL 37). D) Árbol

**Distribución:** Este género habita principalmente zonas húmedas (son riparios), tienen un rápido crecimiento y gran capacidad de enderezamiento. Se cultivan como ornamentales y es común observarlos a lo largo de los paisajes lacustres del sur de la ciudad, también se les emplea en alineación de calles y avenidas. Es posible que formen barreras naturales contra los vientos (Martínez y Chacalo, 1994; López *et al.*, 2003).

**Floración:** Se presenta de diciembre a febrero y de julio a agosto (CONABIO, 2012)

**Polinización:** Entomófila

**Alergenicidad:** Media (pollen.com) aunque es importante, ya que puede presentar reactividad cruzada con especies fagales (Lewis *et al.*, 1983)

**Morfología Polínica:** polen trizonocolporado (a veces se presenta como trizonocolpado), isopolar, radiosimétrico. Se observa circular lobulado en vista polar (con las aberturas dispuestas entre los lóbulos, sinuaperturado), mientras que en vista ecuatorial se observa de elíptico a subcircular. Su forma es de prolado a oblado-esferoidal. Tamaño pequeño a mediano, debido a que cuenta con eje polar de 13-24  $\mu\text{m}$  y un eje ecuatorial de 16-28  $\mu\text{m}$ . La exina con la que cuenta es semitecada, de 1-2  $\mu\text{m}$  de grosor. Las aberturas son colpos muy largos, con apocolpia pequeña y endoapertura porosa muy pequeña. La superficie es reticulada y con lúmenes de distinto tamaño, que disminuyen hasta casi desaparecer en los bordes de las aberturas, formando un margo. (Basset *et al.*, 1978; Jones *et al.*, 1995; Ludlow *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012).

#### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación de las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Salix* y algunas variables meteorológicas, se realizó con la división del periodo de polinación dividido en periodo de prepico (tabla 39) y postpico (tabla 40).

## Prepico

Tabla 39. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Salix* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.107*</b>	<b>.122*</b>	.008	<b>-.138**</b>	<b>.168**</b>	<b>-.270**</b>	<b>-.221**</b>	-.051	<b>-.314**</b>
Sig. (bilateral)	-	.042	.020	.886	.009	.001	.000	.000	.330	.000
N	363	363	363	363	363	363	363	363	363	363

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Las concentraciones atmosféricas de granos de polen de *Salix* sp. durante la temporada de prepico, presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media y máxima) y la precipitación acumulada. Mientras que las relaciones negativas se presentaron con la precipitación, la velocidad del viento (media y máxima), así como, la humedad relativa.

## Postpico

Tabla 40. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Salix* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.051	.021	-.016	<b>-.218**</b>	-.083	<b>-.088*</b>	-.129	-.039	<b>-.257**</b>
Sig. (bilateral)	-	.239	.624	.704	.000	.052	.039	.006	.357	.000
N	549	542	542	542	542	549	549	458	549	549

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Las correlaciones significativas que se presentaron entre las concentraciones del tipo polínico *Salix* en la atmósfera del Bosque de Chapultepec con respecto a distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico (tabla 40), fueron negativas con la precipitación, velocidad media del viento y humedad relativa.

## Discusión:

El género *Salix* se encuentra formado de 300 especies originarias de América, Europa y Asia, la mayoría de estas son de regiones frías y templadas del hemisferio norte. *Salix humboldtiana*, es la única especie nativa de Centro y Sudamérica, con una distribución desde el centro de México a los 44°S en Argentina y Chile (Zapata *et al.*, 2010).

Este tipo polínico se registró en la atmósfera del Bosque de Chapultepec desde enero hasta principios de septiembre, debido a la floración de las tres especies existentes en la zona (Anexo 5). Las condiciones óptimas de crecimiento de este género, incluye una temperatura

media de 16 - 28 °C, con una precipitación mínima de 800 mm anuales (CATIE, 1999). Las temperaturas demasiado bajas son un factor limitante en su desarrollo y puede provocar daños considerables en la planta (Batis *et al.*, 1999), aunque es tolerante a inundaciones temporales o periódicas (Pennington y Sarukan, 1998, CONABIO, 2012). Al ser una especie con polinización entomófila, las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera son muy bajas, sin embargo, alrededor del los Lagos de Chapultepec (mayor y menor), se encuentran algunos individuos de este género, gracias a las condiciones de humedad que se presentan en la zona. Debido al registro obtenido de las concentraciones de polen atmosférico de este género, se realizó un análisis de las correlaciones existentes entre las concentraciones atmosféricas de este grano de polen, y algunas variables meteorológicas, dando como resultado lo siguiente:

Durante la temporada de prepico (tabla 39), se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media y máxima), ya que durante estas fechas, hay gran cantidad de granos de polen presentes en las anteras, por lo que las altas temperaturas secan las anteras, permitiendo que los granos de polen sean expuestos y liberados a la atmósfera por acción de los vientos. También se presentó una relación positiva con la precipitación acumulada, que es atribuida a la gran cantidad de agua que necesita este género para su desarrollo (CONABIO, 2012). Las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación, debido al “lavado” de la atmósfera que produce la lluvia. Otras correlaciones que se presentaron, fueron con la velocidad del viento (media y máxima), ya que el aumento de este factor, produce el transporte de este los granos de polen lejos del sitio de muestreo. En cuanto a la humedad relativa, ésta resulta en la disminución de las concentraciones atmosféricas de este grano de polen, ya que promueven el cierre de las anteras, evitando la liberación de los granos de polen a la atmósfera.

Durante la temporada de postpico (tabla 40), solo se presentaron variables negativas, con la precipitación, la velocidad media del viento y humedad relativa, que se explican del mismo modo que durante la temporada de prepico.

La alergenicidad del grano de polen de *Salix* es considerada alta o severa, ya que existen casos de reactividad cruzada con *Populus*, por lo que se utiliza en un 20% de las pruebas cutáneas realizadas en México (Larenas *et al.*, 2009), aunque las concentraciones de este tipo polínico fueron bajas todo el periodo de muestreo, en concentraciones que no se consideran un alto riesgo para la salud, es necesario tener un conocimiento continuo de las concentraciones presentes en la atmósfera.

## **Citrus**

Este género es procedente de Asia y contiene cerca de 60 especies, cultivadas por sus frutos, obtención de esencias y de manera ornamental (Trigo *et al.*, 2008).

**Especies representativas:** *Citrus limon*, *C. sinensis*. (INIFAP, ProBosquede Chapultepec, 2008).

**Familia a la que pertenece:** Rutaceae

**Nombre(s) común(es):** Naranja dulce, naranja china para *C. sinensis* y Limón o limonero para *C. limón*.

**Descripción:** Árbol de 7-8 (-10) m de altura, con la copa redondeada y corteza de color castaño, lisa. Ramillas nuevas angulosas y espinosas o a veces sin espinas. Hojas simples, oblongas, ovadas o elípticas, de 6-15 cm de longitud y 2-9 cm de anchura. Ápice agudo y base redondeada u obtusa. Margen denticulado. Haz verde lustroso y envés mate. Pecíolo estrechamente alado. Flores solitarias o en racimos, con 4-5 pétalos blancos, glandulosos y 20-25 estambres. Fruto globoso u oval de 6-9 cm de diámetro, con la corteza poco rugosa de color naranja. Pulpa sin vesículas oleosas. Semillas blancas (Gilman y Watson, 1993; Martínez y Chacalo, 1994).



Figura 51. *Citrus* sp. A) Grano de polen en vista ecuatorial. B) Grano de polen vista polar. C) Flor. D) Frutos. E) Árbol

**Distribución:** Principalmente se les utiliza por el comercio de sus frutos, aunque también es posible encontrarlos como árboles ornamentales en la ciudad, dentro de parques antiguos o casas particulares (Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** Su floración es escalonada, iniciando en marzo y prolongándose en ocasiones hasta mayo, de acuerdo a las variaciones climáticas (Martínez y Chacalo, 1994)

**Polinización:** Entomófila

**Alergenicidad:** Se considera un tipo polínico con bajo potencial alergénico, provocando alergias ocupacionales en personas que trabajan en cultivos, o que viven en las inmediaciones (Lewis *et al.*, 1983).

**Morfología Polínica:** Grano de polen tetra (penta)- zonoporado, isopolar con simetría radial. Circular a elíptico en vista ecuatorial, mientras que en vista polar se observa cuadrangular o circular-lobulado. De oblado-esferoidal a subprolado. Tamaño pequeño a mediano, eje polar entre 23 y 27  $\mu\text{m}$  y un eje ecuatorial de 17-32  $\mu\text{m}$ . Ectoaberturas terminales tipo colpo, con endoaberturas tipo poro alargadas y situadas en la zona ecuatorial. La exina de 1.5 -2  $\mu\text{m}$  de grosor y de 2-3  $\mu\text{m}$  en la mesocolpia, formación de costillas y vestíbulo. Superficie reticulada o faveolada (Jones *et al.*, 1995; Andrés *et al.*, 2001)

## Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación entre algunas variables meteorológicas, y las concentraciones de polen atmosférico se llevó a cabo, dividiendo el periodo de polinación principal en prepico (tabla 41) y postpico (tabla 42).

### Prepico

Tabla 41. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Citrus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.047	.033	-.005	-.204**	.288**	.003	.002	.173**	-.098
Sig. (bilateral)	-	.458	.603	.943	.001	.000	.964	.976	.006	.123
N	248	248	248	248	248	248	247	247	247	248

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante el periodo de prepico del tipo polínico *Citrus* presentó correlaciones positivas con la precipitación acumulada y la dirección del viento, además de una negativa que con la precipitación.

### Postpico

Tabla 42. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Citrus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.008	-.013	.018	-.058	.252**	.133*	-.117	.173**	-.083
Sig. (bilateral)	-	.905	.838	.775	.358	.000	.035	.144	.006	.188
N	252	252	252	252	252	252	252	185	252	252

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante el periodo de postpico, se presentaron tres relaciones positivas las cuales fueron con la precipitación acumulada, la velocidad media y la dirección del viento.

### Discusión:

La fuente principal de los granos de polen de *Citrus* registrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, son las especies *Citrus limon*, *C. sinensis* y *Citrus* sp. (INIFAP, ProBosquede Chapultepec, 2008), y aunque su polinización es principalmente entomófila, se registraron concentraciones bajas de este grano de polen en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, durante los meses de noviembre a marzo. Esto se debe a la presencia constante de estos árboles en la

Ciudad de México, principalmente con fines ornamentales en casas y jardines de la zona, gracias a esta situación, fue posible realizar la colecta de los granos de polen para la palinoteca y su posterior identificación en el aire.

De acuerdo a lo reportado por Chouza y Gravina (2010), los principales factores ambientales que afectan la floración de este género son:

La temperatura, que debe encontrarse a 15 °C o por debajo para producir el aumento de giberelinas que resultan en el aumento de brotes florales. El estrés hídrico, que durante un periodo de 30-45 días favorece la floración (Nakajima *et al.*, 1991).

A pesar de registrarse concentraciones bajas en la atmósfera del Bosque de Chapultepec debido a su tipo de polinación (entomófila), se realizó un análisis del efecto que tenían distintas variables meteorológicas en sobre las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera. Dando como resultado, que durante la fase de prepico (tabla 41) se presentaron correlaciones positivas con la precipitación acumulada, esta relación se estableció gracias a que el desarrollo de los brotes florales durante el periodo de secas establece el estrés hídrico que favorece la floración en este grupo, por lo que al terminar el periodo de estrés hídrico, el aumento en la precipitación acumulada favorece la producción de los granos de polen. También se presentó una relación positiva con la dirección del viento, lo que significa que las concentraciones de polen registradas se ven afectadas dependiendo de la dirección que tenga el viento. Asimismo, se presentó una correlación negativa con la precipitación, debido al “lavado” de la atmósfera, que produce la lluvia.

Durante la temporada de postpico (tabla 42) se presentó una correlación positiva con la precipitación acumulada, debido que los ligeros aumentos del agua disponible debido a las precipitaciones que se presentan en esta temporada, promueven la producción de los granos de polen de este género. Otra de las variables con las que se presentó una relación positiva fue el viento, con su dirección y la velocidad media, debido a que es un grano de polen entomófilo, es necesario que se presenten vientos fuertes y constantes que soplen desde la dirección donde las concentraciones de este tipo polínico son más elevadas, en dirección hacia donde el sitio de muestreo.

La capacidad alergénica de este grano de polen se considera baja, ya que la sensibilización o reacción alérgica a éste, se presenta principalmente en personas que se encuentran sobreexpuestas (Lewis *et al.*, 1983). Sin embargo, también ha sido probado un fenómeno de reactividad cruzada con algunos pastos y manzanas que activan factores proinflamatorios (Iorio *et al.*, 2013).

## **Plantago**

Esta planta exótica que crece en ambientes ruderales en ciudades de climas templados. Se considera una maleza seria en cultivos perennes, sobre todo, alfalfa. Posiblemente se encuentra en expansión (URL 30)

**Especies representativas:** *Plantago lanceolata* y *P. major*

**Familia a la que pertenece:** Plantaginaceae

**Nombre(s) común(es):** Siete venas, plantén, llantén y plantago

**Descripción:** Es una herbácea perenne, de 10-30 cm. El tallo es corto, grueso y subterráneo. Hojas, alternas, basales, peciolo acanalado, de 5-15 cm de largo, laminas lanceoladas a linear-lanceoladas, raramente elípticas de 3-30cm X 0.5-4.5cm, ápice agudo, de margen entero o irregularmente dentado. Inflorescencia de 1-10 por individuo, densamente piloso, de 15-80 cm de largo (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

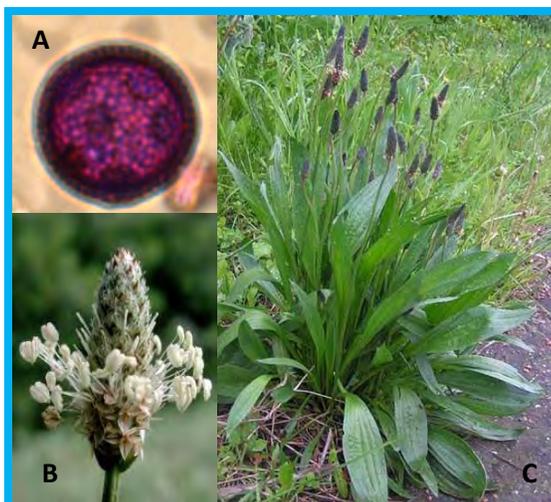


Figura 52. *Plantago lanceolata* (URL 31). A) Grano de polen. B) Inflorescencia (URL 32). C) Planta

**Distribución:** Ruderal sobre todo en donde se concentra bastante la humedad, como en los canales de riego y jardines, terrenos baldíos, cultivos perennes, bordes de caminos, otros lugares nitrificados (Trigo *et al.*, 2008, URL 30)

**Floración:** Florece de mediados de primavera a fines de verano, fructifica desde principios de verano hasta mediados de otoño. En el Bajío y Veracruz durante todo el año se encuentra en floración y fructificación (CONABIO, 2012)

**Polinización:** Típicamente anemófila (Trigo *et al.*, 2008)

**Alergenicidad:** Se considera que Pla L 1, es el alergeno principal de *Plantago lanceolata*, causante de polinosis en Norte América, Europa y Australia, por lo que se le considera con una alergenidad moderada (Calabozo *et al.*, 2001)

**Morfología Polínica:** Grano de polen polipantoporado, apolar y radiosimétrico. Se observa circular en corte óptico. Su tamaño es de pequeño a mediano. Aberturas tipo poro, distribuidas por toda la superficie del grano de polen, rodeadas por una anillo engrosado y cerradas por un opérculo. Superficie verrucosa, con espínulas de muy pequeño tamaño (Trigo *et al.*, 2008, Paldat, 2012)

## Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación entre algunas variables meteorológicas, y las concentraciones de polen atmosférico, se realizaron con el periodo de polinación principal total (tabla 43), debido a que las bajas concentraciones no permitieron establecer un pico de concentración en todos los años de muestreo.

### Periodo total de polinización

Tabla 43. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de *Plantago* presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de polinización

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.047	-.001	.094	.021	<b>.173**</b>	.089	<b>.107*</b>	-.002	<b>.159**</b>
Sig. (bilateral)	-	.341	.981	.054	.665	.000	.070	.029	.975	.001
N	417	417	417	417	417	417	416	416	416	417

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Las correlaciones que se presentaron entre la temporada de polinización de *Plantago* (tabla 43) y algunos factores meteorológicos, fueron positivas con la precipitación acumulada, la velocidad máxima del viento y la humedad relativa.

### Discusión:

En México, esta herbácea se encuentra representada por *Plantago alismatifolia*, *P. australis*, *P. australis hirtella*, *P. lanceolata*, *P. major*, *P. nivea* y *P. toluensis*, es importante destacar que este es un género capaz de desarrollarse en distintos ambientes, desde secos hasta regiones más húmedas, dependiendo de la especie. (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

El tipo polínico *Plantago* se presentó en bajas concentraciones principalmente durante el mes de noviembre. La presencia de este grano de polen en esta temporada difiere a lo reportado por Recio *et al.* (1995), ya que en la atmósfera de Málaga, España, se presentó de marzo a julio, con picos de concentración en abril y mayo. Sin embargo, en Argentina se presentó durante primavera y verano (Latorre y Pérez, 2009), asimismo, en Corea (Oh *et al.*, 2012) y Nueva Jersey (Port *et al.*, 2006), mientras que en Brasil solo se presentó durante la primavera (Vergamini *et al.*, 2007).

Debido a que el análisis de correlación entre las concentraciones de granos de polen atmosférico y los factores meteorológicos, no presentó significancias cuando la temporada de polinización se dividió en prepico y postpico, se trabajó con el periodo de polinización completo. Donde se presentaron correlaciones positivas con la precipitación acumulada, la velocidad máxima del viento y la humedad relativa. La correlación positiva con la precipitación acumulada y la humedad relativa se atribuye a la necesidad de algunas especies por desarrollarse en ambientes húmedos (Rzedowski y Rzedowski, 2001). Mientras que el aumento en la velocidad máxima del

viento resultó benéfico para las concentraciones de polen atmosférico, ya que al ser un polen anemófilo, depende del efecto de los vientos para ser liberado a la atmósfera.

La alergenicidad de los granos de polen provenientes de *Plantago*, se consideran alta, debido a las reacciones alérgicas que se desencadenan distintos pacientes, además de presentar reacción cruzada con distintas alergias alimentarias, principalmente con el melón (García *et al.*, 1995). El alergeno principal del grano de polen de *Plantago lanceolata*, Pla I 1 ha sido previamente identificado y aislado por Calabozo *et al.* (2001), quien también estandarizó un método de inmunodetección para este antígeno.

## **Populus**

**Especies representativas:** *Populus alba*, *Populus deltoides*, *Populus X canadensis*

**Familia a la que pertenece:** Salicaceae

**Nombre(s) común(es):** Álamo plateado, chopo, alamillo

**Descripción:** Son árboles caducifolios, dioicos y unisexuales. Con hojas simples, ovalada a triangular, con nervadura reticular basal y borde dentado o aserrado, de color verde oscuro en el haz, y el envés es más pálido, las hojas pueden estar recubiertas por un tomento blanquecino (*P. alba*). Las inflorescencias se encuentran en amentos péndulos, desnudas y cortamente pediceladas, en la axila de una bráctea. Las flores masculinas cuentan con 6-20 estambres libres, mientras que las femeninas tienen 2-4 estigmas largos. El fruto que producen es una cápsula dehiscente con 2-4 valvas y numerosas semillas pelosas (Recio, 1994; Rodríguez y Cohen, 2003; Trigo *et al.*, 2008)



Figura 53. *Populus sp.* A) Grano de polen vista polar. B) Rama florífera (URL 44). C) Árbol

**Distribución:** *Populus alba* se desarrolla principalmente en suelos frescos, húmedos, fértiles y tolerando climas cálidos. Sin embargo, *P. nigra* tiene la capacidad para desarrollarse casi en cualquier tipo de terreno, exceptuando los salinos, requiere humedad de suelo y renovación de agua. Tolera sequedad durante largo tiempo, fríos moderados y fuertes temperaturas, según lo reportado por López *et al.* (2003). *P. deltoides* se utiliza como ornamental y para alineación, está ampliamente distribuido en los parques y jardines de la ciudad, así como en calles y avenidas (Martínez y Chacalo, 1994).

**Floración:** Principalmente invernal (Recio *et al.*, 1996; Rodríguez y Cohen, 2003). Aunque López *et al.* (2003) reportan que *P. canadensis* y *P. nigra* florecen de febrero a marzo y sus granos de polen pueden encontrarse incluso en mayo. *Populus alba* florece de enero a abril, y *P. deltoides* de febrero a mayo, diseminando el polen un mes después de la floración (Martínez y Chacalo, 1994).

**Polinización:** Anemófila (Recio, 1994).

**Alergenicidad:** Moderada (pollen.com), debido a que su producción polínica es relativamente baja, comparada con otros tipos polínicos y presenta reactividad cruzada principalmente con *Salix*, debido a que son de la misma familia (Weber, 2001)

**Morfología Polínica:** El tipo polínico *Populus* es un grano de polen inaperturado, apolar, radiosimétrico. Se observa circular en corte óptico, esférico. Son de tamaño pequeño a mediano. La exina tiene un grosor aproximado de 1 µm, su superficie se encuentra perforada a finamente reticulada, con lúmenes de un tamaño menor a 1µm, además de muros irregulares, sobre los que aparecen espículas muy pequeñas (Recio, 1994).

#### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación entre algunas variables meteorológicas y las concentraciones de polen atmosférico del tipo polínico de *Populus* se realizó con el periodo de polinación completo (tabla 44), debido a que no era posible establecer el pico de concentración máxima.

#### Periodo total de polinización

Tabla 44. Correlación entre los granos de polen de *Populus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante el periodo total de polinación principal

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV Media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.051	.076	.003	-.124**	.055	.086*	.078	.111**	.021
Sig. (bilateral)	-	200	.055	.933	.002	164	.029	.060	.005	594
N	640	640	640	640	640	640	639	586	639	640

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

El análisis arrojó como resultado, que el periodo de polinación principal del tipo polínico *Populus* (tabla 44) presentó correlaciones positivas con la dirección del viento y la velocidad media del viento. También se muestra una correlación negativa con la precipitación.

#### **Discusión:**

*Populus* es un género conformado por 30 especies (Taylor, 2002), aunque en el Bosque de Chapultepec solo se encuentran reportadas tres especies (*Populus alba*, *Populus deltoides*, *Populus X canadensis*) (Anexo 5).

Los registros de este tipo polínico en la atmósfera del Bosque de Chapultepec de octubre a abril, en concentraciones muy bajas. Si comparamos estos resultados con la literatura, la presencia de polen, se adelantó dos meses de acuerdo a la temporada establecida para floración de este género, la cual, depende de la especie que se esté estudiando, además del sitio de desarrollo etc., se han reportado distintas temporadas de floración (Recio *et al.*, 1996; Rodríguez y Cohen, 2003), la floración registrada para *P. canadensis* y *P. nigra* es de febrero a marzo, mientras que *Populus alba* florea de enero a abril, y *P. deltoides* de febrero a mayo, diseminando el polen un mes después de la floración (Martínez y Chacalo, 1994; Vanden Broek *et al.*, 2003). El adelanto de la floración explicaría las bajas concentraciones a lo largo de toda la temporada.

Al ser un grano de polen anemófilo, las variables meteorológicas son importantes para su distribución dentro de la atmósfera, por lo que se realizó el análisis de correlación que presentaron entre sí. Cuando el análisis se realizó dividiendo la temporada de polinización en prepico y postpico, no se obtuvieron correlaciones significativas, por lo que se realizó el análisis con el periodo de polinización completo, dando como resultado tres correlaciones significativas.

Las correlaciones positivas se presentaron con la velocidad media y dirección del viento, que se establecen debido a que la cantidad de árboles presentes en la zona de estudio son bajas con respecto al resto de los árboles, por lo que el aumento en estos factores favoreció el transporte de este tipo polínico desde lugares lejanos al muestreador.

Finalmente, la correlación negativa se presentó con la precipitación, debido a que las lluvias producen un “lavado” atmosférico, que resulta en la sedimentación de las aeropartículas, dentro de las que se encuentran los granos de polen.

En cuanto a la alergenidad de los granos de polen de *Populus*, este se considera moderado, ya que es posible que presenten reactividad cruzada con *Salix*, que es de la misma familia (Lewis *et al.*, 1983). Y aunque no es un tipo polínico con altas concentraciones atmosféricas en el Bosque de Chapultepec como es el caso de Cedros o Fresnos, es necesario saber sus concentraciones y estacionalidad.

### **Rumex**

**Especies representativas:** *Rumex maritimus* y *R. obtusifolius*

**Familia a la que pertenece:** Polygonaceae

**Nombre(s) común(es):** Acedorilla, vinagrera y vinagrita (Martínez, 1979).

**Descripción:** Es una herbácea perenne y dioica (generalmente tiene flores masculinas y femeninas en diferentes plantas), rizomatosa, postrada o ascendente. Puede alcanzar una altura de hasta 40cm de alto. El tallo es erguido o tendido en el suelo con las puntas ascendentes, verde o rojizo, estriado, simple o ramificado. Cuenta con una ocrea (tubo membranoso), que rodea el tallo y a veces la base del peciolo. Las hojas que presenta son alternas y basales de hasta 6cm de largo, sobre peciolo largo, la lámina es oblonga, elíptica o lanceolada. Flores pequeñas, hermafroditas o unisexuales, verticiladas, dispuestas en fascículos axilares o panículas terminales con pedicelos articulados. El fruto es un aquenio trígono, unilocular, rodeado por 3 valvas herbáceas procedentes del perianto (Trigo *et al.*, 2008; URL 36).

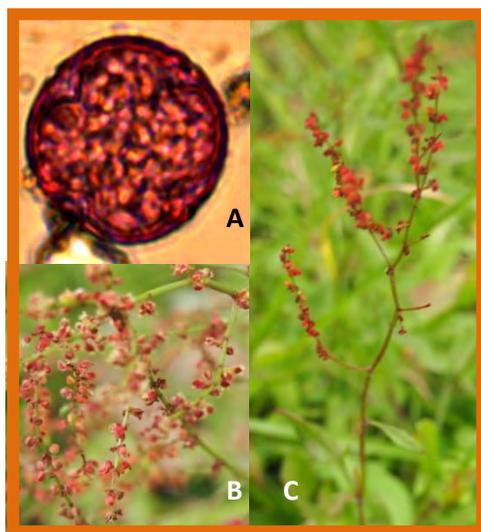


Figura 54. *Rumex* sp. A) grano de polen vista polar. B-C) Ramas floríferas.

**Distribución:** Es una especie de amplia distribución mundial, podemos encontrarla principalmente en las montañas, en bosques de Coníferas o pastizales, además de ser un arvense típico de los cultivos de maíz, lugares abandonados, campos y céspedes (Gleason y Cronquist, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 2001). Requieren de exposición al sol, suelos de fertilidad media y bien drenados (López *et al.*, 2000).

**Floración:** Se presenta de marzo a septiembre (Fitzsimmons y Burrill, 1993)

**Polinización:** Su polinización es anemófila, aunque se ha reportado que la presencia de granos de polen de *Rumex* en distintas mieles (Piotrowska, 2012).

**Alergenicidad:** De baja a moderada dependiendo de la especie, aunque se considera de importancia clínica, debido a que su tiempo de floración se traslapa con la temporada principal de pastos, por lo que es posible que se proporcione un diagnóstico incorrecto, por lo que se utiliza para las pruebas dérmicas de diagnóstico (pollen.com).

**Morfología Polínica:** Polen tri o tetrazonocolporado. Isopolar y radiosimétrico. De circular a tri o tetra-lobulado en vista polar y subcircular en vista ecuatorial. De esferoidal a

subprolado. Tamaño de pequeño a mediano y variable, entre 16 y 29  $\mu\text{m}$ . Ectoaberturas de tipo colpo, terminales muy estrechos y las endoaberturas tipo poro, circulares. Exina tecada de unas 2  $\mu\text{m}$  de grosor y superficie escábrido-reticulada. Intina delgada. Al microscopio óptico se observa el citoplasma con pequeñas vesículas refringentes o granulaciones densamente dispuestas. (Basset *et al.*, 1978; Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación que se presentaron entre las concentraciones atmosféricas del tipo polínico *Rumex* y algunas variables meteorológicas, se realizó dividiendo el periodo de polinación principal en prepico (tabla 45) y postpico (tabla 46).

#### Prepico

Tabla 45. Correlación entre la concentración atmosférica del tipo polínico *Rumex*, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.152**</b>	<b>.249**</b>	.005	<b>-.169**</b>	.065	<b>-.197**</b>	<b>-.223**</b>	-.064	<b>-.122*</b>
Sig. (bilateral)	-	.008	.000	.928	.003	.264	.001	.000	.271	.034
N	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 45), se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media y máxima). Además de presentarse correlaciones negativas con la precipitación, la velocidad del viento (media y máxima) y la humedad relativa.

#### Postpico

Tabla 46. Correlación entre las concentraciones del tipo polínico *Rumex* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con respecto a distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.024	.044	-.124	<b>-.149*</b>	<b>-.132*</b>	.073	.013	<b>.189**</b>	-.070
Sig. (bilateral)	-	.706	.492	.053	.020	.038	.252	.866	.003	.273
N	246	246	246	246	246	246	246	161	246	246

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 46), las correlaciones que se presentaron entre las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico, fueron positivas con la dirección del viento, y negativas con la precipitación y la precipitación acumulada.

## **Discusión:**

Este género se encuentra formado por cerca de 200 especies alrededor del mundo, su distribución es cosmopolita (Solano y Ayala, 2008). En México, existen especies nativas, como *Rumex mexicana*. Se desarrolla principalmente en regiones de suelo húmedo, invadiendo terrenos de cultivo, así como en las orillas de canales y caminos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Este tipo polínico se registró durante los meses de noviembre a febrero, correspondiendo a la temporada de secas. En cuanto a los reportes de este tipo polínico a nivel internacional, se registró durante el inicio de la primavera en Brasil (Vergamini *et al.*, 2009) y Canadá (Ritchie y Lichti-Federovivh, 1967). En Nueva Jersey se encontró principalmente en septiembre (Port *et al.*, 2006), en Madrid, de abril a junio, con un pico de concentraciones en mayo (Gutiérrez *et al.*, 2006). En Corea, este tipo polínico se presenta principalmente de junio a octubre (Oh *et al.*, 2012), ésta última es la que más se parece a lo encontrado en este estudio.

Las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico durante la temporada de prepico (tabla 45), presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media y máxima), debido a que el aumento en estas variables favorece que las anteras se sequen, exponiendo los granos de polen al medio ambiente, para poder ser liberados al medio ambiente por acción de los vientos. Mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación, que produce un “lavado” de la atmósfera, promoviendo la precipitación de las partículas suspendidas en el aire. También se presentaron con la velocidad del viento (media y máxima), debido a que las concentraciones son tan bajas, que la presencia de vientos muy fuertes, promueven el transporte de los granos de polen lejos del sitio de muestreo. Finalmente, también se presentó una correlación negativa con la humedad relativa, debido a que esta dificulta que las anteras expongan los granos de polen al medio ambiente.

Durante la temporada de postpico (tabla 46) las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico presentaron relaciones positivas con la dirección del viento, lo que significa que existen asentamientos de esta planta, por lo que al soplar el viento en direcciones específicas, las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico aumentan. En cuanto a las relaciones negativas que se presentan, son la precipitación, la explicación de esta relación es la misma que durante la temporada de prepico, finalmente, también se presentó una relación negativa con la precipitación acumulada, debido a que el exceso en el agua disponible propicia la marchitez de la planta, ya que necesitan de suelos bien drenados, para un desarrollo óptimo (López *et al.*, 2000).

En cuanto a la alergenicidad de *Rumex*, es considerado de moderado a severo, dependiendo de la especie fuente, asimismo, se considera un sensibilizador importante, ya que se le ha relacionado con la polinosis a gramíneas, ya que su floración se traslapa (Lewis *et al.*, 1983; Trigo *et al.*, 2008; Piotrowska, 2012).

## **Ambrosia**

**Especies representativas:** *Ambrosia perene* o *A. psitolachya*

**Familia a la que pertenece:** Asteraceae

**Nombre(s) común(es):** Altamisa, amargosa, artemisa perenne.

**Descripción:** Arbustos o hierbas resinosas, aromáticas, monoicas, cuyas flores están dispuestas en cabezuelas unisexuales campanuladas, hojas enteras a finamente divididas. El fruto suele ser un aquenio (Castillo *et al.*, 2007). *Ambrosia psilostachya* es una hierba perenne, y es la única especie de éste género de la que se tiene registro en los inventarios consultados para Chapultepec (INIFAP, ProBosqueChapultepec, 2008).

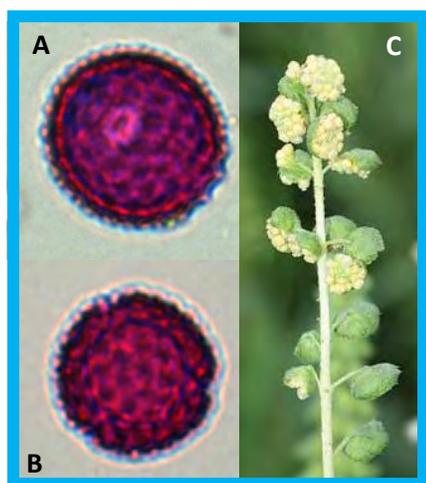


Figura 55. *Ambrosia* sp. A) grano de polen vista ecuatorial. B) grano de polen vista polar. C) Rama florífera (URL 45).

**Distribución:** Se cree que es originaria de Norteamérica y actualmente se encuentra desde el sur de Canadá hasta el centro de México (Rzedowski y Rzedowski, 1998)

**Floración:** Su época de floración está determinada por la latitud y elevación, pero suele ocurrir de junio a noviembre (Villareal, 1983).

**Polinización:** Anemófila

**Alergenicidad:** Se considera altamente alergénico, además de presentar reactividad cruzada con *Artemisia* (Rocha *et al.*, 2008).

**Morfología Polínica:** Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular lobulado en vista polar, mientras que se observa de subcircular a elíptico en vista ecuatorial. De oblado-esferoidal a prolado-esferoidal. Su tamaño es pequeño, con un eje polar de 24  $\mu\text{m}$  y eje ecuatorial de 25  $\mu\text{m}$ . Presenta ectoaperturas tipo colpo y endoaperturas tipo poro, redondeadas con margen difuso. La exina es gruesa y tecada, con espinas de 1-2  $\mu\text{m}$  de alto (Basset *et al.*, 1978; Ludlow *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2008; Olivé, 2012).

#### **Correlación con los parámetros meteorológicos**

El análisis de la correlación entre las concentraciones de polen de tipo *Ambrosia* y algunas variables meteorológicas se realizó con el periodo de polinación principal dividido en prepico (tabla 47) y postpico (tabla 48).

## Prepico

Tabla 47. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Ambrosia* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV Media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.021	-.013	-.061	<b>-.126**</b>	-.048	-.061	-.060	<b>-.082*</b>	<b>-.082*</b>
Sig. (bilateral)	-	.614	.755	.136	.002	.244	.136	.150	.046	.046
N	597	595	595	595	597	597	589	578	587	597

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico (tabla 47), las concentraciones atmosféricas de los granos de polen de *Ambrosia*, presentaron correlaciones negativas con la precipitación, la dirección del viento y la humedad relativa.

## Postpico

Tabla 48. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Ambrosia* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.229**</b>	<b>.151**</b>	<b>.187**</b>	.031	<b>.187**</b>	-.063	-.020	.076	-.024
Sig. (bilateral)	-	.000	.004	.000	.554	.000	.226	.711	.144	.656
N	369	358	358	358	358	369	369	334	369	369

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 48) se presentaron relaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), y con la precipitación acumulada.

## Discusión:

El género *Ambrosia* es parte de la familia Compositae, asimismo, el género se está conformada por 42 especies alrededor del mundo, sin embargo, en el Bosque de Chapultepec, este género se encuentra representada por *A. psitolachya* (Olivé, 2012). A pesar de ser una compuesta, su morfología polínica permite diferenciarla del resto de los granos de polen de la familia a la que pertenece, cuando son identificados en microscopía óptica. Durante este estudio, se registró la presencia en bajas concentraciones del tipo polínico *Ambrosia* en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, en el periodo de marzo a noviembre. Este tipo polínico se considera importante de manera internacional, debido a que se ha presentado un aumento de sus concentraciones atmosféricas (Makra *et al.*, 2005). Un ejemplo, es el caso de la ciudad de Sarajevo, donde se registraron concentraciones anuales de polen atmosférico de *Ambrosia*, superiores a 4000 granos de polen/m<sup>3</sup> aire (Peternel *et al.*, 2008), presentándose durante los

meses de agosto y septiembre. Mientras que en Mar de la Plata, Argentina se presentó de enero a marzo (Latorre y Pérez, 1997), en Turquía, de julio a octubre (Kaplan *et al.*, 2003). En Suiza se presentó de agosto a octubre (Tamarcaz *et al.*, 2005). Este tipo polínico se presentó en bajas concentraciones, sin embargo se analizaron los efectos que tienen distintas variables meteorológicas sobre las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico. Durante la temporada de prepico (tabla 47) se presentaron relaciones negativas con la precipitación, debido al “lavado” de la atmósfera, que produce la precipitación de partículas suspendidas en el aire. También se presentó una correlación negativa con la dirección del viento, significando que hay zonas donde la concentración es mayor en otras zonas, y los granos de polen son transportados cerca del sitio de muestreo por acción del viento. La última relación negativa significativa que se presentó, fue con la humedad relativa, debido a que el aumento en este factor, promueve que las anteras se cierren, evitando la liberación de los granos de polen a la atmósfera.

En cuanto a las correlaciones que se presentaron durante la temporada de postpico (tabla 48), éstas fueron positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), debido a que el aumento en estas variables promueve que las anteras se sequen, exponiendo los granos de polen para ser liberados a la atmósfera, mientras que la relación con la precipitación acumulada está relacionada con la cantidad de agua disponible para su desarrollo.

Este tipo polínico se considera altamente alergénico alrededor del mundo (América, Europa y Asia) debido a es un factor desencadenante de asma y rinitis alérgica en la población sensible (Tamarcaz *et al.*, 2005), Asimismo, la cantidad de pacientes con alergias que responden a los alergenos producidos por los granos de polen de *Ambrosia* son cerca del 80% en Hungría, 70% en el norte de Italia, 30% en Austria y 17% en el sur de Suiza, lo que es atribuido en gran medida a las reacciones cruzadas que presenta con distintos géneros de la familia Asteraceae, Poaceae y Betulaceae (Peternel *et al.*, 2008). El registro de las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico, son importantes, ya que el aumento de éstas, resulta en muchos casos, en el aumento de pacientes sensibles (Makra *et al.*, 2005).

## **Liquidambar**

**Especies representativas:** *Liquidambar styraciflua*

**Familia a la que pertenece:** Hamamelidaceae

**Nombre(s) común(es):** Liquidámbar, Nijtepijto, Nite- biito, Bito, Vito pijte, (Rep. Mex.), Bálsamo copalme, Copalme, Xochicatscuáhuatl, Ocóxotl, Ocótzotl (Ver.), Estorasque (Oax., Chis.), Len-gau-o, Ingamo (l. cuicatleca, Oax.), Maripenda (Mich.), Ma-la (l. chinanteca, Lalana Oax.), Nabá (l. chol, Tumbalá, Chis.), Yaga-bicigui, Yaga-bito, Yaga-huille, Yaga-pito, Yaga-vido (l. zapoteca, Oax.), Copalillo, Somerio (S.L.P.), Icob, Xochiatl quirámbaro (l. huasteca, sureste S.L.P.), Ocotzocuáhuatl (l. nahuatl, sierra Zapapoxtla, Pue.), Ococote (Oax.), Suchete (Zacualtipán, Hgo.), Toshcui (l. zoque, Tapalapa, Chis.) (CONABIO, 2012).

**Descripción:** Se trata de árboles (sub) caducifolios de 20 a 40m de altura. Su copa es alargada o piramidal cuando son jóvenes, y redonda cuando son maduros. Las hojas son simples y en espiral, con lóbulos triangulares y margen aserrado. El tronco que tienen es recto, mientras que las ramas son ascendentes y delgadas. La corteza externa se encuentra angostamente fisurada y

de color moreno-grisácea. La flores son panículas terminales o axilares de 5 a 10 cm de largo, pubescentes. Mientras que las flores unisexuales son muy pequeñas y sin perianto. El fruto que producen son cabezuelas globosas, equinuladas, leñosas, morenas a negro brillantes. (CONABIO, 2012).

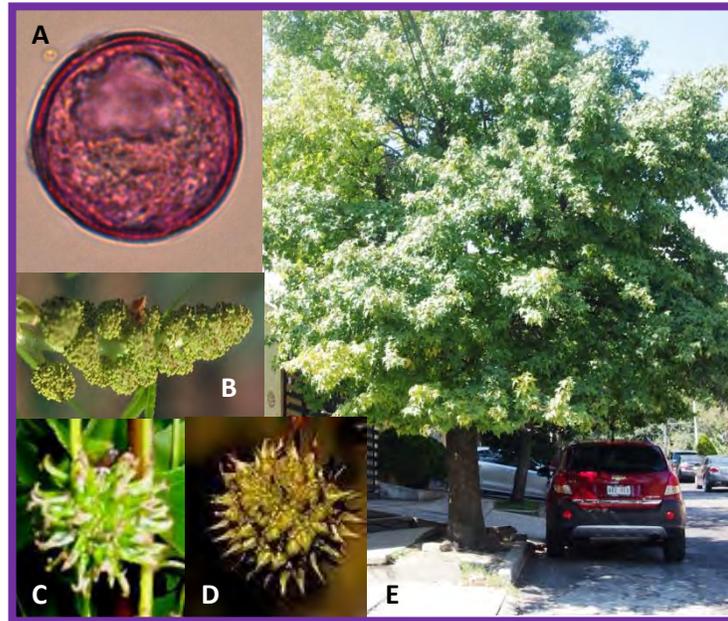


Figura 56. *Liquidambar styraciflua*. A) Grano de polen. B) inflorescencia masculina. C) inflorescencia femenina. D) Fruto. E) Árbol

**Distribución:** Es una especie abundante en lugares abiertos y bordes de caminos, sobre claros y acahuales. Su mejor desarrollo se da en lugares subhúmedos a húmedos, con 1000 a 1500 mm de lluvia anuales. En cuanto a suelo, se desarrolla mejor en suelos ácidos y franco-arcillosos, profundos, húmedos y frescos. Se encuentra como ornamental en el arbolado de plazas, parques, jardines y calles (Lahitte *et al.*, 1999)

**Floración:** De enero a marzo

**Polinización:** Anemófila

**Alergenicidad:** Baja (pollen.com)

**Morfología Polínica:** Grano de polen periporado, apolar y radiosimétrico. Se observa esférico con corte óptico. Su tamaño es de mediano a grande (35-58  $\mu\text{m}$  de diámetro). Las aperturas son simples tipo poro, de 12-20 poros. En algunas ocasiones se observan restos de la ectexina en las membranas de los poros. La exina se encuentra finamente reticulada, tiene columnas como elementos suprategmiales (Zavada y Dilcher, 1986).

#### **Correlación con los parámetros meteorológicos**

El análisis de correlación entre los granos del tipo polínico *Liquidambar* y algunas variables meteorológicas se realizó dividiendo el periodo de polinación principal en prepico (tabla 49) y postpico (tabla 50).

## Prepico

Tabla 49. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de *Liquidambar* presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.471**	.423**	.329***	-.269**	.355**	-.094	-.366**	.104	-.289**
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.001	.008	.000	.363	.002	.315	.004
N	96	96	96	96	96	96	96	67	96	96

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico del tipo polínico *Liquidambar* (tabla 49) se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), y con la precipitación acumulada. Mientras que las relaciones negativas se presentaron con la precipitación, velocidad máxima y humedad relativa.

## Postpico

Tabla 50. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de *Liquidambar* presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.063	-.027	.077	.210*	.083	-.412**	-.561**	-.020	.129
Sig. (bilateral)	-	.550	.801	.466	.043	.427	.000	.000	.852	.217
N	93	93	93	93	93	93	93	70	93	93

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

De las correlaciones que se presentaron durante la temporada de postpico (tabla 50), una fue positiva con la precipitación acumulada y negativas con la velocidad del viento (media y máxima).

## Discusión:

El árbol de *Liquidambar*, es parte de la familia Hamamelidaceae, que se encuentra formada por 31 géneros y cerca de 140 especies a nivel mundial (McCartur y Hughes, 1984), sin embargo, en el Bosque de Chapultepec, solo se encuentra la especie de *L. styraciflua* (Anexo 5).

Este tipo polínico se presentó en la atmósfera del Bosque de Chapultepec durante los meses de febrero y marzo, que es la temporada en la que se observó un aumento de la temperatura, que está considerado, como un factor importante en la promoción de la floración de este género. Ya que en países donde las estaciones del año se encuentran bien marcadas, como Estados Unidos (Lewis *et al.*, 1991), Portugal (Abreu *et al.*, 2003), y Argentina (García *et al.*, 2010b), la floración de este género se encuentra reportada desde finales del invierno hasta mediados de

primavera. En la Ciudad de México, se reporta su floración de febrero hasta abril Bronillet (1992), Salazar (1995), Fuentes (2012).

La polinización principalmente anemófila de este género, establece la necesidad de estudiar las correlaciones que se presentaron entre las concentraciones de polen atmosférico con distintas variables atmosféricas. Este análisis, estableció que durante la temporada de prepico (tabla 48) se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), debido a que el aumento de la temperatura, promueve el aumento de las concentraciones atmosféricas de este grano de polen, ya que facilita que las anteras se sequen y los granos de polen sean expuestos para ser liberados a la atmósfera, también se presentó una correlación positiva con la precipitación acumulada, ya que a pesar de ser temporada de secas, la precipitación humedece los suelos, por lo que eleva la cantidad de agua disponible que tiene la planta para su desarrollo y está reportado un mejor desarrollo de este género en suelos húmedos (Lahitte *et al.*, 1999). Mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación, debido al “lavado” de la atmósfera que se produce cuando llueve, también se presentaron relaciones negativas con la velocidad del viento (media y máxima), lo que significa que la presencia de vientos fuertes y constantes promueven el transporte de los granos de polen de *Liquidambar* lejos del sitio de muestreo, atribuyéndose a su distribución anemófila.

En cuanto a las correlaciones presentes durante la etapa de postpico (tabla 49), se presentó una correlación positiva con la precipitación acumulada, que se explica del mismo modo que en el caso de la temporada de prepico, mientras relaciones negativas con la velocidad del viento (media y máxima), el resultado de estas relaciones se atribuyen a los mismos motivos establecidos durante la etapa de prepico.

En cuanto a la alergenicidad de este tipo polínico, se considera bajo. Aunque si existen pacientes que reaccionan a la presencia de este tipo polínico, ya que, de acuerdo con Aguilar (2005) reporta que cerca del 4% de la población atópica en la Ciudad de México, presenta reacciones cuando se prueba el extracto de este grano de polen en pruebas cutáneas.

## **Ricinus**

**Especies representativas:** *Ricinus communis*

**Familia a la que pertenece:** Euphorbiaceae

**Nombre(s) común(es):** Palmacristi, ricino, higuera, higuera del diablo (Martínez, 1979)

**Descripción:** Es una planta herbácea alta, a veces arbustiva, de color verde claro a azul-grisáceo, e incluso rojiza. En ocasiones alcanza hasta 6m de altura. Su tallo es engrosado y ramificado. Las hojas son láminas semi orbicular, de 10-60 cm de diámetro, profundamente palmatibolada, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas, agudas o acumiadas, con el borde irregularmente dentado-glanduloso. El peciolo es igual o más largo que la lámina. Presenta glándulas entre la lámina y el peciolo. Las flores masculinas cuentan con un perianto de 6-12 mm de largo, mientras que las flores femeninas son de 4-8 mm de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos. El fruto que produce es una cápsula

subglobosa, de 1.5- 2.5 cm de largo, con espinas cortas y gruesas (equinado), las semillas son epsiloides, algo aplanadas, de 10-17 mm de largo (URL 35).



Figura 57. *Ricinus communis*. A) Grano de polen vista polar. B) grano de polen vista ecuatorial. C) Rama florífera con flores masculinas y femeninas. D) arbusto

**Distribución:** Se cree que es una especie originaria de África, sin embargo, se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de los trópicos. En México, podemos encontrarla en México se registra de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán (Villaseñor y Espinosa, 1998). Mientras que en la Ciudad de México se observa principalmente en terrenos baldíos.

**Floración:** De mayo a julio (CONABIO, 2012)

**Polinización:** Principalmente anemófila, aunque se ha observado que la presencia de *Apis mellifera* contribuye a su polinización (Rizzardo *et al.*, 2012).

**Alergenicidad:** Baja (pollen.com), se reconoce la alergia alimentaria a las semillas de *Ricinus*, sin embargo se ha reportado la reacción alérgica en individuos monosensibilizados, provocando problemas respiratorios (García *et al.*, 1999b)

**Morfología Polínica:** Polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Subcircular a ligeramente triangular en vista polar y de circular a elíptico en vista ecuatorial. Tamaño mediano. Ectoaberturas de tipo colpo, terminales, con extremos agudos y bordeados de un estrecho margo, endoaberturas de tipo porolalongadas. Exina de 2  $\mu\text{m}$  de grosor. Superficie perforada (Recio, 1995).

#### **Correlación con los parámetros meteorológicos**

El estudio de las correlaciones presentes entre las concentraciones del tipo polínico *Ricinus* y algunas variables meteorológicas, se realizaron con el periodo de polinación principal dividido en prepico (tabla 51) y postpico (tabla 52).

## Prepico

Tabla 51. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Ricinus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.124*</b>	<b>.108*</b>	.036	<b>-.112*</b>	-.052	-.068	<b>-.145*</b>	-.003	-.070
Sig. (bilateral)	-	.021	.045	.502	.038	.332	.215	.011	.952	.197
N	345	345	345	345	345	345	338	309	338	345

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico, el tipo polínico *Ricinus* presentó relaciones positivas con la temperatura (media y máxima). Además de presentar relaciones negativas con la precipitación y la velocidad máxima del viento.

## Postpico

Tabla 52. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Ricinus* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.150**</b>	<b>.109*</b>	<b>.169**</b>	-.023	<b>.183**</b>	.048	.011	.023	-.011
Sig. (bilateral)	-	.005	.043	.002	.664	.001	.378	.833	.676	.845
N	345	345	345	345	345	345	344	344	344	345

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico (tabla 50), se presentaron correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima) y la precipitación acumulada. Sin embargo, no se presentaron relaciones negativas significativas.

## Discusión:

*Ricinus*, es una planta comúnmente conocida como higuera en México, se considera exótica e invasiva. Se encuentra principalmente a la orilla de camellones y en terrenos abandonados, aunque existen lugares donde son cultivadas debido a sus aceites y sus semillas, las cuales son venenosas (CONABIO).

Los granos de polen de *Ricinus* se presentaron en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, de finales de agosto a principios de septiembre en muy bajas concentraciones. En Brasil, Vergamini *et al.* (2007) encontraron un periodo más amplio de polinización, mayor concentración de estos granos de polen, al final del invierno y en primavera. Sin embargo, en muchos otros lugares, igual que en este estudio, las concentraciones de polen atmosférico de *Ricinus* se

encontraron en bajas concentraciones, como el caso de Argentina (Latorre y Perez, 1997), así como en Monterrey (Rocha *et al.*, 2009), donde las concentraciones registradas representan menos del 1% de la producción total anual. Las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico fueron bajas durante el muestreo. Por lo que se analizó el efecto de distintas variables meteorológicas, sobre la temporada de prepico (tabla 51) y postpico (tabla 52). Durante la temporada de prepico (tabla 51) se presentaron relaciones positivas con la temperatura (media y máxima), debido a que el aumento en estos factores promueve el aumento en las concentraciones atmosféricas de este tipo polínico, gracias a que secan las anteras y facilitan que estas expongan los granos de polen para ser liberadas por el viento. Sin embargo, las relaciones negativas se presentaron con la precipitación y la velocidad máxima del viento.

Tiene una reactividad cruzada con *Hevea brasiliensis*, *Mercurialis annua*, *Olea europea*, *Betula*, *Zygophyllum roxburghii*, con la semilla de *Ricinus* (Singh y Kumar, 2004). También se ha descrito la importancia alergénica de este tipo polínico, donde las concentraciones no superan el 1% de la producción total anual, sin embargo, el 8% de los pacientes (118 individuos), presentaron una reacción alérgica en las pruebas cutáneas (García, 1999)

## Asteraceae

Es la familia más grande de plantas vasculares en el mundo, con más de 23, 000 especies y cerca de 1600 géneros distribuidas en todos los continentes excepto Antártica. Estos géneros representan plantas alimenticias, medicinales, ornamentales, industriales y tóxicas. En el Bosque de Chapultepec, se encuentran reportadas 34 especies en el inventario realizado por ProBosque Chapultepec (Anexo 2). Los granos de polen registrados en este estudio, se dividieron en cuatro tipos polínicos, representando a los géneros *Helianthus* y *Senecio*, y a las tribus Anthemideae y Lactuceae (Conabio, 2008; URL 2).

**Descripción.** En su generalidad son plantas herbáceas. Erectas, trepadoras o rastreras. Las hojas que presentan son alternas u opuestas, generalmente lobadas o dentadas, y pueden estar incluso ausentes. Presentan inflorescencias formadas por muchas o pocas flores, rara vez reducida a una sola flor. Los sépalos se encuentran modificados en forma de pelos, escamas o aristas, las flores se insertan en un receptáculo común. El fruto es un aquenio (Freire, 2004).

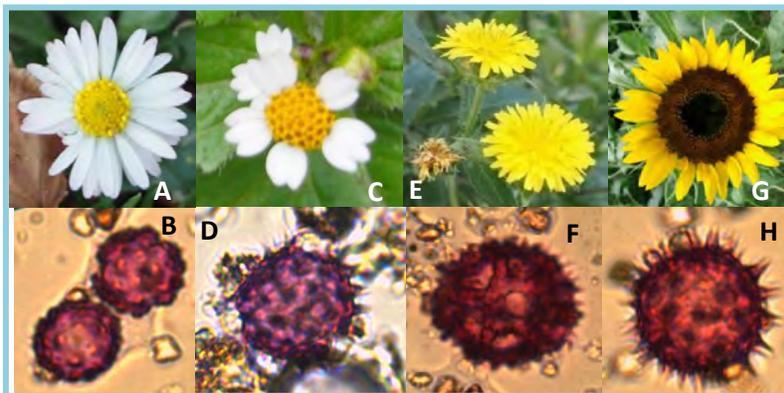


Figura 58. Compuestas.

A) flor de Anthemideae. B) grano de polen tipo Anthemideae. C) flor de Senecioneae. D) Grano de polen tipo *Senecio*. E) Flor de Lactuceae. F) Grano de polen tipo Lactuceae. G) Flor de *Helianthus*. H) Grano de polen tipo *Helianthus*.

**Distribución:** México es el país con más especies de Asteraceae en el mundo y representan el 12-15% de la flora vascular mexicana. Las Asteraceae están distribuidas en todos los biomas de México mas son especialmente abundantes en zonas con una marcada alternancia entre episodios húmedos y secos (CONABIO, 2008; URL 2).

**Floración.** El periodo de floración es muy amplio y depende del género y la especie, pudiéndose encontrar especímenes en floración a lo largo de todo el año (Balleza y Villaseñor, 2002). Anthemideae aparece desde mediados de invierno hasta finales del verano. *Helianthus* florece durante el verano, Lactuceae en invierno y algunas otras en verano. *Senecio* florece en primavera, pero puede llegar a hacerlo también en invierno y verano (Trigo *et al.*, 2008).

**Polinización.** La gran mayoría de este grupo son entomófilas, debido a que proporcionan néctar y polen a los insectos y aves, aunque existen algunas plantas capaces de producir un polen seco y liviano que es fácilmente dispersado por el viento. Las flores capituladas de este grupo favorecen la fecundación cruzada, pero si la polinización no ocurriera pueden doblar sus brazos estigmáticos y autofecundarse (Cabrera y Zardini, 1978).

**Alergenicidad:** Se ha reportado la alergenidad de gran número de especies que componen a este grupo, la alergenidad de este grupo se debe a la producción de sesquiterpenos lactonas, presentes en la resina de las hojas, estambres, flores y posiblemente en los granos de polen (Goulden y Wilkinson, 1998). A pesar de esto, la mayoría de las alergias a este grupo se presentan principalmente en jardineros y personas con alta exposición a estas plantas (Galán, 1995)

**Morfología polínica.** El grano de polen de este grupo es muy variable. Generalmente son trizonocolporados, isopolares y radiosimétricos. De esferoidal a prolado. Se observa subcircular a circular lobulado o ligeramente poligonal en vista polar, mientras que en vista ecuatorial se observa circular a ligeramente elíptico. Tamaño de pequeño a mediano (10-30  $\mu\text{m}$  de diámetro). Las aperturas generalmente son compuestas por colpos y poros, incluso a menudo aparece una mesoapertura. La ornamentación está formada por espinas de 1-5 mm de largo, a veces se presentan crestas y lagunas de diversos tamaños. La exina es tectada o semitectada, de 2 a 7  $\mu\text{m}$  de grosor y la sexina equinada o equinulada (Roubik *et al.*, 1991; Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008).

A continuación se describen los 4 tipos polínicos principales que se identificaron.

*Anthemidea:* Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Esferoidal. Circular, corte óptico. Tamaño de 18 a 39  $\mu\text{m}$  de eje polar y de 19 a 36  $\mu\text{m}$  de diámetro ecuatorial. Las aperturas son compuestas por colpo y poro, las externas son tipo colpo y las endoaberturas son tipo Tricolporado, con aberturas externas tipo colpo y endoaberturas tipo colpo dispuestas perpendicularmente a la ectoabertura, por lo que la intersección resulta en un poro rectangular. La ornamentación está formada por espinas de hasta 4  $\mu\text{m}$  de longitud. Exina de hasta 6  $\mu\text{m}$  de grosor, con columelas infratectales gruesas y ramificadas (Trigo *et al.*, 2008).

*Helianthus:* Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Esferoidal. Algunas veces se puede observar triangular en vista polar, aunque generalmente se observa circular, corte óptico. Tamaño mediano (eje polar de 22-45  $\mu\text{m}$  y eje ecuatorial de 24 a 45  $\mu\text{m}$ ). Aperturas compuestas, las ectoaperturas son colpos y las endoaperturas son colpos perpendiculares, formando un poro rectangular. La superficie se encuentra cubierta de espinas

muy agudas, de hasta 6  $\mu\text{m}$  de longitud. Exina de 3  $\mu\text{m}$  de grosor, con columelas infratectadas simples y delgadas. (Jones *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2008).

**Lactuceae:** Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y poligonal hexagonal en vista ecuatorial. Esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano (eje polar 21-41  $\mu\text{m}$  y eje ecuatorial 24-47  $\mu\text{m}$ ). Aberturas compuestas por ectoaberturas tipo colpo, cortamente elípticas y endoaberturas similares pero dispuestas perpendicularmente a las anteriores, resultando en un poro de forma rectangular. La ornamentación está formada por pequeñas espinas de hasta 2  $\mu\text{m}$  que crecen sobre las crestas. La superficie es equinulada y se encuentra formada por una serie de crestas anastomosadas que diferencian unas 15 lagunas, 3 porales, 6 abporales y 6 paraporales, los polos pueden presentar una zona maciza, a modo de casquete, o bien puede constituirse en otras dos lagunas más. La exina es tectada, de 4 a 6  $\mu\text{m}$  de grosor. (Moreno-Socías *et al.*, 1994; Ludlow *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2008).

**Senecio:** Grano de polen tricolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular, corte óptico en vista polar y vista ecuatorial. Esferoidal. Tamaño mediano (eje polar 20-45  $\mu\text{m}$  y eje ecuatorial 20-45  $\mu\text{m}$ ). Aberturas compuestas, las ectoaberturas tipo colpo y endoaberturas tipo colpo pero dispuestas perpendicularmente, de forma que la intersección es un poro rectangular. La superficie se encuentra cubierta de espinas de hasta 3  $\mu\text{m}$  de longitud. La exina de 3  $\mu\text{m}$  de grosor, sin columelas infratectales dejando un espacio vacío por debajo del tectum (columelado) (Trigo *et al.*, 2008).

### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación que se presentaron entre el tipo polínico de las compuestas y algunas variables meteorológicas se realizó con el compilado de los cuatro tipos de compuestas que se diferencian en este estudio. El periodo principal de polinación de este compilado se dividió en el periodo de prepico (tabla 53) y postpico (tabla 54).

#### Prepico

Tabla 53. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de Asteraceae presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV Media	VVV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>-.114*</b>	-.072	<b>-.305**</b>	<b>-.417**</b>	<b>-.215**</b>	.072	-.084	<b>-.167**</b>	<b>-.263**</b>
Sig. (bilateral)	-	.038	.191	.000	.000	.000	.194	.130	.003	.000
N	331	331	331	331	331	331	323	323	323	331

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico del grupo de las Asteraceae (tabla 53) sólo presentaron correlaciones significativas negativas con la temperatura (media y mínima), precipitación, precipitación acumulada, dirección del viento y humedad relativa.

## Postpico

Tabla 54. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de Asteraceae presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	-.009	-.005	.000	-.094**	-.122**	-.076*	-.103**	.055	.068
Sig. (bilateral)	-	.812	.895	1.000	.010	.001	.038	.008	.130	.062
N	751	751	751	751	751	751	751	670	751	751

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico de la familia Asteraceae (tabla 54), las concentraciones de polen atmosférico presentaron correlaciones negativas con la precipitación, precipitación acumulada, y velocidad del viento (media y máxima).

## Discusión:

La familia de las Asteráceas (compuestas) recibe su nombre del término latino “aster”, que significa “estrella” y hace referencia a la forma que toman las inflorescencias de la familia (Freire, 2004). Esta una de las familias más grandes de plantas con flor, formada por más de 15 000 especies (Cronquist, 2001), y aunque es de distribución cosmopolita, se encuentra mejor representada en regiones semiáridas, tropicales y subtropicales (Heywood, 1985).

Las distintas especies que conforman esta familia, tienen una gran variedad de tamaños, formas y colores, además de incluir plantas alimenticias, medicinales, ornamentales e industriales, así como malezas y plantas tóxicas (Cronquist, 2001).

La identificación de los granos de polen de esta familia, cuando se realiza en microscopía óptica, se divide en cuatro tipos polínicos, de acuerdo a su morfología, esta división, corresponde a cuatro tribus, de las 8 forman a las compuestas (Cronquist, 2001) (*Helianthus*, *Senecio*, *Anthemideae* y *Lactuceae*) (Trigo *et al.*, 2008).

Los granos de polen de las compuestas, como grupo, se presentaron durante todo el año, presentando las concentraciones más altas durante los meses de septiembre a diciembre, y los tipos polínicos que más se presentaron, son los correspondientes los tipos *Anthemideae*, *Helianthus* y *Senecio*, mientras que el tipo polínico correspondiente a la tribu *Lactuceae* es el que menos se registró en la atmósfera del Bosque de Chapultepec. La presencia de los granos de polen provenientes de compuestas, se atribuye a la gran variedad de especies e individuos, ya que existe la posibilidad en la que distintas especies, presenten distintas temporadas de floración, sin embargo, lo más probable, es que la mayoría presente el periodo de floración durante los meses más calurosos del año (de marzo a agosto). Esto corresponde a lo reportado en otros países, como Argentina (Noetinger *et al.*, 1994; Latorre y Perez, 1997), Australia (Ong *et al.*, 1995), Brasil (Vergamini *et al.*, 2007), Chile (Rojas y Roure, 2001), Madrid (Gutiérrez *et al.*, 2006), que reportan un aumento de las concentraciones durante primavera y verano.

En cuanto a los estudios realizados a nivel nacional, Rocha *et al.* (2008) reporta la presencia de este tipo polínico de manera constante en la atmósfera de Monterrey. Asimismo,

Bronillet (1996) registró la presencia de granos de polen de compuestas en la Ciudad de México, como un grano de polen dominante en la atmósfera. Finalmente, González *et al.* (1999) reporta la presencia continua de este tipo polínico en la atmósfera del Norte de la Ciudad de México, con una elevación en las concentraciones durante el mes de noviembre.

El análisis de correlación entre algunas variables meteorológicas y las concentraciones de polen atmosférico durante la temporada de prepico (tabla 53), dio como resultado, correlaciones negativas con la temperatura (media y mínima), precipitación, precipitación acumulada, dirección del viento y humedad relativa, estas correlaciones se atribuyen a la distribución principalmente entomófila de estos granos de polen, ya que el aumento de la temperatura, permite que se volatilicen los componentes quimioatrayentes de los insectos polinizadores, por lo que el principal medio de transporte de los granos de polen serán los insectos en este caso. En el caso de la precipitación, la correlación negativa se atribuye al “lavado” de la atmósfera, que favorece la sedimentación de los granos de polen presentes en la atmósfera, mientras que la dirección de los vientos influye en la baja de las concentraciones, ya que la fuente principal de este grupo de granos de polen, no se encuentra cerca del muestreador, cuando los vientos soplan en ciertas direcciones, que resulta en la disminución de las concentraciones de granos de polen atmosférico, ya que los aleja del sitio de muestreo.

Finalmente, durante la temporada de postpico (tabla 54), las correlaciones que se presentaron, fueron negativas con la precipitación, debido al “lavado” de la atmósfera que se produce con la lluvia, asimismo, se presentó una relación negativa con la precipitación acumulada y con la velocidad del viento (media y máxima), debido a que la presencia de vientos fuertes y/o constantes, transporta los granos de polen, lejos del sitio de muestreo, resultando en la disminución de las concentraciones atmosféricas de la zona. La capacidad alergénica de las asteráceas es alta, ya que distintas especies correspondientes a esta familia producen granos de polen de alergenicidad alta (pollen.com). Su compuesto alergénico principal son las lactonas sesquiterpenos (Goulden y Wilkinson), y aunque en algunas ocasiones su alergia se considera ocasional (Jiménez *et al.*, 1994), también se han encontrado pacientes que presentan alergias alimentarias a las semillas, mieles y tés de algunas de las compuestas, como es el caso de la manzanilla (Florido *et al.*, 1995).

## **Artemisia**

**Especies representativas:** *Artemisia ludoviciana*, *Artemisia mexicana*

**Familia a la que pertenece:** Asteraceae

**Nombre(s) común(es):** Ajenjo del país, estafiate, azumate de Puebla (Martínez, 1979).

**Descripción:** Es una hierba perenne de 1 – 1.5 m de alto. Varios tallos que se unen en una base rizomatosa, estriado y anguloso, floccoso-tomentoso. Las hojas son alternas, sésiles o con un peciolo corto y ancho, a veces agrupados en las axilas de una hoja, bicoloras (blancas abajo y oscuras arriba), en el norte del país existen poblaciones muy pilosas. La inflorescencia es una panícula o racimo folioso, de 20-50cm de alto, cabezuelas generalmente en ramitas secundarias, casi sésiles. Los frutos son aquenios, en forma de clavo o elipse (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

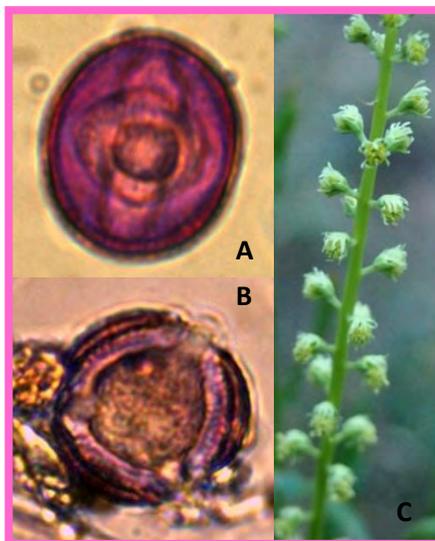


Figura 59. *Artemisia* sp. A) Grano de polen vista polar. B) Grano de polen vista ecuatorial. C) Rama florífera

**Distribución:** Es una planta ruderal, que forma parte de claros en bosques y matorrales, generalmente en lugares perturbados (CONABIO, 2012)

**Floración:** Entre septiembre y noviembre (McVaugh, 1984).

**Polinización:** Principalmente entomófila

**Alergenicidad:** Alta (pollen.com), además de presentar reactividad cruzada con distintas alergias alimentarias, como miel, semillas de girasol, manzanilla, pistache, avellana, lechuga, cerveza, almendra, cacahuete, zanahoria, manzana y otras nueces (García *et al.*, 1996)

**Morfología Polínica:** Grano de polen trizonocolporado, isopolar con simetría radial. De circular-lobulado a subtriangular en vista polar y de circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial, de subprolado a suboblado. Tamaño de pequeño a mediano. Aberturas compuestas tipo colpo y poro dispuestas en la zona ecuatorial. Exina gruesa, con la superficie equinulado-granulada, con elementos ornamentales de menos de 1  $\mu\text{m}$  (Trigo *et al.*, 2008)

#### **Correlación con los parámetros meteorológicos**

El análisis de las correlaciones presentes entre los granos de polen atmosférico de *Artemisia* y algunas variables meteorológicas, se realizó con el periodo de prepico (tabla 55), así como con el periodo de polinación principal completo (tabla 56), debido a que durante la temporada de postpico no se presentaron correlaciones significativas.

## Prepico

Tabla 55. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Artemisia* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.205	.180	.087	<b>-.229*</b>	.062	-.149	-.232	.072	-.121
Sig. (bilateral)	-	.074	.118	.451	.046	.590	.218	.054	.554	.293
N	77	77	77	77	77	77	70	70	70	77

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico se observó una correlación negativa con la precipitación.

## Periodo total de polinización

Tabla 56. Correlación entre los granos de polen del tipo polínico *Artemisia* presentes en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada la temporada de floración

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	<b>.223**</b>	<b>.130*</b>	<b>.227**</b>	.065	.020	.079	.078	.000	.053
Sig. (bilateral)	-	.000	.000	.000	.280	.734	.191	.201	.997	.373
N	282	282	282	282	282	282	274	274	274	282

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

El análisis del periodo de polinización principal del tipo polínico de *Artemisia*, presentó correlaciones positivas significativas con la temperatura (media, máxima y mínima).

## Discusión:

El grano de polen de *Artemisia* se encontró en la Atmósfera del Bosque de Chapultepec durante los meses de septiembre y octubre en concentraciones muy bajas. Esta temporada es similar a los reportes de Spieksma *et al.* (1980, 1989), donde este tipo polínico se presenta durante finales del verano en la comunidad Europea, así como lo reportado por Noetinger *et al.* (1994) en la Ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, González *et al.* (1999) No reporta este tipo polínico en el Norte de la Ciudad de México. El género *Artemisia*, pertenece a la familia de las Asteraceae (Compositae), sin embargo, su morfología polínica permite separarla del resto de las compuestas. Se conocen cerca de 200 especies, y se encuentra de manera natural en Estados Unidos, México y Guatemala (URL 3).

Durante la temporada de prepico (tabla 55), solo se presentó una correlación con las variables meteorológicas, que es con la precipitación, debido al "lavado" de la atmósfera que se produce la lluvia. Mientras que en la temporada de postpico no se presentó alguna relación

significativa con ninguna de las variables meteorológicas, la temporada de polinación principal (total, tabla 56), presentó correlaciones positivas con la temperatura (media, máxima y mínima), debido a que el aumento de la temperatura, propicia el secado de las anteras, por lo que los granos de polen son expuestos, para ser liberados gracias a la acción de los vientos.

La alergenicidad de este tipo polínico es alta, y se encuentra dentro de los alérgenos principales, junto con los pastos (Peeters, 2000). Se sabe que la alergia a este tipo polínico puede dar una reacción cruzada con otras compuestas, además de algunos alimentos, como pistaches, almendras, semillas de girasol, avellanas, entre otros (García *et al.*, 1996). Se ha identificado gran variedad de alérgenos en la composición de *Artemisia*, Nilsen y Paulsen (1986) definieron a Ag 7 como el principal alérgeno de *Artemisia vulgaris*, dentro de los 10 alérgenos que se obtuvieron a partir del extracto (Ipsen *et al.*, 1985).

## Tiliaceae

**Especies representativas:** *Abutilon stryatum*, *Anoda cristata*, *Dombeya wallichii*, *Kearnemalvastrum lacteum*, *Malva parviflora*, *Malva sylvestris*

**Familia a la que pertenece:** Malvaceae

**Nombre(s) común(es):** Abutilón, Malva cimarrona, Bella aurora, Terciopelo, Malva de flor chica, Malva común

**Descripción:** Son árboles de 5-22 m de alto, con tallos estrellado- pubescentes, sus hojas son láminas simples, alternas, ovada o cordatas, con el envés más claro. Inflorescencia de 8-7 cm de largo, pedúnculos de 4-8.5 cm. Flores con margen entero, pétalos espatulados, abovados u obovados y ápice redondeado. Su fruto es una nuez, con una semilla color castaño oscuro. (CONABIO, 2012)



Figura 60. *Tilia* sp. A) Grano de polen. B) Rama florífera. E) Árbol (URL 40).

**Distribución:** Originaria de México. Habita en climas cálido, semicálido y templado, entre los 1000 y los 2000msnm. Crece en terrenos de cultivo o asociada a bosque tropicales caducifolio y subcaducifolio, bosques espinoso, mesófilo de montaña, de encino y de pino.

**Floración:** De abril a junio

**Polinización:** Entomófila, principalmente abejas

**Alergenicidad:** Moderada (pollen.com)

**Morfología Polínica:** Grano de polen tricolpado, isopolar y radiosimétrico. Su tamaño es mediano (26-50  $\mu\text{m}$  de diámetro). Forma oblada y se observa triangular en vista polar y corte óptico, mientras que en vista ecuatorial se observa circular. Las aperturas son colpos con invaginaciones en forma de copa. En cuanto al tectum, es semitecado, microreticulado. (Sáenz y Gutiérrez, 1983; Paldat, 2013)

### Correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de correlación con los parámetros meteorológicos, el tipo polínico tiliaceae se estudió dividiendo el periodo de polinación principal en prepico (tabla 57) y postpico (tabla 58).

#### Prepico

Tabla 57. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de Tiliaceae presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de prepico.

Correlaciones											
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VV media	VVV max	Dir Viento	HR	
Coefficiente de correlación	1.000	-.034	-.166*	.044	-.091	.282**	-.132	-.329**	.073	.026	
Sig. (bilateral)	-	.615	.014	.514	.180	.000	.051	.000	.284	.698	
N	220	220	220	220	220	220	220	187	220	220	

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de prepico de Tiliaceae (tabla 57) las correlaciones que se presentaron con distintas variables meteorológicas, fue una correlación positiva con la precipitación acumulada, y negativas con la temperatura máxima y la velocidad máxima del viento.

## Postpico

Tabla 58. Correlación entre los granos de polen atmosféricos de Tiliaceae presentes en el Bosque de Chapultepec, con distintas variables meteorológicas durante la temporada de postpico.

Correlaciones										
Rho de Spearman	Gp/m <sup>3</sup> de aire	Tmedia	Tmáx	Tmin	PP	PPac	VVV media	VVV max	Dir Viento	HR
Coefficiente de correlación	1.000	.012	.148	-.177	-.121	-.393**	.068	-.260	.275*	-.298*
Sig. (bilateral)	-	.922	.240	.159	.337	.001	.592	.331	.027	.016
N	65	65	65	65	65	65	65	16		65

\*correlación significativa en un valor de 0.01

\*\*correlación significativa en un valor de 0.05

Durante la temporada de postpico del tipo polínico Tilaceae (tabla 58) presentó una correlación positiva con la dirección del viento, mientras que las correlaciones negativas se presentaron con la precipitación acumulada y la humedad relativa.

## Discusión:

El tipo polínico de Tiliaceae corresponde a la morfología que tiene el grano de polen de este género (Trigo *et al.*, 2008; Paldat, 2012), sin embargo, la presencia de éste, corresponde a la presencia de distintas malváceas en el Bosque de Chapultepec. El tipo polínico de esta familia se presentó durante el mes de marzo.

A nivel internacional, son pocos los calendarios polínicos que encontramos con este tipo polínico reportado, ya que las concentraciones que se presentan en la atmósfera son muy bajas, debido a que su polinización es entomófila. Un claro ejemplo es Argentina, donde a pesar de presentarse una población alta de árboles y ser una de las especies abundantes en Mar del Plata, no aparece en el calendario polínico del lugar (Latorre y Perez, 1997). Sin embargo, este tipo polínico si se encuentra reportado en el calendario polínico de la ciudad de Treste, Italia, donde aparece en bajas concentraciones durante los meses de junio y julio (Rizzi *et al.*, 2007).

Ya en México, Rocha *et al.*, (2008) reportan solo 4 granos de polen en 2 años de estudio (2003-2005). Mientras que en la Ciudad de México, Lozano (1989) reportó la presencia de granos de polen de *Tilia* en el lago de Texcoco.

Las condiciones meteorológicas afectan de distintas formas a los granos de polen suspendidos en la atmósfera, por lo que se realizó el análisis de correlación de la temporada de prepico (tabla 56) presentando una correlación positiva con la precipitación acumulada, ya que el aumento de esto, representa un aumento del agua disponible para la planta. Asimismo, se presentó una correlación negativa con la temperatura máxima, ya que es posible que temperaturas muy altas, promuevan la marchitez de la planta. También se presentó una correlación negativa con la velocidad máxima del viento, que transporta los granos de polen lejos de la zona de muestreo.

Durante la temporada de postpico (tabla 57) se presentó una correlación positiva con la dirección del viento, que significa que en esta temporada, los granos de polen de este tipo polínico provienen de otra zona que no es cercana al sitio de muestreo, mientras que las correlaciones

negativas se presentaron con la precipitación acumulada y la humedad relativa, debido a que la humedad relativa favorece que las anteras se cierren, lo que dificulta la liberación de los granos de polen a la atmósfera. Durante esta temporada las lluvias son abundantes, por lo que en un periodo corto, el agua disponible en los suelos, supera las necesidades de la planta, promoviendo la marchitez de la misma.

### **Extracción proteica de la fracción soluble de los granos de polen de *Fraxinus* spp.**

El promedio de recuperación de proteína utilizando el método de extracción utilizado en este trabajo, presentó un rendimiento de 10% de proteína, partiendo del peso total de polen de *Fraxinus* utilizado en la extracción. Esta concentración se obtuvo como promedio de las mediciones de concentración proteica realizadas con los métodos de BCA y Bradford.

### **Caracterización protéica del extracto soluble de *Fraxinus* spp.**

Con el propósito de conocer el número de complejos o fracciones proteicas que conforman el extracto de *Fraxinus*, se corrieron las muestras en geles de acrilamida bajo condiciones desnaturalizantes y reductoras (SDS-PAGE) en una y dos dimensiones.

La electroforesis unidimensional (SDS-PAGE) del extracto de *Fraxinus*, fue teñido con azul de Coomassie (figura 61).

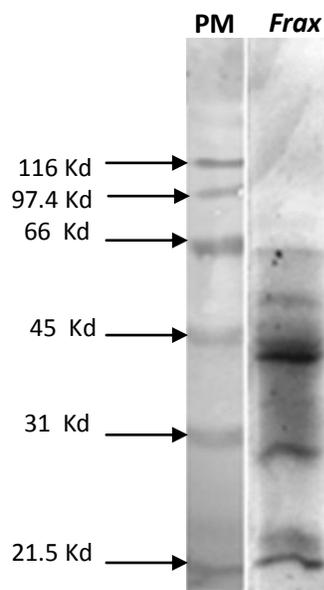


Figura 61. Electroforesis del extracto soluble de *Fraxinus* spp. carriles PM) Pesos moleculares. *Frax*) Extracto de *Fraxinus* (100µg). Teñidos con Rojo de Ponceau.

La electroforesis (SDS PAGE) del extracto de *Fraxinus*, mostró distintas fracciones proteicas que componen el extracto, dentro de las cuales se observan 4 bandas con un peso molecular de 22, 96 y 112 y 66 Kd, así como 4 complejos proteicos que se encuentran entre los 22 y 66 Kd (figura 61). Se realizó una electroforesis bidimensional que separa las fracciones por punto isoeléctrico (pI) y peso molecular (PM) (figura 62), en la electroforesis bidimensional del extracto soluble de *Fraxinus*, se observan distintas fracciones proteicas, teñidas con azul de coomassie. Este

grupo de fracciones se encuentran entre los 21.5 - 100 Kd, con puntos isoeléctricos entre 3 - 10. De acuerdo al software PDQuest (Biorad) el extracto se encuentra compuesto por aproximadamente 187 fracciones proteicas y la mayor cantidad de fracciones se tienen un pI entre 5 - 10.7

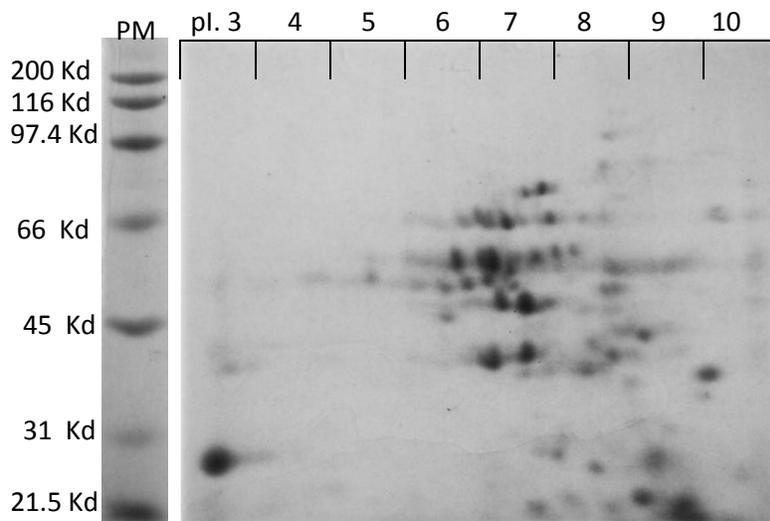


Figura 62. Electroforesis bidimensional del extracto soluble de *Fraxinus* spp. Se observan distintos grupos de proteínas con pesos que van desde 21.5 a los 100 Kd, con puntos isoeléctricos entre 3 y 10.

### **Determinación de proteínas con lectinas (Con A y WGA)**

El perfil glicosídico es importante en la inmunogenicidad del extracto, por lo que se realizó la detección de las proteínas que lo conforman, con dos lectinas distintas: Concanavalina A (Con A) y lectina de germen de trigo (WGA). El Carril Frax, muestra el corrimiento del extracto soluble de *Fraxinus*, teñido con rojo de Ponceau, previo a la detección con lectinas. El carril Con A muestra la detección con Concanavalina A, que detectó 6 bandas con un peso molecular de 86, 76, 70, 54, 47 y 44 Kd, respectivamente, por lo que estas proteínas tienen al menos un alfa manósido en su composición. El carril WGA muestra la detección con lectina de trigo (WGA), que detectó 3 bandas del extracto, con un peso molecular de 68, 62 y 21 Kd respectivamente, por lo que estas fracciones tienen al menos una  $\beta$ -GlcNac en su composición (figura 63).

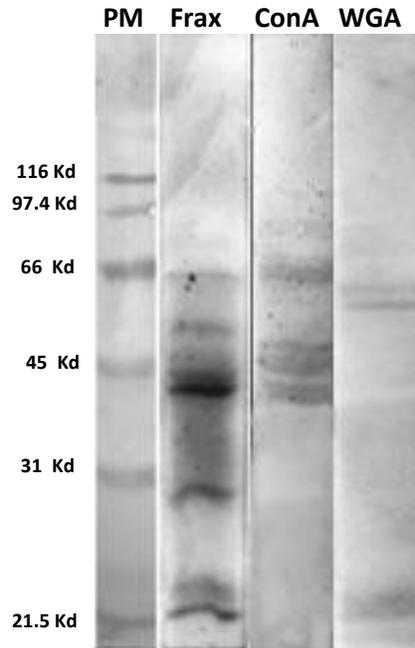


Figura 63. Detección de proteínas en el extracto de *Fraxinus* spp. con lectinas. Carriles PM) Pesos Moleculares. Frax) electroforesis del extracto de *Fraxinus*. Con A) detección con Concanavalina A WGA) detección con lectina de trigo. PM y Frax teñidos con Rojo de Ponceau.

### Actividad Proteolítica del extracto

La actividad proteolítica del extracto fue baja con respecto a la actividad de la tripsina en la prueba de azul de azure. La tripsina dio una lectura de 1.9 de densidad óptica. Sin embargo, se registraron diferencias en la actividad proteolítica del extracto, y cuando se le agregaron inhibidores de proteasas (figura 64).

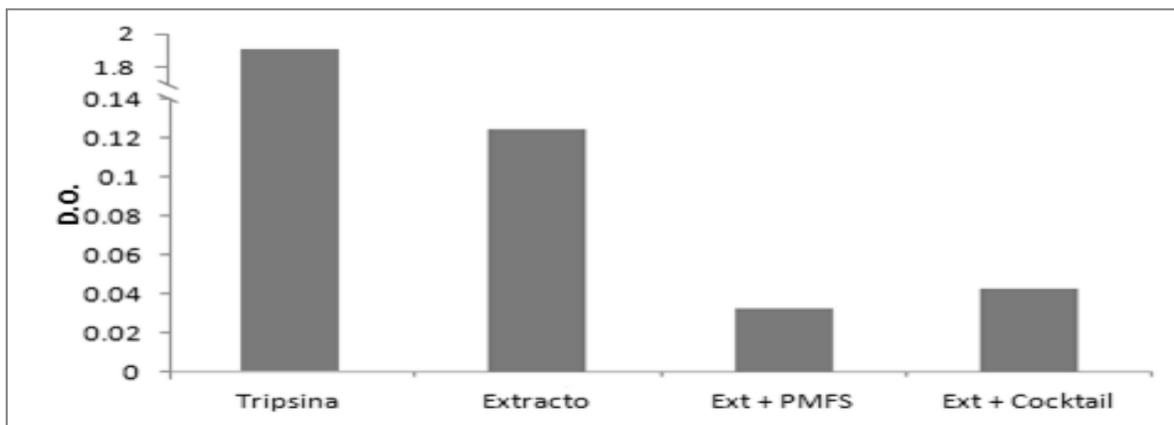


Figura 64. Actividad proteolítica del extracto soluble de granos de polen de *Fraxinus* spp.

## **Producción y Titulación de anticuerpos policlonales contra *Fraxinus* spp.**

Para comprobar el aumento de la afinidad de los anticuerpos producidos, se realizó una titulación del suero preinmune y de los obtenidos diez días después de la 1ª y de la 4ª inmunización (figura 65).

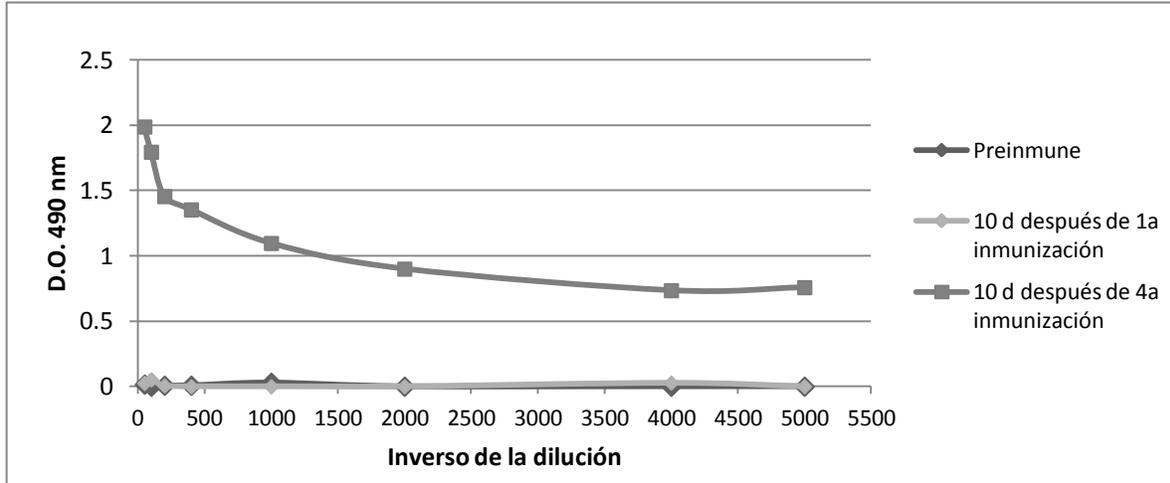


Figura 65. Titulación de anticuerpos. Detección por ELISA, con 50 µg de Antígeno (extracto de *Fraxinus* spp) y suero preinmune, 10 días posteriores a la primera inmunización y anti suero obtenido después de la cuarta inmunización.

La titulación de los sueros comprobó el aumento de la IgG que reconoce los componentes inmunogénicos para el conejo presentes en el extracto proteico de *Fraxinus*, el suero obtenido 10 días después de la 4ª inmunización, presentó un incremento en la detección de IgG específica para los inmunógenos del extracto de *Fraxinus* en relación a la IgG detectada en los sueros previos. El suero de conejo obtenido después de la 1ª inmunización, no se tituló con anti IgM sino con anti IgG por lo que el título resultó negativo. Una vez comprobado el aumento de las concentraciones de IgG específica para los inmunógenos del extracto de *Fraxinus* en el suero de conejo, se realizó una curva estándar de detección (figura 66).

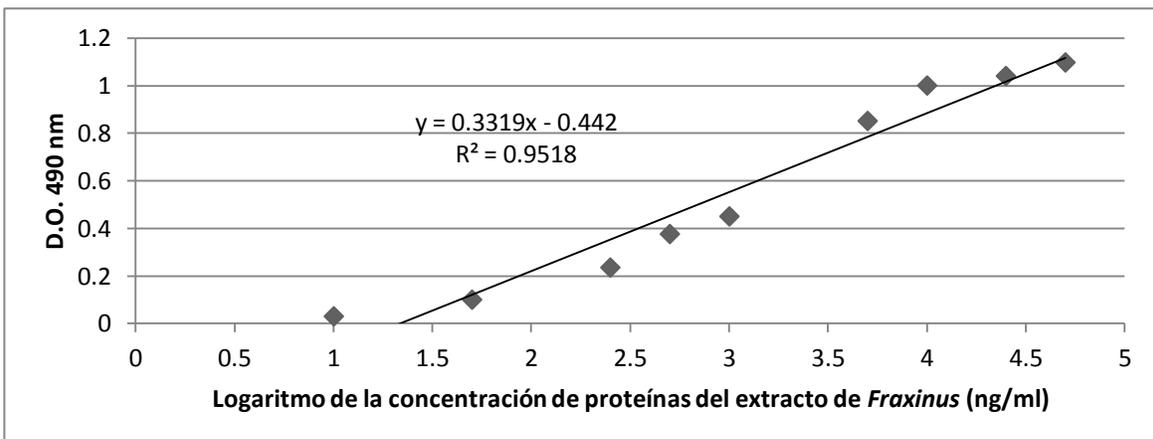


Figura 66. Curva de concentración de extracto de polen detectado con los anticuerpos policlonales contra *Fraxinus* spp, dilución 1:500.  $R^2 = .95$ , con una detección de 500 ng/ml

La curva estándar para la detección de las proteínas inmunogénicas de *Fraxinus* mostró que los anticuerpos policlonales anti  $\alpha$ Fraxinus detectaron los inmunógenos del extracto de *Fraxinus*, en una concentración mínima de 500 ng/ml.

### Inmunodetección de proteínas de *Fraxinus*

Se realizó la detección de los inmunógenos del extracto de *Fraxinus* con los anticuerpos policlonales anti  $\alpha$  Fraxinus en electroforesis unidimensional (figura 67) y bidimensional (figura 68), donde se detectaron distintas fracciones en cada una de las pruebas.

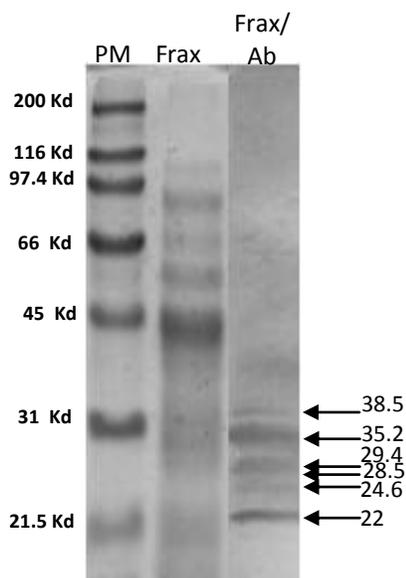


Figura 67. Inmunodetección de las proteínas inmunogénicas del extracto soluble de *Fraxinus* spp. Carriles: PM) pesos moleculares. Frax) Extracto soluble de *Fraxinus*, ambos, teñidos con azul de coomassie. Frax/Ab) detección de las proteínas inmunogénicas del extracto soluble de *Fraxinus* con anticuerpos policlonales anti  $\alpha$ Fraxinus

La inmunodetección de los componentes del extracto de *Fraxinus* sp, realizada en la electroforesis unidimensional (SDS-PAGE) con los anticuerpos policlonales anti  $\alpha$ Fraxinus reconoció 6 fracciones del extracto soluble de *Fraxinus* spp. con pesos moleculares de 38.5, 35.2, 29.4, 28.5, 24.6 y 22 Kd, que representan las fracciones inmunodominantes para el conejo.

Del mismo modo, se realizó la detección en una inmunotransferencia del gel bidimensional, con el fin de reconocer las fracciones detectadas por los anticuerpos, que reconocieron distintas fracciones proteicas del extracto soluble de *Fraxinus*, (1-6 en el gel), con puntos isoeléctricos entre 5 – 8 y un peso molecular entre 30 -32 Kd. Así como, 5 grupos de proteínas con peso molecular de A) 46, B) 40, C) 29 y D) 21.5 Kd, con puntos isoeléctricos entre 6-8 (figura 68).

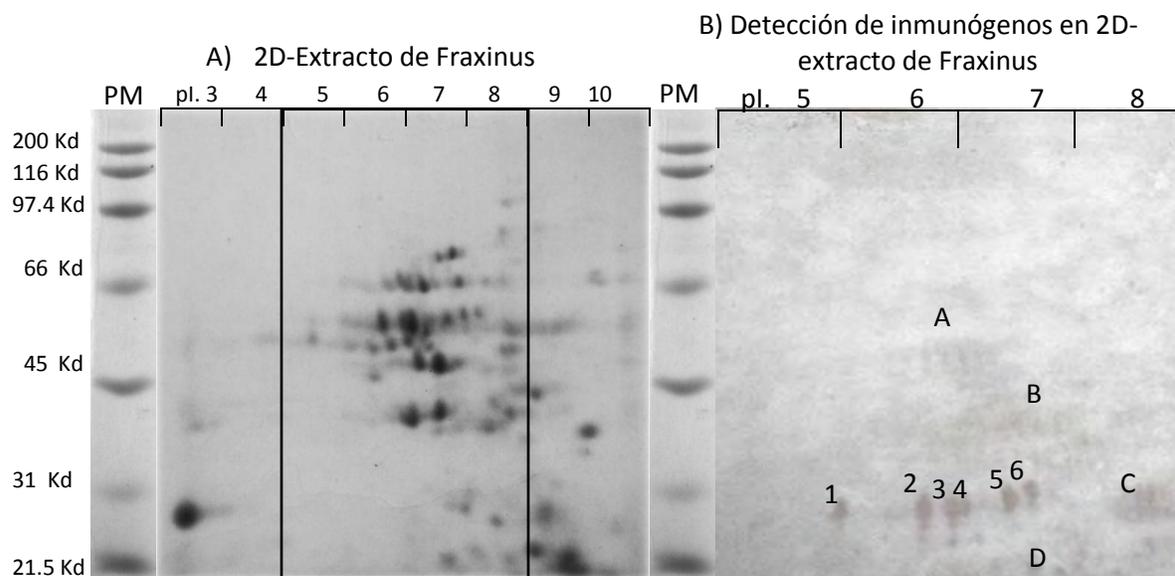


Figura 68. Inmunodetección por electroforesis bidimensional del extracto soluble de *Fraxinus* spp. PM) Pesos Moleculares, teñidos con Amido Negro. A) Electroforesis bidimensional del extracto de *Fraxinus* teñido con azul de Coomassie B) Detección de los inmunógenos de *Fraxinus* en el extracto, revelado con anticuerpo policlonal anti  $\alpha$ Fraxinus.

La secuencia de algunas de las proteínas reconocidas por los anticuerpos anti  $\alpha$  fraxinus, dentro del extracto soluble de *Fraxinus*, se determinaron por espectrometría de masas LC/MS, obteniendo distintas proteínas (tabla 59):

Tabla 59. Principales proteínas reconocidas por los anticuerpos anti extracto de *Fraxinus*

PM	pI	Fracción en el gel	Nombre	No. de acceso (Uniprot)	Función
39.60	6.96	1	Pectinesterase 2 (Ole e 11.2)	AL11B_OLEEU	Cataliza la Dimetil-esterificación de los componentes homogalacturónicos de la pectina. Desarrollo del tubo polínico
46.50	6.41	3	Probable monodehydroascorbate reductase, cytoplasmic isoform 3 (MADR 3)	MDAR3_ARATH	Cataliza la conversión de monodehydroascorbato a ascorbato, oxida el NADH en el proceso.
51.80	5.7	A	UTP--glucose-1-phosphate uridylyltransferase	UGPA_SOLTU	Donador de glucosa en rutas metabólicas.
37.80	5.14	C	Adenosine kinase 2	ADK2_ARATH	Fosforilación dependiente de ATP de adenosina y nucleosidos análogos a derivados de monofosfato. Esencial en el reciclaje de metilos.
27.00	5.3	D	Isopentenyl-diphosphate Delta-isomerase	IDI1_CAMAC	Cataliza el reordenamiento 1,3-alílico del isopentenil sustrato homoallylic (IPP) en su isómero alílico, dimetilalilo difosfato (DMAPP)

## Inmunodetección de *Fraxinus* spp. en muestras de aire

Los anticuerpos policlonales específicos para el extracto soluble de *Fraxinus*, se utilizaron para detectar las proteínas inmunogénicas en polvo obtenido del muestreo del aire con un muestreador ciclón multi-vial (Burkard Co., UK), en una electroforesis unidimensional (SDS-PAGE) (figura 69).

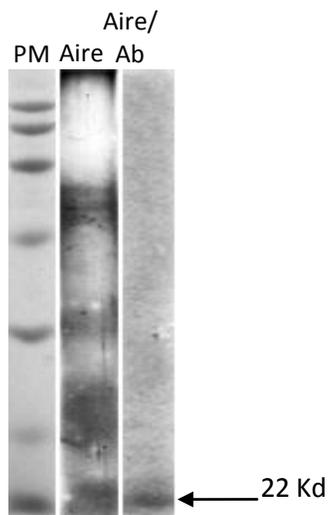


Figura 69. Inmunodetección de *Fraxinus* spp. en polvo obtenido de muestras de aire (febrero, 2013). Banda de 22 Kd detectada con anticuerpo policlonal anti  $\alpha$ Fraxinus.

El antisuero de conejo policlonal anti  $\alpha$ Fraxinus detectó una banda, con peso molecular de 22 Kd, utilizando la muestra colectada el mes de febrero del 2013.

**ELISA.** Una vez comprobada la detección de una fracción inmunogénica con anticuerpo policlonal anti  $\alpha$ Fraxinus, en el polvo obtenido de la muestra de la atmósfera, se realizaron las pruebas de ELISA, con las muestras obtenidas del Ciclón (Burkard Co., UK) (figura 70) y la trampa pasiva de esporas (figura 71), que fueron comparadas con las concentraciones de polen atmosférico registrado durante la misma fecha. Debido a que las muestras obtenidas con el ciclón (Burkard Co., UK) eran muy pequeñas para realizar las pruebas, se realizó un concentrado mensual de las muestras obtenidas semanalmente, con el propósito de aumentar la cantidad de muestra y realizar las pruebas por triplicado (figura 70).

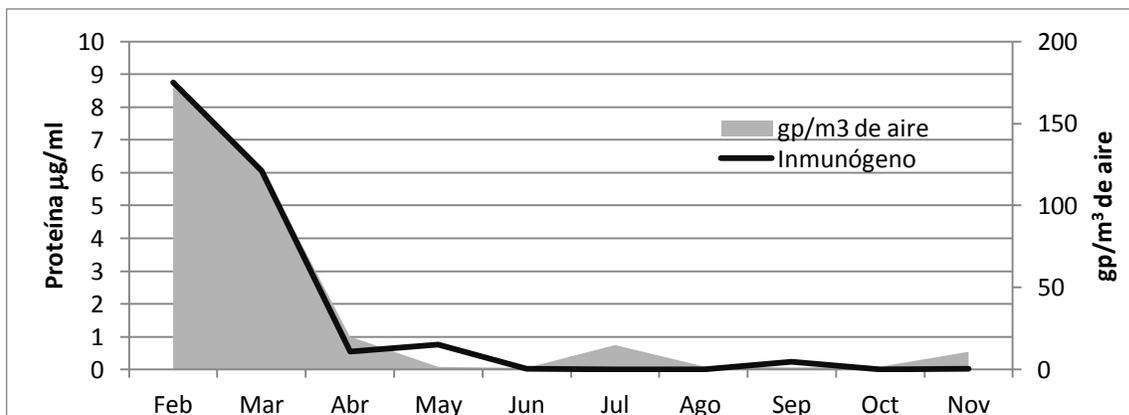


Figura 70. Inmunodetección de *Fraxinus* spp en muestras de aire (ciclón). Comparación entre las concentraciones de polen atmosférico y la concentración de inmunógeno detectado en muestras de aire (muestreador: ciclón multi-vial, Burkard Co.). febrero - noviembre 2012.

La prueba de ELISA realizada con las muestras de aire, obtenidas con el muestreador tipo Ciclón (Burkard, UK), mostraron un comportamiento similar al de las concentraciones de polen atmosférico durante febrero y marzo, mientras que el resto del año, se presentaron diferencias entre las concentraciones de polen atmosférico y los inmunógenos detectados, siendo abril, mayo y septiembre, los meses con mayores concentraciones de inmunógenos (< 1 mg/ml), en los meses de junio, julio, agosto, octubre y noviembre, los inmunógenos de *Fraxinus* no se detectaron.

La detección de los inmunógenos de *Fraxinus* en las muestras de aire obtenidas con la trampa pasiva de esporas, se realizaron con muestras semanales (figura 71).

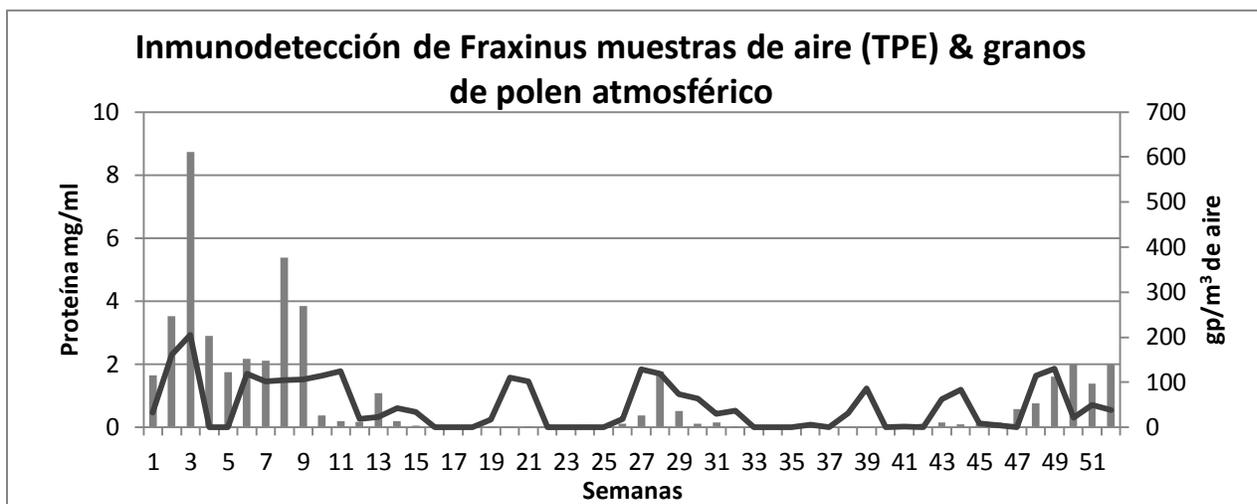


Figura 71. Inmunodetección de *Fraxinus* spp. en muestras de aire. Comparación por ELISA de las concentraciones atmosféricas de granos de polen de *Fraxinus* (enero a diciembre 2012), con las concentraciones de proteína de *Fraxinus* en muestras de aire (TPE).

El comportamiento de las concentraciones de inmunógeno detectado con el anticuerpo específico, en las muestras de aire obtenidas con la Trampa Pasiva de Esporas, fue mucho menor que las detectadas en las muestras obtenidas por el ciclón, mostrando diferencias con respecto al comportamiento de las concentraciones de polen atmosférico presente en la atmósfera, ya que se realizó la detección de proteínas de *Fraxinus* en muestras de aire, aún cuando no se registraron granos de polen en la atmósfera, como en las semanas 19-22 y 37-40.

Debido a las variaciones presentes en la detección realizada con la trampa pasiva de esporas, con el fin de disminuir el rango de error, se realizó una curva de concentración, con distintas concentraciones de proteína, adheridas artificialmente a cintas impregnadas con silicona como medio de impacto (figura 72).

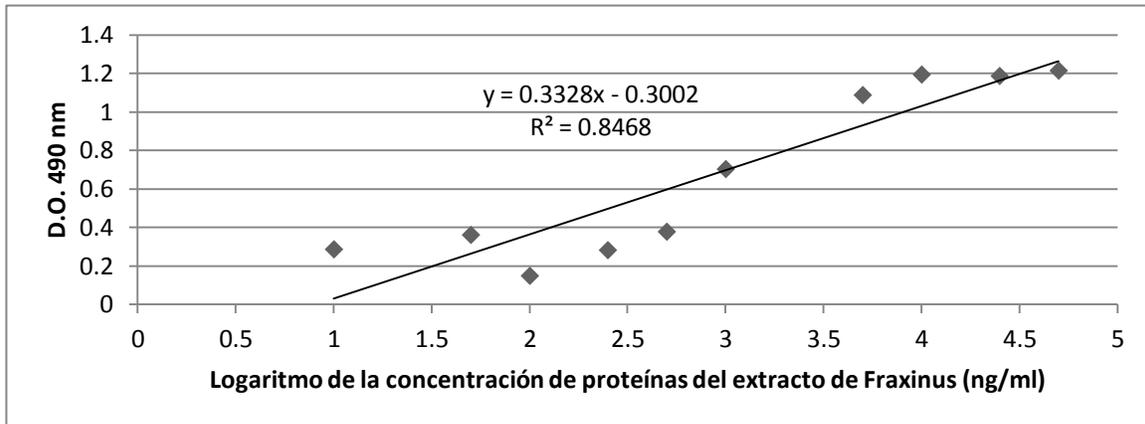


Figura 72. Curva de concentración en cintas con silicona. Proteínas detectadas con los anticuerpos policlonales de conejo, cuando se encuentran en el medio de impacto (silicona + tetracloruro de carbono).

Esta curva de detección demuestra una tendencia de aumento en la detección, sin embargo, los resultados muestran inconsistencias, con respecto a la densidad óptica obtenida en cada lectura, obteniendo una  $R^2$  es de .84.

#### Discusión:

El grano de polen de *Fraxinus* es considerado un agente importante de sensibilización en pacientes con polinosis debida a oleáceas, especialmente en zonas donde la exposición a los granos de polen es elevada (Barderas *et al.*, 2005; Gastaminza *et al.*, 2005), como es el caso del Bosque de Chapultepec, donde las concentraciones de este tipo polínico en la atmósfera, alcanzan niveles extremadamente altos (el registro más alto es de 2710 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire), de acuerdo a los conteos realizados en este estudio, como resultado de la cantidad de árboles de este género presentes en la zona.

De acuerdo a Roulston *et al.* (2000), el grano de polen de *Fraxinus* se encuentra formado en un 33.3% de proteína, sin embargo, en el caso de los extractos obtenidos en este estudio, la obtención de proteína correspondió en promedio a un 10% del total pesado para la extracción, ya que sólo se realizó la extracción de proteínas solubles de los granos de polen. Debido a que se ha estudiado la relación existente entre la solubilidad de las proteínas y su alergenicidad, encontrando que las proteínas solubles tienen un potencial alergénico mayor a las proteínas no solubles (Vrtala *et al.*, 1993).

La proteína Fra e 1 es conocida como el principal alérgeno de *Fraxinus* spp. (Barderas *et al.*, 2005), y es considerada el homólogo de la proteína Ole e 1 (Hemmer *et al.*, 2000), uno de los principales responsables de polinosis en Europa central donde se encuentran registrados una gran cantidad de estos árboles (Hemmer, *et al.*, 2000; Lombardero *et al.*, 2002; Barderas *et al.*, 2005). En México, la prevalencia de sensibilización por Oleáceas es alta, a pesar del escaso número de árboles del género *Olea* (Morfín *et al.*, 2009). Esto se explica debido a la alta reactividad cruzada que presentan los géneros de la familia Oleaceae, entre sí.

El extracto de *Fraxinus* spp. se encuentra formado por distintas fracciones proteicas, constatado por las electroforesis (SDS-PAGE) unidimensional (figura 61) y bidimensional (figura 62). Ya que *Fraxinus* spp. no se considera uno de los principales alérgenos en Europa, su

extracto ha sido poco estudiado (Hemmer *et al.*, 2000; Barderas *et al.*, 2005; Hrabina *et al.*, 2007), no obstante, (Hrabina *et al.*, 2007) encontraron 200 fracciones proteicas constituyentes del extracto por electroforesis bidimensional, resultados muy similares a los obtenidos en este trabajo, ya que el contenido del extracto obtenido en este estudio, presentó un promedio de 187 fracciones proteicas, de acuerdo al software PDQuest (BioRad). La complejidad de las proteínas que componen al extracto de *Fraxinus*, es lo que le confiere propiedades o capacidades inmunogénicas a ciertos componentes, por lo que no todas las proteínas del extracto tendrán las mismas características estructurales. Debido a estas diferencias, es que se buscaron las proteínas que contaran con mayor complejidad estructural y química, como el hecho de que estuvieran o no glicosiladas, y que fueran parte del extracto de *Fraxinus* (Martín *et al.*, 1994). La glicosilación que presenten las proteínas es un factor importante, pues afecta la interacción de éstas con el sistema inmune, ya que podrían modificar la manera en que las células presentan y procesan a los alérgenos, resultando en distintas respuestas del sistema inmune, dentro de las que se encuentran las hipersensibilidades (Salazar *et al.*, 2013).

Debido a la posibilidad de que alguna de las proteínas presentes en el extracto, tuvieran algún tipo de glicosilación con azúcares como manosa, fucosa o N-acteilglucosamina (Howlett y Clarke, 1991), se probaron 2 lectinas que reconocen estos azúcares, ya que son los que están presentes en mayor concentración en el alérgeno Fra e 1 (Barderas *et al.*, 2006).

Una de las lectinas utilizadas en la detección de las glicoproteínas, la Concanavalina A (ConA) se une específicamente a la manosa, por lo que se reconocieron cuatro bandas en el extracto, con pesos moleculares de 86, 76, 70, 54, 47 y 44 Kd, respectivamente (figura 63). Este es un resultado diferente a lo reportado por Barderas *et al.* (2004), ya que la detección con esta lectina, reconoció bandas de 20 y 24 Kd, es importante recalcar, que este estudio se realizó bajo distintas condiciones. Ya que Barderas *et al.* (2004) utilizaron un extracto recombinante y un amortiguador diferente para la extracción, mientras que en este estudio se utilizó un extracto natural, y el amortiguador de extracción fue PBS (Amortiguador de fosfatos pH 7.4) con inhibidor de proteasas, por lo que estas diferencias podrían resultar en cambios de las proteínas extraídas con posibles cambios estructurales en ellas, inclusive, en su potencial inmunogénico o alérgico.

La otra lectina que se utilizó fue WGA (lectina de germen de trigo), que se une de forma específica a la N-acetilglucosamina, y detectó 3 bandas, con peso molecular de 68, 62 y 21 Kd (figura 63). Posterior a la detección de glicoproteínas en el extracto de *Fraxinus*, se realizó la inmunodetección de las fracciones inmunodominantes para el conejo, con el anticuerpo policlonal anti  $\alpha$ Fraxinus. Resultando en la detección de 6 bandas, con un pesos moleculares de 38.5, 35.2, 29.4, 24.6 y 22 Kd. La detección de una proteína con un peso molecular de 22 Kd dentro del extracto de *Fraxinus*, sugiere que pudiera tratarse de Fra e 1, ya que distintos autores establecen el peso de esta proteína en este rango (Martín *et al.*, 1994; Hemmer, *et al.*, 2000; Lombardero *et al.*, 2002; Barderas *et al.*, 2005; Poncet *et al.*, 2010) tanto en extracto natural, como en recombinante. Asimismo, se realizó la detección de otras proteínas inmunodominantes con peso molecular entre 24 y 39 Kd, que difiere de lo reportado por Hemmer *et al.* (2000) ya que ellos detectaron la presencia de distintas proteínas inmunodominantes con un peso molecular aparente entre 40-80 Kd.

Es importante recalcar la detección de una proteína de 22 Kd, con WGA y anticuerpo poli  $\alpha$ Fraxinus, por otro lado, la literatura, reporta la presencia de Fra e 1 con peso molecular de 22 Kd, por lo que el peso molecular, la complejidad estructural de la glicoproteína y el hecho de ser una

proteína inmunogénica para el conejo, parece indicar la posibilidad de que la detectada por nosotros con WGA y anticuerpos específicos sea una proteína similar a la Fra e 1.

Debido a que a proteína Fra e 1 es considerada un homólogo de la proteína Ole e 1, producida por los granos de polen de *Olea*, con microheterogenicidad en distintas posiciones de la estructura primaria (Villalba *et al.*, 1994), se asumió la posibilidad de que esta proteína sufriera cambios similares, por lo que se realizó la inmunotransferencia de la electroforesis bidimensional del extracto, con el fin de observar las distintas isoformas o fracciones proteicas inmunodominantes para el conejo. El suero inmune, detectó distintas fracciones con pesos moleculares entre 21 – 42 Kd, y punto isoeléctrico entre 5 – 8.5 lo que cabría suponer que la detección de estas fracciones corresponderían a isoformas de la misma proteína, de acuerdo a lo reportado por Poncet *et al.* (2010), que reconoció 15 isoformas en Fra e 1, con punto isoeléctrico entre 5.3 – 8, e incluso algunas de estas son reconocidas como isoformas de Ole e 1 (*Olea*) y Lig v 1 (*Ligustrum*), debido a la homología que comparten. Sin embargo, la secuenciación de las proteínas reconocidas por los anticuerpos producidos en este estudio, reconocieron proteínas cuya secuenciación solo reporta una pectinasa de *Olea*, y el resto de las fracciones reconocidas por los anticuerpos son proteínas que se han estudiado principalmente en otras especies, como *Arabidopsis thaliana* y *Solanum tuberosum* (comúnmente conocida como papa).

A pesar de realizar la inmunización, con extracto de *Fraxinus*, su posterior inmunodetección y secuenciación, no resultó en el reconocimiento de la proteína Fra e 1, o alguno de sus homólogos. Sólo se detectó una proteína proveniente de *Olea*, que no corresponde a Ole e 1. La detección de estas proteínas indica que el extracto de los fresnos presentes en la Ciudad de México, cuentan con proteínas con capacidad alergénica, (al menos para el conejo), y difieren de las proteínas detectadas con *Fraxinus exelsior* en otros trabajos. Esto se atribuye a distintas variables, como las condiciones en las que se desarrollaron los árboles y por lo tanto los granos de polen, explicando las posibles respuestas alérgicas que presenten los pacientes, dentro de las cuales se encuentra la sensibilización a *Olea*, aún cuando las concentraciones de éste grano de polen es tan baja en la Ciudad de México. La detección de las distintas fracciones inmunodominantes en el aire, con los anticuerpos producidos en este estudio, ofrecen información sobre la presencia de estas proteínas inmunogénicas, procedentes o no, de los granos de polen de *Fraxinus*, sin embargo, las reacciones de reconocimiento son específicas para estas proteínas, provenientes de los granos de polen de fresno. El conteo de los granos de polen atmosférico es un dato importante para estimar la presencia de sus alérgenos en la atmósfera, sin embargo, el estudio de la presencia de estos alérgenos detectados con un método inmunológico, han establecido ciertas diferencias entre la presencia de los granos de polen y sus alérgenos en la atmósfera. Un ejemplo, son los alérgenos del grano de polen de *Platanus*, que de acuerdo a lo reportado por Fernández *et al.* (2010), las concentraciones de Pla a 1 (principal alérgeno) parecen ser independientes de los granos de polen atmosférico, por lo que es importante considerar tanto los granos de polen atmosférico, como la cuantificación de sus alérgenos en la atmósfera.

Debido a que el grano de polen de *Fraxinus* es anemófilo, tiene gran interacción con la atmósfera y las condiciones meteorológicas, uno de los factores más importantes en la liberación de los alérgenos al medio ambiente, es la humedad relativa, ya que su incremento produce un choque osmótico en los granos de polen, resultando en la liberación de las proteínas al medio, existiendo la posibilidad que se adhieran a otras aeropartículas para ser transportadas en la atmósfera, a pesar de la falta del grano de polen (D'Amato, 2001; Fernández *et al.*, 2010). Aunado a esto, las lluvias producen un lavado de las proteínas atmosféricas, explicando la ausencia en la

detección durante la temporada de lluvias, ya que se favorece la precipitación de las aeropartículas, resultando en la disminución de las concentraciones de granos de polen, así como de sus proteínas en el ambiente. También es importante considerar los posibles cambios que sufren los granos de polen en la calidad y cantidad de proteínas que producen debido al efecto de los contaminantes (Behrebdt *et al.*, 1997; Perdomo, 2009; Arbabian y Entezarei, 2011), ya que este parque se encuentra rodeado de vías altamente transitadas, como son Periférico, Constituyentes, Parque Lira, entre otros, que son gran fuente de contaminantes, gracias a la emisión que generan los automotores presentes en el tráfico diario, por lo que existen gran cantidad de variables que es necesario estudiar en un futuro.

El muestreo realizado con el ciclón multi-vial (Burkard), aportó cantidades muy pequeñas de muestra, por lo que se combinaron las muestras de todo el mes, resultando en la detección de las proteínas de manera mensual, como se muestra en la figura 71, al realizar las pruebas de este modo, los datos se homogeneizaron, suavizando las posibles diferencias diarias y semanales, por lo que al realizar la comparación entre las concentraciones de polen atmosférico y las concentraciones de proteína, tienen exactamente el mismo comportamiento cuando se presentan concentraciones altas de granos de polen (media de 50 gp/m<sup>3</sup> de aire), sin embargo, cuando se presentan menores concentraciones, la combinación con las lluvias y la humedad parecen afectar en la liberación y presencia tanto de los granos de polen, así como de sus alérgenos, ya que se detecta una elevación de sus inmunógenos, después de una corta temporada (junio-agosto) donde las concentraciones de polen atmosférico se elevan, por lo que es posible atribuir la presencia de estas proteínas a la combinación de las distintas variables meteorológicas y no solo a una.

Debido a la poca cantidad de muestra obtenida con el muestreador Ciclón multi-vial (Burkard Co.) se realizó un estudio alterno, muestreando con la Trampa Pasiva de Esporas, ya que no necesita una conexión a la luz, y su uso resulta en costos muchos menores. El muestreo de esta trampa resultó en muestras semanales, por lo que las diferencias en concentración se marcan más que el muestreo mensual, ya que la precipitación es un factor puntual que afecta las concentraciones de granos de polen y proteínas en el aire, como en el caso de la primer semana de febrero, donde las concentraciones de polen disminuyen, sin embargo, las concentraciones de proteína bajan a niveles que no fueron detectables por este método, para posteriormente elevarse, atribuyéndose a distintos motivos, como la combinación entre la elevación de la humedad relativa, con las altas concentraciones de polen atmosférico. Este muestreador funciona para establecer la presencia o ausencia de los inmunógenos de *Fraxinus* en la atmósfera, sin embargo, de acuerdo a los resultados, por el momento no se recomienda como un método para cuantificación de inmunógenos.

## Discusión General:

El Bosque de Chapultepec está conformado por árboles y herbáceas, ubicados a lo largo de banquetas y avenidas, camellones, parques, glorietas, jardines, cementerios, entre otros espacios abiertos que se encuentran cubiertos con vegetación (Benavides, 1989). Las concentraciones de polen atmosférico, así como su diversidad, dependen de la vegetación de la zona, ya que son la fuente principal de los granos de polen de la atmósfera del Bosque de Chapultepec.

Se identificaron 53 tipos polínicos en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, donde los árboles y arbustos registraron las mayores concentraciones debido al número de individuos presentes en la zona. El calendario polínico se realizó con los tipos polínicos que presentaron una media semanal de 1 grano de polen/ m<sup>3</sup> de aire con el promedio de los años de muestreo, ya que esto significa que se presentaron de forma continua durante esa temporada del año. Los tipos polínicos que presentaron esta media fueron *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus*, *Populus*, *Ligustrum*, *Morus*, *Ulmus*, *Rumex*, *Artemisia*, *Ambrosia*, *Citrus*, *Corylus*, Rosaceae, Myrtaceae, *Plantago*, Poaceae, Urticaceae, *Pinus*, *Quercus*, *Schinus*, Amaranthaceae, *Salix*, *Liquidambar*, *Casuarina*, Tiliaceae, Asteraceae tipo: *Helianthus*, Asteraceae tipo: Anthemideae y Asteraceae tipo: *Senecio*.

El resto de los tipos polínicos no se integraron al calendario polínico debido a que tienen una presencia esporádica en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, atribuyéndose a distintos factores, como baja densidad de individuos presentes en la zona, polinización entomófila, granos de polen muy grandes o pesados para encontrarse suspendidos en la atmósfera, entre otros.

El Bosque de Chapultepec es una de las principales áreas verdes de la Ciudad de México y de América Latina, sin embargo, no se había estudiado la variedad aeropalínológica de esta zona previo al establecimiento de la REMA, que realizó el primer estudio aeropalínológico de la zona (Olivé, 2012), cuyo estudio sirvió como base para la realización de este trabajo. En cuanto a otras zonas de la Ciudad de México, los estudios previos reportaron distintos tipos polínicos, los cuales corresponden principalmente a la vegetación de cada zona, ya que esta es la fuente principal de los granos de polen. En el sur de la ciudad Rosales (1985) reportó 23 tipos polínicos, en la zona centro, Torres (2006) reportó 15 tipos polínicos, y en el norte se tienen registro de dos trabajos que reportaron 24 (Bronillet, 1992) y 22 (Salazar, 1995) tipos polínicos, respectivamente. Las diferencias entre los tipos polínicos reportados en los trabajos previos, se atribuye principalmente, a la vegetación presente en cada una de las zonas de estudio.

Durante este estudio, se registraron variaciones estacionales en la producción total de granos de polen atmosférico (figura 30), debido a que las concentraciones de polen del segundo año de muestreo fueron mayores que los otros años, por lo que 2009-2010 es considerado un año atípico, ya que durante los otros años del muestreo, no se registraron concentraciones similares. Es importante tomar en cuenta que a mediados del 2010 inició la tala de árboles de gran parte del periférico, así como la poda de árboles en todo el Bosque de Chapultepec, por lo que se asume que esto tuvo una repercusión directa en la disminución en las concentraciones de polen atmosférico. Por lo que esperaríamos, que en un futuro, los árboles que fueron podados, retoñen, produciendo cantidades similares a las registradas en ese periodo.

El Bosque de Chapultepec ha sido reforestado en distintas ocasiones, por lo que se estima que actualmente el 50% de su vegetación es introducida y entre las especies más frecuentes se

encuentran: *Ligustrum lucidum* (trueno lila), *Fraxinus uhdei* (fresno), *Cupressus lindleyi* (cedro blanco), *Liquidambar styraciflua* (*Liquidambar*), *Taxodium mucronatum* (ahuehuete) y *Alnus acuminata* (aile) (Orozco, 2007). Dentro de esta flora, se presentan los dos tipos polínicos con mayor incidencia en la atmósfera, de acuerdo a los registros de este estudio, siendo *Fraxinus* el grano de polen con mayor importancia, debido a las concentraciones registradas, y en segundo lugar el grano de polen de la familia Cupressaceae.

La concentración y diversidad de los granos de polen en la atmósfera del Bosque de Chapultepec cambió de manera estacional a lo largo del año, como se muestra en el Calendario Polínico (figura 33). La temporada de secas (octubre-abril), fue la temporada con mayor concentración de polen atmosférico, mientras que la de lluvias (mayo-octubre), presentó la menor concentración de polen atmosférico del año. Esto es el resultado de la combinación de distintos factores, como la fenología de las plantas, las condiciones ambientales en las que se desarrolló la planta (lo que puede adelantar o atrasar la temporada de floración), además de afectar la cantidad y calidad de los granos de polen. Finalmente las condiciones meteorológicas también afectaron la liberación de los granos de polen a la atmósfera y su permanencia en la misma. Asimismo, la actividad antropogénica es un factor importante en las concentraciones atmosféricas, ya que actividades como el riego, la tala y poda de la vegetación, afectan la cantidad de granos de polen que se liberan a la atmósfera.

Durante los meses de la temporada de secas (octubre-abril), se presentó la mayor concentración de polen en el aire. Lo anterior se atribuye tanto a la fenología de las plantas, como a las condiciones ambientales, dentro de las cuales encontramos la disminución en la humedad relativa y la precipitación, que promueve el secado de las anteras para que expongan los granos de polen para ser liberados por acción de los vientos. A lo largo de esta temporada, se presentaron diversos tipos polínicos, así como distintas concentraciones, siendo diciembre, enero y febrero, los que presentaron las concentraciones más altas, ya que estas fechas corresponden a la floración de los dos tipos polínicos que más granos de polen aportan a la atmósfera del Bosque de Chapultepec, que son *Fraxinus* y Cupressaceae, esto se atribuye al número de individuos presentes en la zona, además de su polinización anemófila, por lo que gran parte del total de polen registrado, correspondió a estos tipos polínicos.

Durante la temporada de lluvias, las concentraciones de polen atmosférico descendieron de manera drástica, debido a distintos factores, como los meteorológicos, en donde la lluvia produjo un “lavado” de la atmósfera, que se traduce en la sedimentación de las aeropartículas, incluyendo a los granos de polen. Aunado a esto, la humedad relativa alta, que aumentó con la precipitación y promovió el cierre de las anteras, con el fin de proteger los granos de polen, disminuyendo la concentración de distintos tipos polínicos (Khanduri y Sharma, 2000, Hidalgo *et al.*, 2003, Fuentes, 2012, Olivé, 2012).

La temperatura es importante en la estacionalidad de los granos de polen, ya que influye en distintos procesos biológicos de las plantas, dentro de los cuales está la floración, la producción y liberación de los granos de polen (Taiz y Zeiger, 2010). La inducción de la floración se encuentra estrechamente relacionada con la temperatura y el fotoperiodo, y la combinación de estas, afecta las fechas de inicio de floración en distintas especies (Yan y Wallace, 1996; Laaidi, 2001; Penfield, 2008). La temperatura está relacionada directamente con las concentraciones de polen atmosférico, aunque en ocasiones, cuando la temperatura es excesiva, esto promueve la marchitez de la planta (Molina *et al.*, 2005).

El establecimiento del calendario polínico de la zona del Bosque de Chapultepec es importante para individuos que acuden a esta zona con fines recreativos, debido a que pueden presentar reacciones alérgicas ante la presencia de estos aeroalergenos.

Los granos de polen producen gran variedad de proteínas, dentro las que se encuentran algunas con capacidad alergénica, las cuales pueden ser liberadas a la atmósfera, y adherirse a aerosoles o aeropartículas para ser transportadas sin necesidad del grano de polen, como es el caso de *Platanus*, que presenta una aparente independencia entre las concentraciones de granos de polen y sus alergenos en la atmósfera (Fernández *et al.*, 2010).

En este trabajo se realizó la detección de *Fraxinus*, debido a que su concentración en la atmósfera, de hasta hasta 2 000 gp/m<sup>3</sup> de aire, se considera un alergeno importante. El Fresno pertenece a la familia de las Oleáceas, y el género *Olea* es considerado uno de los principales alergenos en Europa (Asturias *et al.*, 1997; Lombardero *et al.*, 2002; Barderas *et al.*, 2005; Gastaminza *et al.*, 2005; Poncet *et al.*, 2010). Mientras que a *Fraxinus*, solo se le considera un tipo polínico que sensibiliza a la población (Hemmer *et al.*, 2000; Barderas *et al.*, 2005). Sin embargo, se reporta gran cantidad de casos de polinosis a Oleáceas en México (Morfin *et al.*, 2009).

En este estudio se obtuvieron anticuerpos policlonales producidos en conejo, con el cual se estableció un sistema para la detección de las proteínas producidas por los granos de polen de *Fraxinus* en el aire, debido a la posibilidad de encontrar sus alergenos en la atmósfera con o sin la presencia de los granos de polen que las producen (Fernández *et al.*, 2010).

La detección de las proteínas en el aire presentó distintos resultados, debido a las diferencias en los muestreadores. El ciclón multi-vial es el más utilizado en este tipo de muestreo (Fernández *et al.*, 2010; Rittenour *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012), las proteínas detectadas presentaron una tendencia muy similar a la que registraron los granos de polen atmosférico de *Fraxinus* (figura 70) cuando las concentraciones fueron muy altas, mientras que, cuando las concentraciones fueron bajas, la cantidad de inmunógenos detectados no fue similar a las concentraciones de polen atmosférico. Durante la etapa de floración, la presencia de inmunógenos en el aire fue alta, sin embargo, cuando las concentraciones de polen atmosférico fueron bajas, es posible que sus alergenos se encontraron adheridos a aeropartículas o no se estuvieron presentes en el ambiente, como el caso de septiembre, donde se observó un ligero incremento de los inmunógenos detectados, atribuyéndose a la liberación de las proteínas como resultado en el incremento de la humedad relativa, cuando las concentraciones de polen atmosférico eran altas, asumiendo el transporte de los alergenos por medio de otros aerosoles, ya que fue posible detectar estas proteínas tiempo después.

La detección de inmunógenos de *Fraxinus* a partir de las muestras obtenidas con la trampa pasiva de esporas, presentó mayores diferencias con respecto a las concentraciones de polen atmosférico, debido a que eran muestras semanales. Estas diferencias se atribuyen a condiciones ambientales durante el muestreo, por lo que en muestreos diarios esperaríamos observar mayores diferencias que existen con respecto a las concentraciones de polen atmosférico y no solo a promedios semanales. El uso de la trampa pasiva de esporas, es recomendable para establecer la presencia o ausencia de los inmunógenos en la atmósfera, no para su cuantificación, ya que por el momento, se está buscando un medio de impacto que sea mucho más exacto.

# Conclusiones

- La mayoría de los granos de polen registrados en la atmósfera del Bosque de Chapultepec provinieron de árboles y arbustos, debido a que es la vegetación más abundante en la zona.
- Los granos de polen de herbáceas fueron registrados durante todo el año en la atmósfera del Bosque de Chapultepec, y el principal representante de este grupo fueron los pastos, de acuerdo a las concentraciones registradas en este estudio.
- Las concentraciones más altas de granos de polen atmosférico, se registraron durante la temporada de secas, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron durante la temporada de lluvias.
- La precipitación y la humedad relativa altas son factores que en la mayoría de los casos estuvieron relacionadas con la disminución de las concentraciones de polen atmosférico.
- Los meses de diciembre a febrero registraron la mayor concentración de granos de polen y en estas fechas, se aportó cerca del 70% de la producción total de polen cada año, gracias a los tipos polínicos *Fraxinus* y Cupressaceae
- Los anticuerpos policlonales producidos en este estudio, detectaron 6 fracciones proteicas dentro del extracto soluble de los granos de polen de *Fraxinus* spp.
- Estos anticuerpos detectaron una concentración mínima de 0.05 µg/ml de proteínas del extracto de *Fraxinus* spp.
- Las concentraciones de proteína detectadas en las muestras de aire mostraron un comportamiento muy similar con los granos de polen atmosférico, cuando éstos se encontraron en altas concentraciones y diferentes cuando las concentraciones de polen disminuyeron.
- La diversidad y concentración de los granos de polen atmosférico dependen principalmente de la vegetación presente en la zona, y de las condiciones meteorológicas que se presenten durante su producción, liberación, transporte y sedimentación, así como de la fenología de cada planta.

## Perspectivas

Es necesario continuar con los estudios sobre los granos de polen alergénicos en la atmósfera, tanto en la Ciudad de México, como en distintas zonas de la República Mexicana, con el fin de establecer la gran diversidad que posiblemente existe en su atmósfera, como resultado de la diversidad en su vegetación.

También considero de gran importancia, continuar con los estudios sobre la alergenicidad de las proteínas que producen los granos de polen presentes en la atmósfera, así como las posibles diferencias en su expresión a lo largo del año.

Se propone continuar con la producción de anticuerpos específicos contra los alergenos de los distintos granos de polen, y en un futuro, establecer las diferencias en la alergenicidad de los granos de polen durante el periodo de floración.

Finalmente, creo que esto es un trabajo conjunto donde distintas instancias deberían de conjuntarse y promover la importancia sobre el conocimiento de las concentraciones atmosféricas de los granos de polen a lo largo del año, tanto en la Ciudad de México como en el resto de la República Mexicana, para tener un impacto positivo en la población que sufre de polinosis en el país.

# Bibliografía

- Abreu I. Ribeiro H. Cunha M. 2003. An aeropalynological study of the Porto region (Portugal). *Aerobiologia*. 19: 235 – 241
- Acedo C. 2004. Taxonomía del género *Quercus* L. Especies representantes en la Península Ibérica.
- Aceituno E. Del Pozo V. Mínguez A. Arrieta I. Cortegano I. Cárdbaba B. Gallardo S. Rojo M. Palomino P. y Lahoz C. 2000. Molecular cloning of major allergen from *Cupressus arizonica* pollen: Cup a 1. *Clinical y Experimental Allergy*, 30: 1750–1758.
- Acosta-Castellanos S. 1999. Correspondence analysis of pollen rain along an altitudinal gradient in Sierra Norte, Oaxaca, México” in: XVI International Botanical Congress. St Louis. Missouri, USA. August 1-7
- Aguilar D. 2005. Short communication. Environmental aeroallergens in the Valley of Mexico. *J Allergy Clin Immunol*. S72
- Agashe SN. Caulton E. 2008. Pollen and Spores: Applications With Special Emphasis on Aerobiology and Allergy. Science Pub Inc. 400pp.
- Albertosa S. LM. 1990. Climatología y medio ambiente. Edición: ilustrada. Edicions Universitat Barcelona. 611 pp
- Alché JD. Rodríguez MI. 1997. El polen como vector responsable de las alergias. *Polen* 8:5-23
- Alba F. Díaz de la Guardia C. 1999. Aerobiología en Andalucía: Estación de Granada (1998). *REA* 5:35-38
- Alfaya T. Marqués L. 2002. En: Polinosis: Polen y alergia. 3.3. Chenopodiáceas/Amarantáceas. Valero A. y Cadahia A. (Eds). Mra Ediciones. Barcelona, Pp. 69-78.
- Alizoti PG. Kilimis K. Gallios P. 2010. Temporal and spatial variation of flowering among *Pinus nigra* Arn. clones under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 259: 786–797
- Álvarez A. Torres MI. 2009. Frecuencia de sensibilización al polen del pino australiano (*Casuarina equisetifolia* L.) en pacientes con alergia respiratoria de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Andrés C. Luque B. Díez MJ. 2001. Morfología polínica de las especies de cítricos cultivadas en Andalucía Occidental (España). *Acta Botánica Malacitana* 26:69-77.
- Anero MT. Carabias F. Carretero P. *et al.* 2008. Polen. *Aerobiología y polinosis en Castilla y León*. Junta de Castilla y León. 74 pp
- Añibarro B. Fontela JF. De la Hoz F. 1997. Occupational asthma induced by garlic dust. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 100:734–738
- Aragón R. Groom M. 2003. Invasion by *Ligustrum lucidum* in NW Argentina: plant characteristics in different habitat types. *Revista de Biología Tropical* 51: 59-70.
- Arriaga V. Cervantes V. Vargas-Mena A. 1994. Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. SEDESOL / INE – Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Arilla MC. González-Rioja R. Ibarrola I. Mir A. Monteseirin J. Conde J. Martínez A. *et al.* 2006. A sensitive monoclonal antibody-based ELISA to quantify *Parietaria judica* major allergens, Par j 1 and Par j 2. *Clinical and Experimental Allergy* 36:87-93

- Armentia A. Sanchez-Monge R. Gomez J. Barber D. Salcedo G. 1993. In vivo allergenic activities of eleven purified members of a major allergen family from wheat and barley flour *Clin. Exp. Allergy*, 23: 410-415
- Asero R. Mistrello G. Roncarolo D. Amato S. Caldironi G. Barocci F. van Ree R. 2002. Immunological cross-reactivity between lipid transfer proteins from botanically unrelated plant-derived foods: a clinical study. *Allergy* 57: 900–906
- Asturias A. Ibarrola I. Eserverri JL. Arilla MC. González-Rioja R. Martínez A. 2004. PCR-based cloning and immunological characterization of *Parietaria judaica* pollen profilin. *J Invest Allergol Clin Immunol*. 14:1. pp 43-48
- Bicakci A. Tatlidil S. Sapan N. Malyer H. Canitez Y. 2003. Airborne pollen grains in Bursa, Turkey, 1999-2000. *Ann Agric Environ Med* 10: 31–36
- Balleza JJ. Villaseñor JL. 2002. La Familia Asteraceae en el estado de Zacatecas (México). *Acta Botánica Mexicana* 59:5-69
- Ballero M. Maxia A. 2003. Pollen spectrum variations in the atmosphere of Cagliari, Italy. *Aerobiologia*. 19: 251 – 259
- Baltazar MA. Martí E. 2002. En: *Polinosis: Polen y alergia*. 3.1. Urticáceas. Valero A. y Cadahia A. (Eds). Mra Ediciones. Barcelona, pp. 45-52.
- Barderas R. Villalba M. Lombardero M. Rodríguez R. 2002. Identification and characterization of Che a 1 allergen from *Chenopodium album* pollen. *Int Arch allergy Immunol*. 127:47-54
- Barderas R. Purohit A. Papanikolau I. Rodríguez R. Pauli G y Villalba M. 2005. Cloning, expression, and clinical significance of the major allergen from ash pollen, Fra e 1. *J Allergy Clin Immunol* 115 (2): 351-357.
- Bartra J. Mullol J. Del Cuvillo A. Dávila I. Ferrer M. Jáuregui I. 2007. Air pollution and allergens. *J Investig Allergol Clin Immunol* Vol. 17, Suppl. 2: 3-8
- Bassett IJ. Crompton CW. Parmalee JA. 1978. Airborne pollen grains and common fungus spores of Canada. Research Branch Canada Department Agriculture Monograph No. 18. 321 p.
- Batanero E. Villalba M. López-Otín C. Rodríguez R. 1994. Isolation and characterization of an olive allergen-like protein from lilac pollen. Sequence analysis of three cDNA encoding protein isoforms. *Eur J Biochem*. 221:187-93
- Batanero E. Gonzáles de la Peña M. Villalba M. Monsalve RI. Martín-Esteban M. Rodríguez R. 1996. Isolation, cDNA cloning and expression of Lig v 1, the major allergen from privet pollen. *Clin. Exp. Allergy* 26:1401-1410
- Batis AI. Alcocer MI. Gual M. Sánchez C. Vázquez – Yanes C.. 1999. Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación. Instituto de Ecología, UNAM -CONABIO. México, D.F.
- Bedinger P. 1992. The remarkable biology of pollen. *Plant cell*. 4:879-887
- Bedolla M. Hernández DD. 2010. Sensibilización a aeroalergenos en sujetos con rinitis alérgica que viven en la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Rev Alergia Mexico*. 57(2): 50 – 56
- Behrendt H. Becker WM. Fritzsche C. Sliwa-Tomczok W. Tomczok J. Friedrischs KH. Ring J. 1997. Air pollution and Allergy: Experimental Studies on Modulation of Allergen Release from Pollen by Air Pollutants. *Int Arch Allergy Immunol* 113:69–74
- Belmonte JS. Roure JM. 2002. Introducción. En: *Polinosis. Polen y alergia*. Valero AL y Cadahía (eds). Universidad Autónoma de Barcelona, pp.7-16.
- Benavides Meza H. Gazca Guzmán MO. López López SF. 2010. Determinación y Evaluación de las especies para la reforestación de la 2ª sección del Bosque de

Chapultepec. Catálogo de especies arbóreas y arbustivas para la reforestación de la segunda sección del Bosque de Chapultepec.

- Benítez BG. Pulido SMT. Equihua ZM. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A. C. – CONAFOR. Xalapa, Veracruz, México. 288 p.
- Bianchi MM. Olabuenaga SE. 2006. A 3-year airborne pollen and fungal spores record in San Carlos de Bariloche, Patagonia, Argentina. *Aerobiologia*. 22: 247 – 257
- Blanca G. Cabezudo B. Cueto M. Fernández López C. Morales Torres C. (eds.). 2009. Flora Vascular de Andalucía Oriental, 1-4. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Boot R. Raynal DJ. Grime JP. 1986. A Comparative Study of the Influence of Drought Stress on Flowering in *Urtica dioica* and *U. urens*. *Journal of Ecology*. 74: 485-495
- Borchert R. Robertson K. Schwartz MD. Williams-Linera G. 2005. Phenology of temperate trees in tropical climates. *Int J Biometeorol*. 50: 57 – 65
- Bossard CC. Randall JM. Hoshovsky MC. 2000. Invasive plants of California's wildlands. University of California Press, Berkeley, California, USA, pp. 183-187.
- Bousquet JB. Guerin H. Hewitti B. Dhivert F. Michel FB. 1985. Allergy in the Mediterranean area II. Cross allergenicity among Urticaceae pollens (*Parietaria* and *Urtica*). *Clin Allergy* 16: 57 – 64.
- Breiteneder H. Ferreira F. Reikerstorfer A. Duchene M. Valenta R. Hoffmann-Sommergruber K. Ebner C. Breitenbach M. Kraft D. Scheiner O. 1992. Complementary DNA cloning and expression in *Escherichia coli* of Aln g I, the major allergen in pollen of alder (*Alnus glutinosa*). *J. Allergy Clin. Immunol*. 90:909-917
- Breiteneder H. Ferrerira F. Hoffman-Sommergruber K. Ebner C. Breitenbach M. Rumpold H. Kraft D. Scheiner O. 1993. Four recombinant isoforms of Cor a I, the major allergen of hazel pollen, show different IgE-binding properties. *Eur: J Biochem*. 212:355-362
- Broniliet IT. 1992. Estudio Aeropalinológico de la zona norte de la Ciudad de México en un ciclo anual. Tesis
- Bucholtz GA. Hensel AE. Lockey RF. Serbousek D. Wunderlin RP. 1987. Australian pine (*Casuarina equisetifolia*) pollen as an aeroallergen. *Ann Allergy* 59:52-6.
- Burge HA. 2002. An update on pollen and fungal spore aerobiology. *J Allergy Clin Immunol*. 110:4 pp 544-552
- Cabrera AL. Zardini EM. 1978. Manual de la Flora de los alrededores de Buenos Aires. Acme S.A.C.I. Buenos Aires.
- 755 p.
- Candau P. González-Minero F. Romero F. 1994. Aeropalinology of *Fraxinus* in an urban area of southwestern Spain. *Aerobiología* 10: 47-51.
- Calabozo B. Barber D. Polo F. 2001. Purification and characterization of the main allergen of *Plantago lanceolata* pollen, Pla I 1. *Clin Exp Allergy*. 31:322-30
- Carbajal S. 2007. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Moraceae. Fascículo 147. Instituto de Botánica. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. Modificado por Rzedowski y Rzedowski.
- Cariñanos P. Galán C. Alcázar P. Domínguez E. 2004. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula. *Env Exp Bot* 52: 11 – 22
- Castillo S. Martínez Y. Sánchez I. Núñez O. Guadarrama P. Romero MA. Meave JA. 2007. La reserva ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos ecológicos y florísticos. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 294 pp.

- Casasola MM. 2006. Influencia del Bosque de Chapultepec en el clima urbano de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura, Carrera de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. 98 pp.
- CATIE. 1999. Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales. No. 73. *Salix humboldtiana* Willd. Turrialba, Costa Rica.
- Carvajal S. 2007. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes: Moraceae. Fascículo 147. 59 pp
- Cecich RA. Kang H. Chalupka W. 1994. Regulation of early flowering in *Pinus banksiana*. *Tree Physiology* 4:275-284
- Cesário LF. 2008. Floral biology and reproductive phenology of *Schinus terebinthifolius* Reddi. (Anacardiaceae) in the resting of northern Rio de Janeiro State. *Act Bot Brasilica*. 22: 828 – 833
- Chouza X. Gravina A. 2010. Inducción floral en *Citrus*. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, 24p.
- Cid MA. 2007. Estacionalidad de granos de polen de dos zonas de la Ciudad de México. Tesis. UNAM. Instituto de Geología. 92 pp.
- Clot B. 2001. Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. *Aerobiologia* 17: 25–29,
- Corden J. Millington W. Bailey J. Brookes M. Caulton E. Emberlin J. Mullins J. Simpson C. Wood A. 2000. UK regional variations in *Betula* pollen (1993–1997). *Aerobiologia* 16: 227–232.
- Cortegano I. Civantos E. Aceituno E. del Moral A. López E. Lombardero M. de Pozo V. Lahoz C. 2004. Cloning and expression of a major allergen from *Cupressus arizonica* pollen, Cup a 3, a PR-5 protein expressed under polluted environment. *Allergy*. 59:485–490
- Correa, M. N. 1984. Flora Patagónica. Parte IVb. Dicotyledoneae: Dialipétalas (Droseraceae a Leguminosae). Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Tomo VIII. Buenos Aires, Argentina.
- Correll DS. Johnston MC. 1970. Manual of the Vascular Plants of Texas. Texas Research Foundation. Renner, Texas, USA.
- Cox AN. 1993, in *New Perspectives in Stellar Pulsation and Pulsating Variable Stars*, ed. J. Nemec J. Matthews (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 107
- Cronquist A. 2001. Vascular Flora of the Southeastern United States: Asteraceae. UNC Press Books, 280 pp
- Czarnecki D. Nixon R. Bekhor P. Mason G. 1993. Delayed prolonged contact urticaria from the elm tree. *Contact Dermatitis* 28:196-7.
- D'amato G. Mullins J. Nolard N. Spieksma FThM. Wachter R. 1988. City spore concentrations in the European Economic Community (EEC). VII. Oleaceae (*Fraxinus*, *Ligustrum*, *Olea*). *Clinical & Experimental Allergy*, 18: 541–547.
- D'Amato G. Spieksma F. 1992. European allergenic pollen types. *Aerobiologia* 8: 447-450.-
- D'Amato G. 2001. Airborne paucimicronic allergen-carrying particles and seasonal respiratory allergy. *Allergy* 56: 1109–1111
- D'Amato G. Cecchi L. Bonini S. Nunes C. Annesi I. Liccardi G. Popov T. Van Cauwenberge P. 2007. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. Review article. *Allergy* 62: 976–990

- Damián M. Cernadas E. Formella A. Pilar de Sa-Otero M. 2002. Pollen classification of three types of plants of the family Urticaceae. Proceedings of 12<sup>th</sup> Portuguese Conference on Pattern Recognition, Rec Pad, Aveiro.
- De la Fuente A. Rodríguez J. Fonseca E. 2007. Análisis de proteínas mediante electroforesis e inmunotransferencia (Western blot). *Piel*. 22:252-8
- De Linares C. Nieto-Lugilde D. Alba F. Díaz de la Guardia C. Galán C. & Trigo MM. 2007. Detection of airborne allergen (Ole e 1) in relation to *Olea europea* pollen in S Spain. *Clinical & Experimental Allergy* 37:125-132
- Díaz de la Guardia C. Alba F. Girón F. Sabariego S. 1998. An aerobiological study of Urticaceae pollen in the city of Granada (S. Spain): correlation with meteorological parameters. *Grana*. 37: 298 – 304
- Driessen MN. Quanjer PH. 1991. Pollen deposition in intrathoracic airways. *ERJ* 3: 359-363
- Dobrowolska D. Hein S. Oosterbaan A. Wagner S. Clark J. & Skovsgaard JP. 2010. A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture. *Forestry* 84: 133-148.
- Docampo S. 2008. Estudio aerobiológico de la atmósfera de la costa oriental de Málaga (sur de España) e incidencia de las esporas fúngicas en el interior de la Cueva de Nerja. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología Vegetal. 489 pp.
- Domínguez E. Uberta JL. Galán C. 1984. Polen Alergígeno de Córdoba. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Ronda. Córdoba, España.
- Dopazo A. Jato V. Aira M.J. 2003, Models for predicting the onset of pollination and daily pollen concentrations of *Betula* sp, *Bot. Helv.* 113: 145–157.
- Dvorin DJ. Lee JL. Belecanech GA. Goldstein MF. Dunsky EH. 2001. A comparative, volumetric survey of airborne pollen in Philadelphia, Pennsylvania (1991-1997) and Cherry Hill, New Jersey (1995-1997). *Ann Allergy Asthma Immunol.* 87(5): 394 – 404
- Dzialuk A. Chybicki I. & Burczyk J. 2005. PCR Multiplexing of Nuclear Microsatellite Loci in *Quercus* Species. *Plant Molecular Biology Reporter* 23: 121–128
- Echavarría FG. Serna A. Rubio FA. Rumayor AF. Salinas H. 2009. Productividad del chamizo *Atriplex canescens* con fines de reconversión: dos casos de estudio *TRécSIPÓeNcu Méx* 47:93-106
- Edmonds RL. Benninghoff WS. 1973. Aerobiology: A new discipline for combating diseases, pests, and allergens. U.S. Component of the International Biological Program (Aerobiology Program).
- Edmonds R.L. 1979. Aerobiology: The Ecological Systems Approach. The Institute of Ecology. University of Washington. US/IBP synthesis series, 10. Stroudsburg, Pennsylvania
- Enríquez O. Hernández Chávez L. Sarrazola Sanjuan DM. Segura Méndez NH. Hernández Colín DD. & Martínez-Cairo S. 1997. Aeroalergenos, pruebas cutáneas y enfermedad alérgica en 1091 pacientes. *Rev Alergia Méx* 44:3-66.
- Emberlin J. Norris-Jill J. 1991. Annual, daily, and diurnal variation of Urticaceae pollen in North-Central London. *Environ Sci.* 7: 49 – 56
- Emberlin J. 1994. The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy*, 49: 15–20
- Emberlin J. Baboonian C. 1995. The development of a new method of sampling airborne particles for immunological analysis. In XVI European Congress of Allergology and Clinical Immunology. Monduzzi Editore. Bologna, Italy

- Estrada F. Martínez A. & Fernández A. 2009. Defining climate zones in Mexico City using multivariate analysis. *Atmósfera* 22(2):175-193
- Esteve C. Montealegre C. Marina ML. García MC. 2012. Analysis of olive allergens. *Talanta*, Vol. 92, pp. 1-14.
- Espinosa GFJ. & Sarukhán J. 1997. Manual de malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Fahlbusch B. Müller WD. Rudeschko O. Jäger L. Cromwell O. Fiebig H. 1998. Detection and quantification of group 4 allergens in grass pollen extracts using monoclonal antibodies. *Clinical and Experimental Allergy* 28:799-807
- Feo Brito F. 2003. Mesa redonda, Polución y Polinosis. Asma, Polución y Polinosis. *Alergol Inmunol Clin*, 18:3. pp86-105
- Fernández D. González-Parrado Z. Vega-Maray AM. Valencia-Barrera RM. Camazón-Izquierdo B. De Nuntiis P. & Mandrioli P. 2010. Platanus pollen allergen, Pla a 1: quantification in the atmosphere and influence on a sensitizing population. *Clinical & Experimental Allergy* 40:1701-1708
- Fitzsimmons JP. Burrill LC. 1993. Weeds: Red Sorrel (*Rumex acetocella* L.). A Pacific Northwest Extension Publication. U.S. Department of Agriculture cooperating.
- Flores FJ. 1996. Estudio aerobiológico de la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia* 16:21-26.
- Florido JF. Gonzalez P. Saenz de San Pedro B. Perez C. Arias de Saavedra JM. Marin JF. 1995. Allergy to Natural Honeys and Camomile Tea. *Int Arch Allergy Immunol* 108:170–174
- Forkone A. Kutschker A. 2006. Floración de las especies de interés apícola en el noroeste de Chubut, Argentina. *Rev Museo Argentino Ciencias Naturales*. 8:151-7.
- Fountain DW. Cornford CA. 1991. Aerobiology and allergenicity to Pinus radiate pollen in New Zealand. *Grana* 30: 71- 75.
- Friguet B. Chaffotte AF. Djavadi-Ohanian L. Goldberg ME. 1985. Measurements of the true affinity constant in solution of antigen-antibody complexes by enzyme-linked immunosorbent assay. *J Immunol Methods* 77:305–319
- Frenz DA. Murray LW. 1997. An atmospheric pollen survey conducted during the winter in Minneapolis, Minnesota, USA. - *Grana* 36: 245-248.
- Freire A. 2004. Botánica Sistemática Ecuatoriana. Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA. Murray Print, St. Louis, Missouri. 122-123p.
- Fuentes F. Estudio aeropalínológico del sur de la Ciudad de México. Tesis. Universidad Simón Bolívar. México. 275 pp
- Galán C. Emberlin J. Domínguez E. Bryant RH. Villamandos F. 1995. A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana* 34:189-198.
- Galán SC. Cariñanos GP. Alcázar TP. Domínguez VE. 2007. Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología, REA. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. pp 39
- Galdi E. Perfetti L. Calcagno G. Marcotulli MC. Moscato G. 2003. Exacerbation of asthma related to Eucalyptus pollens and to herb infusion containing Eucalyptus. *Monaldi Arch Chest Dis*. 59: 220 – 221
- García LM. Montero CA. 1986. Arquitectura del paisaje. Fitografía. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.

- García JC. Martín PC. López-Asunsolo A. 1995. Melon sensitivity shares allergens with *Plantago* and grass pollens. *Allergy*, 50: 269–273.
- García JC. Cosmes PM, López-Asunsolo A. 1996. Allergy to food in patients monosensitized to *Artemisia* pollen. *Allergy* 51:927-31.
- García JJ. Trigo MM. Cabezudo B. Redo M. Vega JM. Barber D. Carmotia MJ. Cervera JA. Toro FJ. Miranda A. 1997. Pollinosis due to Australian pine (*Casuarina*): an aerobiologic and clinical study in southern Spain. *Allergy* 52: 11-17
- García JJ. 1999. Polinosis, una enfermedad en aumento. *REA* 5: 13-16
- García JJ. Bartolomé B. Trigo MM. Barceló JM. Fernández S. Negro MA. Carmona MJ. Vega JM. Muñoz C. Palacios R. Cabezudo B. Martínez J. 1999b. Pollinosis to *Ricinus communis* (castor bean): an aerobiological, clinical and immunochemical study. *Clinical and Experimental Allergy*. 29:1265-1275
- García H. Galán C. Domínguez E. 2000. Aerobiología en Andalucía: Estación de El Cabril (1999). *Rea*, 6: 23-26.
- García FJ. Díaz A. Sánchez R. Alcántara M. Lombardero M. Barber D. Salcedo G. Fernández M. 2002. Patterns of Reactivity to Lipid Transfer Proteins of Plant Foods and *Artemisia* Pollen: An in vivo Study. *Int Arch Allergy Immunol* 128:115–122
- García H. Pérez R. Fernández F. Galán C. 2006. Airborne pollen sampling in Toledo, Central Spain. *Aerobiología* 22: 55 – 66
- García JJ. 2010. Detección de los niveles de proteínas alergénicas en el aire de olea europaea (ole e 1) cuantificación por métodos inmunológicos. Tesis de la Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/1315>
- García ME. 2010b. Aeropalinología de la Ciudad de Yerba Buena, Provincia de Tucumán (Argentina). *Act Bot. Malacit.* 35: 115 – 131.
- Gastaminza G. Bartolomé B. Bernedo N. Uriel O. Audicana M. Echenagusia MA. Fernández E. Muñoz D. 2005. Alergia al polen de las oleáceas en un lugar donde no hay olivos. *Alerg Inmunol Clin*. 20: 131-138.
- Gattuso S. Gattuso M. Lusardi M. McCargo J. Scandazi A. Di Sapio O. Arduo L. Crisci C. 2003. Polen aéreo, monitoreo diario volumétrico en la ciudad de Rosario. Parte I: árboles y arbustos. *Arch Alergia Inmunol Clín*. 34:I: 22-27.
- Gehrig R. Peeters AG. 2000. Pollen distribution at elevations above 1000 m in Switzerland. - *Aerobiología* 16: 69-74.
- Gleason HA. Cronquist A. 1991. Manual of vascular plants of northeastern United States and adjacent Canada. 2nd ed. The New York Botanical Garden. Bronx, NY.
- Gilman EF. Watson DG. 1993. *Citrus* spp. Fact Sheet ST-169. Agricultural Engineering Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville FL 32611.
- Gilman EF. Watson DG. 1994. *Phoenix reclinata*: Senegal date palm. University of Florida, IFAS Extension (<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/ST/ST44000.pdf>)
- Gleason HA. Cronquist A. 1991. Manual of the vascular plants of northeastern United States and adjacent Canada. 2a ed. Bronx, New York, USA.
- Goldsby RA. Kindt TJ. Osborne BA. Kuby J. 2004. Inmunología. Mc Graw Hill. 5ª ed. 665 pp.
- González FJ. Candau P. Tomás C. 1997. Patrones de distribución de concentraciones polínicas de varios tipos de polen alergógenos (herbáceas) en relación con factores climatológicos. *Rev. Esp. Alergol Inmunol Clin*. Vol.12.6:357-362.
- González L MC. Cerezo-Moreno A. González-Macías MC. Salazar CL. 1999. Comportamiento de las Partículas Suspensas y Polen en la Atmósfera de la Región

Norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Journal of the Mexican Chemical Society. 43:005 pp 155-164.

- González O. Fuentes Y. Rodríguez R. Martínez I. Rodríguez P. Pérez V. 2009. Calendario polínico en una región de Ciudad de La Habana. *VecciMonitor* 18(3):1-4.
- González-Parrado Z. Valencia-Barrera RM. Fuertes-Rodríguez CR. Vega-Maray AM. Pérez-Romero R. Fraile R. Fernández-González D. 2009. Alternative statistical methods for interpreting airborne Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner) pollen concentrations. *Int J Biometeorol.* 53: 1 – 9
- Görg A. Weiss W. Dunn MJ. 2004. Current two-dimensional electrophoresis technology for proteomics. *Proteomics*, 4 (2004), pp. 3665–3685
- Goulden V. Wilkinson SM. 1998. Patch testing for Compositae allergy. *Br J Dermatol.* 138:1018-21.
- Goulden V, Wilkinson SM.
- Green BJ. Dettmann ME. Rutherford S. Simpson RW. 2002. Airborne pollen of Brisbane, Australia: a five-year record, 1994 – 1999. *Grana.* 41: 242 – 250
- Gregory PH. 1973. The microbiology of the atmosphere. Halsted Press. Great Britain. 251 pp
- Griffith IJ. Pollok J. Klapper DG. Rogers BL. Nault AK. 1991. Sequence polymorphism of Amb I and II, the major allergens in *Ambrosia artemisiifolia* (Short ragweed). *Int Arch Allergy Appl Immunol.* 96:296-304
- Grote M. Vrtala S. Valenta R. 1993. Monitoring of two allergens, Bet v 1 and profilin, in dry and rehydrated birch pollen by immunogold electron microscopy and immunoblotting. *J Histochem Cytochem.* 41:745-750.
- Guerrero E. 1997. Estudio Florístico del Bosque de Chapultepec. Reporte final de Servicio Social. UAM-Iztapalapa. Depto. Biología.
- Guidos FGA. & Almeida AVA. 2005. Polinosis y Aeroalergenos. *Alergia, Asma e Inmunología pediátricas* 14: 2 pp 52-55.
- Gutiérrez M. Sabariego S. Cervigón P. 2006. Calendario polínico de Madrid (Ciudad Universitaria). Periodo 1994-2004. *Lazaroa* 27: 21-27
- Gunawan H. Takai T. Shigaku I. Omura K. & Ogawa H. 2008. Protease Activity of Allergenic Pollen of Cedar, Cypress, Juniper, Birch and Ragweed *Allergology International.* 57:83-91
- Güvensen A, Öztürk M. 2002. Airborne pollen calendar of Buca–Izmir, Turkey. *Aerobiologia.* 18: 229 – 237
- Hall AE. Khairi MA. Asbell CW. 1977. Air and Soil Temperature Effects on Flowering of *Citrus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 102: 261-263.
- Heklau H. Gasson P. Schweingruber F. Baas P. Wood Anatomy of Chenopodiaceae (Amaranthaceae s.l.). *IAWA Journal* 33: 205–232
- Hemmer W. Focke M. Wantke F. Gotz M. Jarish R. Jager S. Gotz M. 2000. Ash (*Fraxinus excelsior*) pollen allergy in central Europe: specific role of pollen panallergens and the major allergen of ash pollen, Fra e 1. *Allergy.* 55:923-930
- Herman D. 1993. La rinitis alérgica estacional en García (1999). *Polinosis.* REA 5:13-16
- Hernández HA. 1999. Serie señalética para la 2ª Sección de Chapultepec. Tesis Profesional, Licenciatura de Comunicación Gráfica, Escuela Nacional de Artes Plásticas, UNAM. México, D.F. 125 p.
- Hesse M. Halbritter H. Martina W. Buchner R. Frosch-Radvio. Ulrich S. 2008. Pollen Terminology: An illustrated handbook. Springer. 264
- Heywood VH. 1985. Las plantas con flores. Ed. Reverté. España. 329 pág.

- Hidalgo PJ. Galán C. Domínguez E. 2003. Male phenology of three species of *Cupressus*: correlation with airborne pollen. *Trees*. 17: 336 – 344
- Hirst JM. 1952. An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39: 257–265.
- Holt PG. Macaubas C. Stumbles PA. Sly PD. 1999. The role of allergy in the development of asthma. Review articles. *Nature* 402: B12-B17
- Hrabina M. Purohit A. Oster JP. Papanikolau I. Jain K. Jain K. Pascal P. Sicard H. Gouyon B. Moingeon P. Pauli G. André C. 2007. Standardization of an Ash (*Fraxinus excelsior*) Pollen Allergen Extract. *Int Arch Allergy Immunol* 2007,142:11–18
- Hyde HA. 1954. *Oncus*, a new term in pollen morphology. National Museum of Wales, Cardiff. Pp: 255-256.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 1997. Establecimiento de plantaciones de pino para producción de leña en las zonas áridas del Estado de México e Hidalgo. En: Benavides Meza H. Gazca Guzmán MO. López López SF. 2010. Determinación y Evaluación de las especies para la reforestación de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec. Catálogo de especies arbóreas y arbustivas para la reforestación de la segunda sección del Bosque de Chapultepec.
- INIFAP, ProBosquede Chapultepec. 2008. Inventario del arbolado de la segunda sección de Chapultepec. Versión electrónica proporcionada por la dirección general del Bosque de Chapultepec.
- Iorio RA. Del Duca S. Calamelli E. Pula C. Lodolini M. Scamardella F. Pession A. Ricci G. 2013. *Citrus* Allergy from Pollen to Clinical Symptoms. *PLoS ONE* 8: e53680
- Ipsen H. Hansen OC. 1991. The NH<sub>2</sub>-terminal amino acid sequence of the immunochemically partial identical major allergens of alder (*Alnus glutinosa*) *Aln g I*, birch (*Betula verrucosa*) *Bet v I*, hornbeam (*Carpinus betulus*) *Car b I* and oak (*Quercus alba*) *Que a I* pollens. *Molec Immunol* 28: 1279- 1288.
- Isard SA. Gage SH. 2001. *Flow of Life in the Atmosphere: An Airscape Approach to Understanding Invasive Organisms*. East Lansing: Michigan State University Press.
- Jager S. Mandrioli P. 1993. Airborne Birch and Grass pollen distribution in Europe. *Aerobiología* 10:2-6
- Jato V. Rodríguez-Rajo FJ. Alcázar P. De Nutiis P. Galán C. Mandrioli P. 2006. May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiología* 22: 13–25
- Jáuregui E. 1992. La isla de calor urbano de la Ciudad de México a finales del siglo XXI. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Jáuregui E. Tejeda A. 1997. Urban-Rural Humidity Contrasts in Mexico City. *International Journal of Climatology*, v. 17, pp. 187-196.
- Jelks M. 1986. *Allergy plants that cause sneezing and wheezing*. World-Wide Publications, 1986. Reimpresión 2009. Cornell University. 64 pp
- Jiménez A. Moreno C. Martínez J. Bartolomé B. Guerra F. Palacios R. 1994. Sensitization to sunflower pollen: only an occupational allergy? *Int Arch Allergy Immunol* 1994, 105:297–307
- Jiménez Cisneros BE. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México, Limusa. Colegio de Ingenieros ambientales de México A.C. Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA
- Johansson SGO. Bieber T. Dahl R. Friedmann PS. Lanier BQ. Lockey RF. Motala C. Ortega Martell JA. Platts-Mills TAE. Ring J. Thien F. Van Cauwenberge P. Williams HC. 2004. Revised nomenclature for allergy for global use: Report of the Nomenclature

- Review Committee of the World Allergy Organization, October 2003. *J Allergy Clin Immunol* 113: 832-836.
- Johnston M. Olivares A. Bustos Y. 2011. Vegetative growth of two mulberry species (*Morus multicaulis* and *M. alba*) under greenhouse and field conditions. *Cien Inv Agr.* 38(1): 41 – 51
  - Jones G. Bryant V. Hoag M. Jones S. Lingren P. 1995. Pollen of the southerner United States: With emphasis on melissopalynology and entomopalynology. AASP Contributions series No. 30. 104 pp.
  - Kaplan A. Sakiyan N. Pinar NM. 2003. Daily *Ambrosia* Pollen Concentration in the Air of Ankara, Turkey (1990-1999). *Acta Botanica Sinica.* 45:1408-1412
  - Katifori E. Alben S. Cerda E. Nelson DR. Dumais J. 2010. Foldable structures and the natural design of pollen grains. *PNAS* 107: 7635-7639
  - Karamaloo F. Scheurer S. Wangorch A. May S. Haustein D. Vieths S. 2001. Pyr c 1, the major allergen from pear (*Pyrus communis*), is a new member of the Bet v 1 allergen family. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl.* 756:281-293
  - Kasprzyk I. 2004. Airborne pollen of entomophilous plants and spores of pteridophytes in Rzeszow and its environs (SE Poland). *Aerobiologia.* 20: 217 – 222
  - Kizilpinar I. Civelek E. Tuncer A. Dogan C. Karabulut E. Sahiner UM. Yavuz ST. Sackesen C. 2011. Pollen counts and their relationship to meteorological factors in Ankara, Turkey during 2005-2008. *Int J Biometeorol.* 55: 623 – 631
  - Knox RB. Suphioglu C. Taylor P. Desai R. Watson HC. Peng JL. Bursill LA. Peng JL. 1997. Major grass pollen allergen Lol p 1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. *Clin Exp Allergy* 27: 246-251.
  - Lahitte HB. Hurrel JA. Valla JJ. Jankowski LS. Bazzano D. Hernández AJ. 1999. Árboles urbanos. *Biota Rioplatense IV. Inventario de la biota de la región del Delta del Paraná, Isla Martín García y Ribera Platense.* 320 p.
  - Laaidi M. 2001. Forecasting the start of the pollen season of Poaceae: evaluation of some methods based on meteorological factors. *Int J Biometeorol.* 45: 1 – 7.
  - Lahitte HB. Hurrel JA. VALLA JJ. Jankowski LS. Bazzano D. Hernández A. 1999. Árboles urbanos. *Biota Rioplatense IV. Inventario de la biota de la región del Delta del Paraná, Isla Martín García y Ribera Platense.* 320 p.
  - Latalowa M. Mietus M. Uruska A.: 2002, Seasonal variations in the atmospheric *Betula* pollen count in Gdansk (southern Baltic coast) in relation to meteorological parameters. *Aerobiologia* 18, 33–43.
  - Latorre F. Perez Cf. 1997. One year of airborne pollen sampling in Mar del Plata (Argentina). *Grana* 36: 49-53
  - Latorre F. Bianchi MM. 1998. Relationships between flowering development of *Ulmus pumila* and *Fraxinus excelsior* and their airborne pollen. *Grana.* 37: 233-238
  - Larenas LD. Arias CA. Guidos FGA. Cid PML. 2009. Alérgenos usados en las pruebas cutáneas en México. *Rev Alerg Mex.* 56:41-47.
  - Lázaro M. Cuesta J. Igea JM. 1999. Alergia a rosáceas. *Alergol Inmunol Clin.* 4(4):234-240.
  - Leal LR. González S. Arias A. Zarate MC. Garcia D. Gallego C. 2012. 568 Prevalence of Sensitization to Parietaria, Pinus, Cupressus and Morus Pollens in Patients from Craic. *World Allergy Organ J.* 5: S197.
  - Lee SB. Taylor JW. (1990). Isolation of DNA from fungal mycelia and single spores. En: Innis MA. Gelfand DH. Sninsky JJ. White TJ (eds) *PCR Protocols. A Guide to Methods and Applications* (pp 282–287) Academic Press, San Diego, USA.

- Lewis WH. Vinay P. Zenger V. 1983. Airborne and allergenic pollen of North America. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Licardi G. D'Amato M. D'Amato G. 1996. Oleaceae pollinosis: a review. *Int Arch Allergy Immunol.* 111:210-217
- Linkosalo T. Häkkinen R. Hänninen H. 2006. Model of the spring phenology of boreal and temperate trees: is there something missing? *Tree Physiol.* 20: 1175 – 1182
- Loosmore GA. 2002. Evaluation and Development of Models for Resuspension of Aerosols at Short Times after Deposition. Lawrence Livermore National Laboratory. Atmospheric Sciences Division. Preprint UCRL- JC- 149850
- López A. Trigo MM. Argimon de Vilardaga X. Sánchez de Lorenzo JM. 2000. Flora ornamental Española (vol. I-IV). Coordinado por Sánchez de Lorenzo J.M. Ediciones Mundi-Prensa. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. España.
- Lovatt CJ. Zheng Y. Hake KD. 1988. Demonstration of change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in *Citrus*. *Israel J. Bot.* 37:181-188.
- Lozano S. 1989. Palinología y Paleoambientes Pleistocénicos de la Cuenca de México. *Paleobotánica.* 28: 335-362
- Ludlow B. Almeida L. Sugiura Y. 2003. Palinomorfos del Holoceno en la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, junio. 072:50-105.
- Madeja J. Wypasek E. Plytycz B. 2005. Quantification of airborne birch (*Betula* sp.) pollen grains and allergens in Krakow. *Arch Immunol Ther Exp* 53: 169–174
- Makra L. Miklós Juhász A. Béczia R. Borsos E. 2005. The history and impacts of airborne *Ambrosia* (Asteraceae) pollen in Hungary. *Grana* 44:57-64
- Mandrioli P. Ariatti A. 2001. Aerobiology: future course of action. *Aerobiologia* 17: 1–10, 2001.
- Martín E. Cárdbaba B. del Pozo V. de Andrés B. Villalba M. Gallardo S. Rodríguez MI. Fernández MC. Alché JD. Rodríguez R. Palomino P. Lahoz C. 1994. Ole e I: Epitope Mapping, Cross-Reactivity with Other Oleaceae Pollens and Ultrastructural Localization. *Int Arch Allergy Immunol* 104:160–170
- Martínez M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 1220 p.
- Martínez L. Chacalo A. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana. 531 pp.
- Martínez VA. López C. Velasco VM. Lazo JG. Rincón CB. Cano P. 1998. Asthmatic exacerbations and environmental pollen concentration in La Comarca Lagunera (Mexico). *Rev Alergia Mex.* 45(4): 106 – 111
- Mazzitelli A. Grilli M. 2003. Cross-recognition of Fagaceae pollen allergen by IgE raised against allergen of *Cupressus arizonica* pollen. *Act Biol Cracoviensia S Bot.* 45(1): 115 – 118
- McCartur PS. Hughes CE. 1984. *Liquidambar styraciflua* L. – a species of potential or the tropics. *Commonwealth Forestry Review* 63: 207-216.
- McDonald IAW. Kruger FJ. Ferrar AA. 1986. Biological Invasions in Southern Africa. Cape Town: Oxford University Press. 324 pp.
- McVaugh R. 1984. Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico. Vol. 12. Compositae. University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Medina R. Ávila P. 1997. Flora del Valle de Tehuacán – Cuicatlán. Departamento de Botánica. Instituto de biología. UNAM

- Menzel A. Sparks TH. Estrella N. Koch E. Asas A. *et al.* 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol* 12: 1969–1976.
- Meza Vázquez MR. Espinosa Padilla SE. Orozco Martínez SE. Rosales M. Huerta López J. 1999. "Cambios en la sensibilidad a alérgenos intradomiciliarios y extradomiciliarios en la ciudad de México: estudio de 2000 niños a lo largo de 10 años". *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas*, 8(6): 160–164.
- Mitastein SM. 1962. Estudios ecológicos y edáficos en relación con el problema de la reforestación de la zona de Los Remedios, Mex. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 137 p.
- Molina RV. Valero M. Navarro Y. Guardiola JL. García- Luis A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*. 103: 361-379
- Moore PD. Webb JA. Collinson ME. 1991. Pollen analysis. Blackwell scientific Publication.
- Moreno-Socías E. Mejías JA. Díez MJ. 1994. Morfología polínica de Lactuceae (Asteraceae) en la Península Ibérica, *J. Lactuca*. L. y géneros relacionados. — *Acta Bot. Malac.*19: 103–113.
- Moreno-Grau S. Elvira-Rendueles B. Moreno J. García-Sánchez A. Vergara N. Asturias JA. Arilla MC. Ibarrola I. Seoane-Camba JA. Suárez-Cervera M. 2006. Correlation between *Olea europaea* and *Parietaria judaica* pollen counts and quantification of their major allergens Ole e 1 and Par j 1-Par j 2. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 96: 858–864
- Morfin BM. Flores I. Rosas-Alvarado A. Bautista M. López-López JR. 2009. Sensibilización a pólenes de la familia Oleaceae en un grupo de pacientes de la Ciudad de México. *Rev Alergia México*. 56: 198 – 203
- Nakajima Y. Susanto S. Hasegawa K. 1993. Influence of Water Stress in Autumn on Flower Induction and Fruiting in Young Pomelo Trees. *J. Japan . Soc. Hort. Sci.* 62: 15-20
- Navarro AM. Orta JC. Sánchez MC. Delgado J. Barber D. Lombardero M. 1997. Primary sensitization to *Morus alba*. *Allergy Net*. 52:1144-1145
- Nee M. 1983. *Casuarinaceae*. En: Sosa, V. (ed.). *Flora de Veracruz*. Fascículo 27. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México.
- Niederberger V. Purohit A. Oster JP. Spitzauer S. Valenta R. Pauli G. 2002. The allergen profile of Ash (*Fraxinus excelsior*) pollen: cross-reactivity with allergens from various plant species. *Clin Exp Allergy*. 32:933-941
- Nielsen BM. Paulsen BS. 1986. Allergens in Pollen from Mugwort (*Artemisia vulgaris* L.): II. Characterization of a Crude and a Partly Purified Extract of Mugwort Pollen with Particular Emphasis on the Glycoprotein Allergen Ag7. *Int Arch Allergy Immunol* 80:113–121
- Nilsson S. 1998. Preliminary inventory of aerobiological monitoring stations in Europe. *Aerobiologia* 7:225-232
- Nitiu DS. Mallo AC. Romero EJ. 2003. Quantitative aeropalynology in the atmosphere of Buenos Aires city, Argentina. *Aerobiologia* 19: 1 – 10
- Noetinger M. Romero EJ. Majas FD. 1994. Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires city: A preliminary report. Part II. Herbs, weeds (NAP) and spores. General discussion. *Aerobiologia*. 10:129 - 139

- Norris-Hill J. 1998. A method to forecast the start of *Betula*, *Platanus* and *Quercus* pollen seasons in North London. *Aerobiologia* 14:165 - 170.
- Obispo TM. Melero JA. Carpizo JA. Carreira J. Lombardero M. 1993. The main allergen of *Olea europaea* (Ole e 1) is also present in other species of the Oleaceae family. *Clin Exp Allergy* 23:311-316.
- Ocampo AG. 2003. Familia Buddlejaceae (Fascículo 115). In: Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Ed: Rzedowski J. y Rzedowski. Instituto de Ecología, A.C., Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. 35 p.
- Oh JW. Lee HB. Kang IJ. Kim SW. Park KS. Kook MH. Kim BS. Baek HS. Kim JH. Kim JK. Lee DJ. Kim KR. Choi YJ. 2012. The Revised Edition of Korean Calendar for Allergenic Pollens. *Allergy Asthma Immunol Res.* 4:5-11.
- Olivé M. 2011. Estudio aeropalinológico de Chapultepec, Cd. de México: variación espacio- temporal y efectos en la salud. Tesis de Licenciatura. UNAM. 187 pp.
- Olivera L. Fonseca RM. 1998. Flora palinológica de Guerrero. Anacardiaceae.No.7 En: Flora palinológica de Guerrero. Las prensas de ciencias. 66 pp.
- Ong EK. Singh MB. Knox RB. 1995. Seasonal distribution of pollen in the atmosphere of Melbourne: an airborne pollen calendar. *Aerobiologia* 11: 51-55
- Ontiveros R. López Sánchez M. Cerino Javier R. García Caballero R. 1995. Aeroalergénos detectados por pruebas cutáneas en niños con alergia respiratoria (asma y rinitis), del sur de la Ciudad de México. *Alergia Inmunol Ped* 4:112-116.
- Orozco MA. 2007. Estado de conservación de un bosque urbano en la Ciudad de México. Tesis Profesional. Licenciatura en Planificación para el Desarrollo Agropecuario, Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM. México. 113 pp
- Pacini E. Hesse M. 2005. Pollenkit- its composition, forms and functions. *Flora*: 200: 399–415.
- Palacín A. Rivas LA. Gómez C. Aguirre J. Tordesillas L. Bartra J. Blanco C. Carrillo C. Cuesta J. Cumplido JA. Flores E. García MG. García I. Fernández FJ. Gamboa P. Muñoz R. Sánchez R. Torres M. Varela S. Villalba M. Vega F. Blanca M. Salcedo G. Díaz A. 2012. The Involvement of Thaumatin-Like Proteins in Plant Food Cross-Reactivity: A Multicenter Study Using a Specific Protein Microarray. *PLoS ONE* 7(9): e44088.
- Papanikolaou I. Barderas R. Thibaudon M. Pauli G. 2005. Ash tree pollinosis: botanical aspects, description of allergens and cross-reactivities. *Rev Fr Allergol Immunol Clin.* 45:395-405
- Parantainen A. Pulkkinen P. 2003. Flowering and airborne pollen occurrence in a *Pinus sylvestris* seed orchard consisting of northern clones. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18:111-117.
- Parrota J. 1993. *Casuarina*, Australian pine: *Casuarinaceae*. *Casuarina* family. Forest Service. International Institute of tropical. Forestry. 11 pp.
- Pathirane L. 1975. Graphical determination of the main pollen season. *Pollen and Spores* 17, 609–610.
- Peeters AG. 2000. *Ambrosia* sp. pollen in Switzerland. *Aerobiologia*. 16:295-297
- Peternel R. Srncic L. Culig J. Hrga I. Hercog P. 2006. Poaceae pollen in the atmosphere of Zagreb (Croatia), 2002 – 2005. *Grana*. 45: 130 – 136
- Pennington TD. Sarukán J. 1998. Árboles Tropicales de México. Segunda edición. UNAM - Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

- Peña NM, López-Pérez G, Huerta-López JG. 1998. Calendarización de síntomas agudos de asma crónica y su correlación con aeroalergenos. *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas* 7: 60 – 66
- Pérez M. Ishioka GY. Walker LE. & Chesnut RW. 1990. cDNA cloning and immunological characterization of the rye grass allergen Lol p I. *J. Biol. Chem.* 265 (27), 16210-16215
- Pérez R. Rapp A. Morales C. Sardinero S. Galán C. García Mozo H. 2010. Pollen spectrum and risk of pollen allergy in Central Spain. *Ann Agric Environ Med.* 17: 139 – 151
- Perry TO. 1971. Dormancy of trees in winter. *Science* 171:29-36.
- Piccini L. Zanchetta G. Drysdale RN. Hellstrom J. Isola I. Fallick AE. Leone G. Doveri M. Mussi M. Mantelli F. Molli G. Lotti L. Roncioni A. Regattieri E. Meccheri M. Vaselli L. 2008. The environmental features of the Monte Corchia cave system (Apuan Alps, central Italy) and their effects on speleothem growth. *Int. J. Speleol.* 37: 153–172.
- Pico de Coaña Y. Parody N. Fernández-Caldas E. & Alonso C. 2010. A Modified Protocol for RNA Isolation from High Polysaccharide Containing *Cupressus arizonica* Pollen. Applications for RT-PCR and Phage Display Library Construction. *Mol Biotechnol* 44:127–132
- Poitrowska K. 2012. Meteorological Factors and Airborne *Rumex* L. Pollen Concentration in Lublin. *Acta Agrobotanica.* 65:45-52
- Poerwanto R. Inoue I. 1990. Effects of Air and Soil Temperatures in Autumn on Flower Induction and Some Physiological Responses of Satsuma mandarin J. *Japan. Soc. Hort. Sci.* 59:207-214.
- Poncet P. Senechal H. Clement G. Purohit A. Sutra JP. Desvaux FX. Wal JM. Pauli G. Peltre G. Gougeon ML. 2010. Evaluation of ash pollen sensitization pattern using proteomic approach with individual sera from allergic patients. *Allergy* 65: 571–580
- Potter PC. Cadman A. 1996. Pollen allergy in South Africa. *Clin Exp Allergy.* 26: 1347 – 1354
- Porsbjerg C. Rasmussen A. Backer V. 2003. Airborne pollen in Nuuk, Greenland, and the importance of meteorological parameters. *Aerobiología* 19:29-37.
- Port A. Hein J. Wolff A. Bilory L. 2006. Aeroallergen prevalence in the northern New Jersey–New York City metropolitan area: a 15-year summary. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 96:687–691.
- PUEC-UNAM, DGUBUEFA-SMA. 2002. Proyecto Ejecutivo para la Implementación del Manejo Integral y Desarrollo Autosostenible del Bosque de Chapultepec. Reporte de uso interno. 142 pp.
- Ramírez E. Melchor-Sánchez JE. Martínez Hernández E. y Lozano García S. 1995. Análisis de polen y fungosporas de la atmósfera en el sudoeste de la Ciudad de México, durante el segundo semestre de 1988. In: *Implicaciones Evolutivas. Investigaciones Recientes en paleobotánica y palinología. Publicación Especial, Serie Arqueología, I.N.A.H.* p.155-169
- Recio M. 1995. Análisis polínico de la atmósfera de Málaga (1991-1994). Relación con los parámetros meteorológicos. Tesis. Universidad de Málaga, España.
- Recio M. Trigo MM. Toro FJ. Cabezudo B. 1996. Caracterización del contenido polínico invernal de la atmósfera de Málaga. *Acta Botánica Malacitana* 21:65-70.
- Recio M. Trigo MM. Toro FJ. Cabezudo B. 1998. Incidencia del polen de *Amaranthaceae* en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Botánica Malacitana* 23.121-131.

- Reiche C. 1963. Flora excursoria en el Valle Central de México. Instituto politécnico Nacional. Editorial politécnica
- Rizzi L. Pizzulin ML. Stravisi F. Ganis P. 2007. Airborne pollen calendar for Trieste (Italy), 1990-2004. Grana 46: 98 – 109
- Ring J. Kramer U. Behrendt H. 2002. A critical approach to the hygiene hypothesis. Clin Exp Allergy Rev.4 (Suppl 2):40-44.
- Rivas M. 1994. Alergia a frutas de la familia Rosaceae y polinosis. Estudio de alergenicidad y comunidad alérgica. Tesis Doctoral. Departamento de medicina. Universidad de Alcalá. España
- Ritchie JC. Lichti- Federovich S. 1967. Pollen Dispersal Phenomena in Artica-Subartica Canada. Review of Palaeobotany and Palynology. 3: 255-266
- Rizzardo RAG. Milfont MO. Da Silva EMS. Freitas B. 2012. *Apis mellifera* pollination improves agronomic productivity of anemophilous castor bean (*Ricinus communis*). An Acad Bras Cienc 84: 1137-1145
- Rizzi-Longo L. Pizzulin-Sauli M. Stravisi F. Ganis P. 2007. Airborne pollen calendar for Trieste (Italy), 1990-2004. Grana 46:98-109
- Rocha A. Alvarro MA. Torres TE. Foroughbakhch R. 2008. Principales tipos polínicos presentes en el aire de la zona norte del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Ciencia UANL 11(1): 69-76.
- Rodríguez R. Villalba M. Batanero E. González EM. Monsalve RI. Huecas S *et al.* 2002. Allergenic diversity of the olive pollen. Allergy 57 (suppl 71):6-16
- Rodríguez SLM. Cohen FEJ. 2003. Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México. REMUCEAC-GDF-UAM. D.F. México. 380 p.
- Rodríguez D. Sánchez-Reyes E. Sánchez-Sánchez J. 2012. Analysis of Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. Turk J Bot 36: 336-343
- Rojas VG. Roure JM. 2001. Atmospheric pollen in Santiago, Chile, Grana, 40:3, 126-132
- Romano B. Mincigrucci C. Frenguelli G. Bricchi E. 1988. Airborne pollen content in the atmosphere of central Italy (1982-1986). Short communication. Cell Mol Life Sci. 625 – 626
- Rosales LJ. Análisis aeropalinológico anual del norte de la Ciudad de México, implicaciones en la contaminación ambiental y la alergología. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1985
- Roubik D. Moreno JE. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Panama. 268 pp.
- Roulston TH. Cane JH. Buchmann SL. 2000. What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen pistil interactions or phylogeny? Ecological Monographs 70:617–643.
- Roure JM. 1985. Palinología Ibérica. Fam. 1 a 20. Cupressaceae a Betulaceae. Orsis 1:43-69
- Ruffin J. Liu Myg. Sessoms R. Banerjee S. Banerjee UC. 1998. Effects of certain atmospheric pollutants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO) on the soluble amino acids, molecular weight and antigenicity of some airborne pollen grains. Cytobios 46:119-129
- Rusznak C. Devalia JL. Daviers RJ. 1994. The impact of pollution on allergic disease. Allergy 49:21-27
- Rzedowski J. 1981. La vegetación de México. Limusa, México, D.F. 342 p.
- Rzedowski J. Rzedowski CG. 1998. Dos especies de *Ambrosia* (Compositae, Heliantheae) Advertencias en el Centro de México. Acta Botánica Mexicana 43:57-66

- Rzedowski GC. Rzedowski J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski GC. Rzedowski J. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.
- Rzedowski GC. Rzedowski J. 2005b. Flora del Bajío y zonas adyacentes. Rosaceae. Fascículo 135.
- Salazar L. 1995. Estudio anual de polen atmosférico en la zona sur de la Ciudad de México. Tesis
- Salazar MM. 1940. Estudio de los pólenes de la atmósfera de la Ciudad de México. Rev Soc Mex Hist Nat. 1:147-164
- Salazar F. Herb F. Sewell H. Shakib F. Ghaemmaghami AM. 2013. The role of lectins in allergic sensitization and allergic disease. J Allergy Clin Immunol. 132:27-36
- Salvi SS. Frew A. Holgate S. 1999. Is diesel a cause for increasing allergies? Clin Exp Allergy 29:4-8
- Sánchez-Del Pino I. Flores Olvera H. Valdés J. 1999. Familia Amaranthaceae en la Flora Halófila y Gipsófila de México. Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica. 70:29-135
- Sáenz C. Gutiérrez M. 1983. El contenido polínico de la atmósfera de Madrid. Anales Jard. Bot. Madrid 39(2): 433-463
- Sanz JM. Martín M. Reyes E. Martín AP. 2013. Células Presentadoras de Antígeno. Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. 11: 1720-1727
- Scott W. 1990. Estimating and testing the shapes of adaptative surfaces: the morphology and Pollination of *Dalechampia blossoms*. The American Naturalist. Vol 135:1. pp. 14-31
- Shukla AK. Vijayaraghavan MR. Chaudhry B. 1998. Biology of pollen. APH Publishers. New Dheli. 133 pp.
- Sienna JLL. Lerma L. del Río-Navarro BE. Avila L. Montejo M. 2000. Determinación de hipersensibilidad inmediata a pólenes en pacientes alérgicos del Distrito Federal. Rev Alergia México 47: 3 – 11
- Singh AB. 1987. Airborne pollen type of allergenic significance in India. Advances in Aerobiology. (Experientia), Birkhauser, Basel 5:61-64
- Singh AB. Kumar P. 2004. Aerial pollen diversity in India and their clinical significance in allergic diseases. Ind J Clin Bioch. 19:190-201.
- Steinmann VW. 2005. Urticaceae. Flora del Bajío y Zonas Adyacentes. Fascículo 134. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío.
- Steerenberg VAN. Amsterdam JCG. Vandebriel RJ. Bos JG. Bree L van. Loveren H van. 1999. Environmental and lifestyle factors may act in concert to increase the prevalence of respiratory allergy including asthma. Clin Exp Allergy 29(10): 1304-1308
- Sofiev M. Bergmann KC. 2012. Allergic Pollen: A review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts. Springer. 247 pp.
- Solano E. Ayala MM. 2008. 'Polygonaceae'. Universidad nacional autónoma de México, 2008.
- Solomon WR. Burge HA. Muilenberg ML. 1983. Allergen carriage by atmospheric aerosol. I. Ragweed pollen determinants in smaller micronic fractions. J Allergy Clin Immunol 72:443-447.

- Southwick SM. Davenport TL. 1986. Characterization of Water Stress and Low Temperature Effects on Flower Induction in *Citrus*. *Plant Physiol.* 81: 26-29.
- Spieksma F. Charpin H. Nolard N. Stix E. 1980. City spore concentrations in the European Economic Community (EEC) IV. Summer weed pollen (*Rumex*, *Plantago*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia*), 1976 and 1977. *Clinical & Experimental Allergy* 10: 319–329
- Spieksma FTHM. Frenguelli G. Nikkels AH. Mincigrucci G. Smithvis LOMJ. Bricchi E. Dankart W. 1989. Comparative study of airborne pollen concentrations in Central Italy and the Netherlands, 1982-1985. *Grana* 28: 25-36.
- Spieksma FTHM. 1991. Regional European pollen calendars. In: *Allergenic pollen and pollinosis in Europe* (D'Amato G, Spieksma FThM, Bonini S, Eds.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 49-65.
- Spieksma FTHM. Corden JM. Detandt M. Millington WM. Nikkels H. Nolard N. *et al.* 2003. Quantitative trends in annual totals of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, *Poaceae*, *Urtica* and *Artemisia*), at five pollen monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia.* 19: 171 – 184
- Suárez MJ. 2007. Pólenes de árboles alergénicos en México, distribución inmunoquímica y frecuencia de sensibilización. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Subiza J. 2004. Papel de la polución en el incremento de la polinosis. *Patología alérgica en atención primaria. Salud Rural.* 21
- Subba C y Reddi NS. 1986. Pollen production in some anemophilous angiosperms. *Grana* 25:55-61.
- Taiz L. Zeiger E. 2010. *Plant Physiology.* 5a ed. Sinauer Associates, Incorporated. 782 pp.
- Tabarez C. Córdoba SL. Herrera JJ. Miranda AJ. 1996. Alergenos más frecuentes causantes de sensibilización respiratoria. *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas* 5: 152 – 154
- Tamarcaza P. Lambeletb C. Clotc B. Keimerd C. Hausera C. 2005. Ragweed (*Ambrosia*) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion? *SWISS Med WKLY* 135:538-548
- Taylor G. 2002. *Populus*: Arabidopsis for forestry. Do we need a model tree? *Annals of Botany.* 90:681-689
- Terán LM. Haselbarth MN. Quiroz L. 2009. Alergia, granos de polen y medio ambiente. *Gac Méd Méx.* 145 (3):215-222.
- Tejera L. Beri A. 2005. First volumetric airborne pollen sampling in Montevideo City, Uruguay. *Aerobiologia* 21: 33 – 41
- The American Heritage Dictionary of the English Language. 2000. *Aerobiology.* Houghton Mifflin Company.
- Theran LM. Noso N. Carroll M. Davies DE. Holgate ST. Schröder J. 1996. Eosinophil recruitment following endobronchial allergen challenge is associated with the release of RANTES into asthmatic airways. *J Immunol* 157:1806-1812.
- Toader V.A., Moldovan I.C., Sofletea N., Abrudan I.V., Curtu A.L. 2009. DNA Isolation and Amplification In Oak Species (*Quercus* spp.). *Bulletin of the Transilvania University of Brasov.* 2:51. Serie II
- Todzia CA. Panero JL. 1998. A new species of *Ulmus* (Ulmaceae) from southern Mexico and a synopsis of the species in Mexico. *Brittonia* 50: 343-347.

- Torres- Valdós JE. 2006. Determinación de los agentes principales de polinosis en la Ciudad de México. Tesis
- Torrey JG. Berg RH. 1988. Some morphological features for generic characterization among the *Casuarinaceae*. *Amer J Bot.* 75(6): 864 – 874
- Trigo MM. Jato V. Fernández D. Galán C. 2008. Atlas aeropalinológico de España. Universidad de León, Secretariado de Publicaciones. España. pp 175
- Tovar de TL. 1982. Estudio descriptivo de los árboles y arbustos más comunes del Bosque de Chapultepec. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 153 pp.
- Turnbull JW. 1983. The use of *Casuarina equisetifolia* for protection forests in China. En: Midgley, S.J., Turnbull, R.D., Johnston, R.D., eds. *Casuarina ecology, management and utilization: Proceedings of a workshop*, 1981 August 17-21, Canberra, Australia. Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization: 55-57.
- Valdés J. Dávila PD. 1995. Clasificación de los géneros de gramíneas (Poaceae) mexicanas. *Act Bot Mex.* 33: 37 – 50
- Valencia S. Cartujano SL. 2002. *Quercus pinnativenulosa* (Fagaceae), un encino poco conocido de la Sierra Madre Oriental *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 73(1): 89-94. 2002
- Valiente JI. Albrigo GL. 2004. Flower Bud Induction of Sweet Orange Trees (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck): Effect of Low Temperatures, Crop Load, and Bud Age. *J. Amer.Soc. Hort. Sci.* 129(2):158-164.
- Vanden Broeck A. Cox K. Quataert P. Van Bockstaele E. Van Slycken J. 2003. Flowering Phenology of *Populus nigra* L., *P. nigra* cv. *italica* and *P. x canadensis* Moench. and the Potential for Natural Hybridization in Belgium. *Silvae Genetica* 52:5-6
- Van Vliet AJH. Overeem A. de Groot RS. Jacobs AFG. Spieksma FTM. 2002. The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlanders. *International Journal of Climatology*, 22: 1757-1767
- Vargas JB. Sánchez L. Farfán JA. Noguchi H. Moguel MT. Vargas de la Peña MI. 1991. Allergological study of pollen of mango (*Magnifera indica*) and cross reactivity with pollen of piru (*Schinus molle*). *Alergia*: 38(5):134-138]
- Vázquez CAI. Batis MMI. Alcocer SM. Gual D. Sánchez D. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/introd-J084.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/introd-J084.html) (10 de octubre de 2008).
- Vergamini SM. Duso L. de Antoni Zopas BC. Fernández –González D. Valencia –Barera RM. 2007. Airborne pollen calendar of Caixas do Sul (Rio Grande do sul, Brazil), 2001-2002. *Polen* 17: 51-65
- Villalba M. Batanero E. Monsalve R. Gonztitez de la Peña MA. Lahoz C. Rodríguez R. 1994. Cloning and Expression of Ole e 1, The Major Allergen from Olive tree pollen. *The Journal of Biological Chemistry* 21: 15217-15222.
- Villarreal QJA. 1983. Malezas de Buenavista, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Villaseñor RJL. Espinosa GFJ. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.

- Vrtala S. Grote M. Duchêne M. vanRee R. Kraft D. Scheiner O. Valenta R. 1993. Properties of Tree and Grass Pollen Allergens: Reinvestigation of the Linkage between Solubility and Allergenicity. *Int Arch Allergy Immunol* 102:160–169
- Waisel Y. Meinis Z. Geller C. 2003. Pollen induced allergy: What is the partial contribution of individual species? Third European Symposium on Aerobiology (TESA) Worcester UK Abstracts, pp. 68-69.
- Weber RW. 2001. Cross-Reactivity of Plant and Animal Allergens. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*. 21: 153-202
- Weryszko E. Piotrowska K. 2004. Airborne pollen calendar of Lublin, Poland. *Ann Agric Environ Med*. 11(1): 91 – 97
- Williams G. Adam P. 2010. The flowering of Australia's rainforest. A plant and pollination miscellany. Collingwood, Australia: CSIRO Publishing. p. 102
- Williams RH. Ward E. McCartney HA. 2001. Methods for integrated air sampling and DNA analysis for detection of airborne fungal spores. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2453–2459.
- Wilson J. 2003. Flowering ecology of a Box–Ironbark Eucalyptus community. Ph.D. thesis, School of Ecology and Environment, Deakin University. Australia.
- Wolters JHB. Martens JM. 1987. Effects of Air Pollutants on Pollen. *The Botanical Review*. 53: 372-414
- Williams & Adam. 2010. The flowering of Australia's rainforests: a plant and pollination miscellany. CSIRO Publishing. Collingwood, Vic. 200 pp.
- Womack AM. Bohannann BJM. Green JL. 2010. Biodiversity and biogeography of the atmosphere. *Philos Trans R Soc* 365: 3645–3653.
- Yan W. Wallace DH. 1996. A model of photoperiod X temperatura interaction effects on plant Development. *Critical Reviews in Plant Science*. 15: 63-96
- Yang C. Song J. Marshal A. Bradley G. Wilson ZA. 2009. Establishing regulatory models for anther endothecium development and the regulation of dehiscence. En: 20th International Conference on Arabidopsis Research-Edinburgh, UK 2009.
- Zamudio S. Carranza E. 1994. Flora del Bajío y Zonas Adyacentes: Cupressaceae. Fascículo 29.
- Zapata YC. Solarte A. Calle Z. Murgueito E. El sauce: una especie autóctona con múltiples aplicaciones en los sistemas silvopastoriles. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav). Carta Fedegán N.º 112.
- Zavada M. Dilcher DL. 1986. Comparative morphology and phylogeny of pollen of the Hamamelidae. *Ann. Mo. Bot. Gard.*, 73: 348-381.
- Zuo X. Woo PTK. 1997. Proteases in pathogenic and nonpathogenic haemoflagellates, *ryptobia* spp. (Sarcomastigophora: Kinetoplastida), of fishes. *Dis Aquat Org* 29: 57-65.

### Fuentes electrónicas:

1. Allaby M. "pollen rain". A Dictionary of Ecology. 2004. Encyclopedia.com. 18 Nov. 2011 <<http://www.encyclopedia.com>>.
2. Asteraceae. CONABIO. 2008. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/catalogo\\_autoridades/doctos/asteraceae.html](http://www.conabio.gob.mx/informacion/catalogo_autoridades/doctos/asteraceae.html). Recuperado el 30 de enero de 2013
3. URL *Artemisia* <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/Artemisia-ludoviciana/ficha.htm>. Recuperado 30/10/12
4. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7823>

5. Botanical-online, 1999-2010. El mundo de las plantas. <http://www.botanical-online.com/polinizacion.htm>. recuperado el 13/09/10
6. Bosque de Chapultepec. Página principal. Disponible en: [http://www.sma.df.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=28](http://www.sma.df.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=28)
7. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf)
8. CONABIO. 2002. Especies nativas valiosas para la reforestación. *Schinus molle*. 24-27 pp.
9. Disponible en:
10. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/3anaca4m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/3anaca4m.pdf) (15 de agosto de 2008).
11. CONABIO. *Alnus* spp. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf)
12. CONABIO *Amaranthaceae* spp. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/amaranthaceae/amaranthus-muricatus/fichas/ficha.htm#5>. Biología y ecología.
13. CONABIO. Ficha de *Artemisia ludoviciana*. Disponible en:
14. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/Artemisia-ludoviciana/fichas/ficha>.
15. CONABIO. Ficha de *Pinus cembroides*. Disponible en:
16. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/55-pinac2m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/55-pinac2m.pdf)
17. CONABIO. Ficha de *Plantago major*. Disponible en:
18. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/plantaginaceae/plantago-major/fichas/ficha.htm>
19. CONABIO. Ficha de *Psidium guajava* en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/52-myrrta3m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/52-myrrta3m.pdf)
20. CONABIO. Ficha técnica para *Salix humboldtiana*, disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/63-salic1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/63-salic1m.pdf)
21. Fideicomiso Probosque de Chapultepec. <http://www.chapultepec.org.mx/web2010/chapultepec/1secc/numeralia.php>. Recuperado el 10/04/2012
22. Fernández E. Galván A. 27. Métodos para la cuantificación de proteínas. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales, Córdoba <http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/27%20M%C3%89TODOS%20PARA%20LA%20CUANTIFICACI%C3%93N%20DE%20PROTE%C3%8DNAS.pdf>
23. IAA (International Aerobiology Association) <http://sites.google.com/site/aerobiologyinternational/home> recuperado el 24/11/2011
24. INEGI (2011). Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en cifras. Miguel Hidalgo, Distrito Federal. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=09>.
25. Marcano, JE. 2006. Contaminantes Atmosféricos. Educación ambiental. Recuperado el 13/02/2008 en: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2a.html>
26. Messeguer A. 2008. [http://alergomurcia.com/pdf2008/patrones\\_de\\_alergenicidad\\_cruzada\\_a\\_polenes\\_como\\_guia\\_para\\_formulacion\\_de\\_inmunoterapia\\_con\\_extractos\\_alergenic.pdf](http://alergomurcia.com/pdf2008/patrones_de_alergenicidad_cruzada_a_polenes_como_guia_para_formulacion_de_inmunoterapia_con_extractos_alergenic.pdf)

27. Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2006a. Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec. In: Memorias. Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección de Educación Ambiental. 59-113 pp. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=406> (28 de junio de 2011).
28. Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2006b. Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección de Chapultepec e inventario total de su arbolado. Informe final. Disponible en: [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/informefinal\\_2a\\_secc\\_bch.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/informefinal_2a_secc_bch.pdf) (28 de junio de 2011).
29. Germoplasm Resources Information Network (GRIN). 2000. *Schinus molle* L. National Genetic Resources Program, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. Beltsville, Maryland, U. S. A. Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?70668> (15 de enero de 2009).
30. Plantago <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/plantaginaceae/plantago-lanceolata/fichas/ficha.htm> Recuperado 7/11/12
31. Plantago lanceolata [http://www.canal-medicina.es/medicina\\_natural/029\\_plantago\\_lanceolata\\_plantas\\_medicinales\\_01.htm](http://www.canal-medicina.es/medicina_natural/029_plantago_lanceolata_plantas_medicinales_01.htm)
32. Plantago lanceolata flor [http://www.clopotel.ro/enciclopedia/O\\_P\\_Patlagina\\_Ingusta-794.html](http://www.clopotel.ro/enciclopedia/O_P_Patlagina_Ingusta-794.html)
33. Pollen library: [www.pollenlibrary.com](http://www.pollenlibrary.com). Recuperado el 15/09/2010
34. Philip HQ. [http://www.spirxpert.com/brresresp/particle\\_deposition.htm](http://www.spirxpert.com/brresresp/particle_deposition.htm). Recuperado el 22 de marzo del 2012.
35. *Ricinus*: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/Ricinus-communis/fichas/ficha.htm> Recuperado 25/10/12
36. *Rumex*: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/polygonaceae/Rumex-acetosella/fichas/ficha.htm> Recuperado 25/10/12
37. Salix: <http://uruguay1.blogspot.mx/2006/10/humboldts-willow-sauce-criollo-salix.html>
38. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=27&id=17>. Recuperado el 25 de noviembre de 2011
39. Sigma-Aldrich: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/C2272?lang=es&region=MX>
40. <http://plantasdemexico.blogspot.mx/2012/04/latila-pertenece-la-familia-de-las.html>
41. Uherek E. 2004. Clouds, Aerosol. Recuperado el 23/06/09 de: [http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Climate\\_in\\_brief/-\\_Clouds\\_\\_Aerosol\\_\\_oo.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Climate_in_brief/-_Clouds__Aerosol__oo.html) MPI for chemistry, Mainz. last published: 2004-06-11
42. *Ulmus* mexicana. Ficha técnica No. 19. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a0008s/a0008s91.pdf>
43. <http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Ulmus/index.htm>
44. Populus: <http://californiaflores.blogspot.mx/2012/08/signatura-de-las-flores-de-bach.html>
45. <http://www.escuelapedia.com/la-reproduccion-de-las-plantas/>

## **Anexo 1**

### **Medio de impacto:**

Preparación del Fluido de Silicona 3%:

Se dejó reposar un frasco Pyrex de 250ml con 7.5 g de grasa de silicona durante 24 horas a temperatura ambiente.

Se agregaron 100 ml de tetracloruro de Carbono como solvente, al frasco con silicona, tapándolo. Posteriormente, se realizaron 5 ciclos (agitación por 5 minutos, y dos horas de reposo). Se repitió el proceso después de 24 horas

Se Agregaron 150ml y se repite el proceso de agitación. Finalmente se dejó reposar durante 2 días antes de su utilización.

### **Medio de Montaje:**

Preparación de glicerogelatina (200ml):

100ml de glicerina

14 gr de gelatina (bloom 80-100) Panreac química S.A.U. España

2 g de fenol

Una pizca de fucsina básica

Se calentó el agua a 60° C aproximadamente en un frasco PYREX de 250 ml, posteriormente se agregó la gelatina para su dilución y se agitó con un abatelenguas de madera. Una vez que se ha diluido por completo, se agregó la glicerina. Todavía caliente, se llevó a la campana de flujo laminar, donde se agregó el fenol, manteniendo la agitación. Finalmente se dejó solidificar a temperatura ambiente.

Para su utilización en el montaje, se llevó a 60-70°C para que tomara una consistencia semilíquida.

**Anexo 2. Programa de Conteo Polínico:** Se realiza el registro del conteo polínico y se exporta a Excel

The screenshot shows the 'Contabilización de Polen' application interface. The main window is divided into several sections:

- Header:** 'Contabilización de Polen', 'Exportar', 'Importar', 'Configuración'.
- (1) Localidad y fecha:** Includes dropdowns for 'Localidad' (Chapultepec) and 'Fecha' (lunes, 02 de enero de 2012).
- (2) Atajos de captura:** A table listing pollen types and their corresponding capture codes.
- (3) Captura de datos:** Includes 'Hora' (00) and 'Transecto' (1) dropdowns, a large empty grid for 'Tipos polínicos capturados', and a 'Guardar' button.
- (4) Datos capturados:** A grid showing recorded data for 23 hours across 4 transects.
- Subconteo tipos polínicos:** A table for recording pollen types per transect.
- Detalle (transecto1, hora:0):** A table for recording pollen types per transect and hour.

Annotations with blue arrows:

- Localidad:** Points to the 'Localidad' dropdown menu.
- Fecha:** Points to the 'Fecha' field.
- Hora y transecto:** Points to the 'Hora' and 'Transecto' dropdown menus.
- Tipos polínicos:** Points to the 'Tipos polínicos capturados' grid and the 'Subconteo tipos polínicos' table.
- Datos horarios:** Points to the 'Datos capturados' grid.

Tipo Pol.	Atajo Cap.
A	2
C	1
F	0
G	6
Li	3
M	8
My	4
P	5
Q	9
Ro	7

Transecto	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Localidad: Chapultepec

Día: 1

Mes: MAYO

Año: 2012

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		P 1	C 1 My 1 P 1 Q 1 Sch 1	P 2	Sch 1	G 1 P 1 Sch 1 Ur 1	My 1		P 1	P 1		
2		P 1	Lg 1 Q 1			My 1 P 1	Sch 2	Ru 1	P 1	C 1 G 1 P 1	P 1 Sch 1	
3		My 1	Sch 1	Sch 1		Sch 1	Mi 1 My 1 P 1 Q 1		Sch 2 Q 1 Ur 1	My 1	A 1	C 1 P 1
4	My 1	My 1 P 1	P 1	My 1			Cms 1 Q 1 Sch 1				C 2 Q 1	

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1		Lg 1	P 1	P 2 G 1		P 1	G 1 Sch 1		C 1 F 1	P 7 Q 3 My 1	Sch 3 P 2 F 1	P 3 C 1
2		P 1 Q 1 Ro 1	P 1		My 4 P 1	P 2 Sch 1	P 2 Sch 2	P 3 Sch 3 Q 2 C 1 F 1 G 1 My 1	P 6 Sch 2 C 1 G 1 Q 1	P 5 Sch 2	P 5 Sch 1	P 5 Sch 2 Q 1
3	P 2 G 1 Sch 1	P 2 C 1	P 2	P 1	P 1	P 1 Sch 1	P 2 Sch 1	Q 2 Car 1 M 1 P 1	P 2 Q 2 Sch 2	P 1 Q 1 Sch 1		P 3 Q 1
4			P 1 Q 1 Ro 1	Q 1	Sch 2		Ch 1 G 1 M 1 Sch 1	F 1	Q 2 F 1 P 1	P 2 F 1 M 1 Sch 1	Sch 2 P 1	P 2

**Anexo 3. Hojas obtenidas de los datos polínicos:** contiene los conteos netos de tipos polínicos por hora y por barrio. Etiquetado con localidad y fecha. Después de esto, se realiza el concentrado semanal.

**Anexo 4. Hoja de concentración semanal de datos:** Concentra los conteos polínicos diarios durante una semana de muestreo, contiene los datos de la estación, las fechas de la semana, el factor de corrección (por el que deben multiplicarse los datos antes de introducirlos a la base de datos) y los tipos polínicos encontrados en esa semana.

Factor de corrección: 0.94

Semana del 30/07 al 06 de agosto del 2012

Estación Ctapattepec (Ct+Al)

Tipo polínico	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
✓ Alnus	1	1	1	1	1	1	2
Ambrosia			2			1	1
Artemisa							
✓ Casuarina	1		2	1		3	2
✓ Chen/Amaranth	5	1			1		4
Citrus							
Cm Anthemidae			3	1	1		
Cm Heliantus							
Cm Senecio		1				2	
Corylus			1				
✓ Cupressaceae	12	10	2	4	10	8	6
✓ Fraxinus		6	11	5	2	2	3
✓ Ligustrum	1	2			1	1	
✓ Morus	6	2		1		6	
✓ Myrtaceae	25	15	9	17	15	31	61
✓ Pinus	27	88	41	60	118	71	85
✓ Poaceae	3	8	2	2	7	7	1
✓ Quercus	20	24	18	19	47	22	38
✓ Ricinus	1			1			
✓ Rosaceae	4	2	7	7			1
✓ Salix	2		2	2	1		1
✓ Schinus	30	41	20	11	44	20	23
✓ Urticaceae	4	2	1	2	3	7	3
Umbellales	1						
Nyctag	1						
Malvales		2	1	1			1
Caryo		1			1	1	
Rubex		1			1	1	1
Arctiales				2		2	1
Buadiala				1		1	
Fagus					2		1
Plantago					2	1	6
Liquidam						1	1
totales	195	227	163	140	257	195	244

**Anexo 5.** Listado de especies vegetales presentes en el Bosque de Chapultepec, de acuerdo a su familia (Guerrero, 1997; GDFa, 2006; INIFAP, ProBosque de Chapultepec, 2008; Olivé, 2012).

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Acer negundo</i>	Arce	Aceraceae
<i>Acer negundo var. mexicana</i>	Arce	Aceraceae
<i>Yucca elephantipes</i>	Yuca pie de elefante	Aceraceae
<i>Yucca sp.</i>	Yuca	Aceraceae
<i>Amaranthus hybridus</i>	Amaranto, cenizo	Amaranthaceae
<i>Iresine celosía</i>	<i>Tlantcuayin</i>	Amaranthaceae
<i>Iresine heterophylla</i>	Iresine	Amaranthaceae
<i>Bomarea hirtella</i>	Coyolxóchitl	Amaryllidaceae
<i>Hypoxis mexicana</i>	Pasto amarillo	Amaryllidaceae
<i>Schinus molle</i>	Pirul	Anacardiaceae
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pirul de Brasil	Anacardiaceae
<i>Annona cherimola</i>	Chirimoya	Annonaceae
<i>Nerium oleander</i>	Rosa laurel	Apocynaceae
<i>Vinca minor</i>	Brusela, vinca	Apocynaceae
<i>Aralia shefflera</i>	Aralia	Araliaceae
<i>Hedera helix</i>	Hiedra comun	Araliaceae
<i>Oreopanax peltatus</i>	Orepapax	Araliaceae
<i>Oreopanax xalapensis</i>	Mano de leon	Araliaceae
<i>Cocus nucifera</i>	Palma cocotera	Arecaceae
<i>Phoenix canariensis</i>	Palma canaria	Arecaceae
<i>Sabal mexicana</i>	Palma sabal, palmito Mexicano	Arecaceae
<i>Washingtonia robusta</i>	Palmera	Arecaceae
<i>Ambrosia psilostachya</i>	Ambrosía, Artemisa perenne, cicuntillo, hierba amargosa	Asteraceae
<i>Baccharis salicifolia</i>	Mula grasa o batamote	Asteraceae
<i>Baccharis thesioides</i>	Escobilla	Asteraceae
<i>Bidens odorata</i>	Aceitilla	Asteraceae
<i>Bidens aurea</i>	Té de milpa	Asteraceae
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	Crisantemo, manzanilla dulce	Asteraceae
<i>Chrysanthemum parthenium</i>	Manzanillo	Asteraceae
<i>Conyza bonariensis</i>	Cola de caballo	Asteraceae
<i>Conyza canadensis</i>	Crisantemo, hierba de caballo, erigerón	Asteraceae
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Cosmos	Asteraceae
<i>Dhalia coccínea</i>	Dalia roja	Asteraceae
<i>Dugesia mexicana</i>	Alchicolia, yerba del puerco	Asteraceae
<i>Erigeron delphinifolius</i>	Cabezuela	Asteraceae
<i>Erigeron longipes</i>	Chalchuán, pata de león	Asteraceae
<i>Galinsoga parviflora</i>	Estrellita, manzanilla silvestre	Asteraceae
<i>Gnaphalium arizonicum</i>	Gordolobo	Asteraceae
<i>Gnaphalium attenuatum</i>	Ajenjillo cimarrón	Asteraceae
<i>Gnaphalium roseum</i>	Xxx	Asteraceae
<i>Heterosperma pinnatum</i>	Jarilla, aceitilla	Asteraceae
<i>Montanoa bipinnatifida</i>	Montanoa	Asteraceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Picris echioides</i>	Lengua de gato	Asteraceae
<i>Senecio oleraceus</i>	Senecio	Asteraceae
<i>Senecio roldana</i>	Roldana	Asteraceae
<i>Senecio salignus</i>	Jarilla	Asteraceae
<i>Senecio vulgaris</i>	Hierba caña, cineraria	Asteraceae
<i>Simsia amplexicaule</i>	Simsia amplexicaule	Asteraceae
<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja	Asteraceae
<i>Stevia ovata</i>	Stevia ovata	Asteraceae
<i>Tagetes lucida</i>	Pericón	Asteraceae
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Asteraceae
<i>Tithonia tubiformis</i>	Palocote	Asteraceae
<i>Viguiera buddlejiformis</i>	Viguiera	Asteraceae
<i>Viguiera linearis</i>	Romerillo	Asteraceae
<i>Wedelia hispida</i>	Wedelia	Asteraceae
<i>Begonia gracilis</i>	Ala de ángel, hierba de la doncella	Begoniaceae
<i>Alnus acuminata</i>	Aile o aliso	Betulaceae
<i>Alnus jorullensis</i>	Aile o aliso	Betulaceae
<i>Catalpa bignoides</i>	Catalpa	Bignoniaceae
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Bignoniaceae
<i>Tecoma stans</i>	Tecoma amarilla	Bignoniaceae
<i>Alyssum maritimum</i>	Aliso marítimo, Lobularia Marítima, Cesta de plata	Brassicaceae
<i>Brassica campestris</i>	Mostaza salvaje o nabo de campo	Brassicaceae
<i>Coronopus didymus</i>	Cervellina, mastuerzo de Indias	Brassicaceae
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Rábano silvestre	Brassicaceae
<i>Rorippa mexicana</i>	Rorippa	Brassicaceae
<i>Sisymbrium irio</i>	Mostacilla común	Brassicaceae
<i>Bursera fagaroides</i>	Cuajote amarillo	Burseraceae
<i>Bauhinia grandiflora</i>	Pata de vaca	Caesalpiniaceae
<i>Lobelia gruina</i>	Flor de María	Campanulaceae
<i>Lobelia laxiflora</i> <i>var. angustifolia</i>	Aretitos	Campanulaceae
<i>Celtis australis</i>	Almez	Cannabaceae/Ulmaceae
<i>Celtis occidentalis</i>	Celtis	Cannabaceae/Ulmaceae
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Casuarina</i>	Cassuarinaceae
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Epazote	Chenopodiaceae
<i>Clethra mexicana</i>	Clethra o zapotillo	Clethraceae
<i>Commelina coelestis</i>	Hierba de pollo	Commelinaceae
<i>Dichondra argentea</i>	Oreja de ratón plateado	Convolvulaceae
<i>Ipomea purpurea</i>	Campanilla o yedra morada	Convolvulaceae
<i>Ipomoea mucronata</i>	Cazahuate	Convolvulaceae
<i>Sedum oxypetalum</i>	Sedum	Crassulaceae
<i>Sechium edule</i>	Chayotera	Cucurbitaceae
<i>Sycos deppei</i>	Chayotillo	Cucurbitaceae
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	Chimancipar o falso ciprés de Lawson	Cupressaceae
<i>Cupressus benthamii</i>	Cedro blanco	Cupressaceae
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco	Cupressaceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cedro limón	Cupressaceae
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cedro panteonero	Cupressaceae
<i>Juniperus sp.</i>	Junípero	Cupressaceae
<i>Thuja orientalis</i>	Arbol de la vida, tuya oriental	Cupressaceae
<i>Thuja plicata</i>	Tulia	Cupressaceae
<i>Cyperus aggregatus</i>	Cyperus	Cyperaceae
<i>Cyperus hermaphroditus</i>	Tule	Cyperaceae
<i>Cyperus manimae var divergens</i>	Tule, tulillo	Cyperaceae
<i>Cyperus niger</i>	Cyperus	Cyperaceae
<i>Rhododendron indicum</i>	Azalea	Ericaceae
<i>Acalypha phleoides</i>	Hierba del cáncer	Euphorbiaceae
<i>Euphorbia peplus</i>	Esula redonda, lechecina	Euphorbiaceae
<i>Acacia dealbata</i>	Acacia	Fabaceae
<i>Cassia tomentosa</i>	Tomentosa	Fabaceae
<i>Crotalaria pumila</i>	Chipil	Fabaceae
<i>Dalea versicolor</i>	Dalea	Fabaceae
<i>Erythrina coralloides</i>	Colorín	Fabaceae
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo azul	Fabaceae
<i>Medicago lupulina</i>	Mielga negra	Fabaceae
<i>Melilotus indicus</i>	Meliloto	Fabaceae
<i>Phaseolus formosus</i>	Ayocote	Fabaceae
<i>Phaseolus heterophyllus</i>	Phaseolus	Fabaceae
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsa acacia	Fabaceae
<i>Trifolium repens</i>	Trebol blanco	Fabaceae
<i>Quercus excelsa</i>	Encino bornio	Fagaceae
<i>Quercus ilex</i>	Encino	Fagaceae
<i>Quercus ruber</i>	Encino	Fagaceae
<i>Quercus rugosa</i>	Encino avellano, encino blanco liso	Fagaceae
<i>Quercus sp.</i>	Encino	Fagaceae
<i>Geranium seemanii</i>	Alfilerillo, mano de león	Geraniaceae
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar	Hammamelidaceae
<i>Heliconia imbricata</i>	Heliconia	Heliconiaceae
<i>Wigandia urens</i>	Ortiga de tierra caliente, mala mujer	Hydrophyllaceae
<i>Salvia mexicana</i>	Tlacote	Lamiaceae
<i>Persea americana</i>	Aguacate	Lauraceae
<i>Calochortus barbatus</i>	Ayatito	Liliaceae
<i>Buddleia cordata ssp. cordata</i>	Tepozán	Loganiaceae
<i>Cuphea aequipetala</i>	Mirto, hierba del cáncer	Lythraceae
<i>Abutilon stryatum</i>	Abutilón	Malvaceae
<i>Anoda cristata</i>	Malva cimarrona	Malvaceae
<i>Dombeya wallichii</i>	Bella aurora	Malvaceae
<i>Kearnemalvastrum lacteum</i>	Terciopelo	Malvaceae
<i>Malva parviflora</i>	Malva de flor chica	Malvaceae
<i>Malva sylvestris</i>	Malva comun	Malvaceae
<i>Monstera deliciosa</i>	Monstera	Monsteroidea
<i>Ficus benamina</i>	Laurel llorón	Moraceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Ficus carica</i>	Higo	Moraceae
<i>Ficus elastica</i>	Hule	Moraceae
<i>Ficus retusa</i>	Laurel de la india	Moraceae
<i>Maclura pomífera</i>	Naranja de Louisiana	Moraceae
<i>Morus celtidifolia</i>	Mora	Moraceae
<i>Morus nigra</i>	Morera negra	Moraceae
<i>Musa ensete</i>	Plátano	Musaceae
<i>Callistemon speciosus</i>	Limpiatubos	Myrtaceae
<i>Eucalyptus sp.</i>	Eucalipto	Myrtaceae
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto rojo	Myrtaceae
<i>Eucalyptus cinerea</i>	Eucalipto dólar	Myrtaceae
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto alcanfor	Myrtaceae
<i>Eucalyptus longifolia</i>	Eucalipto	Myrtaceae
<i>Eucalyptus polyanthemus</i>	Eucalipto dólar	Myrtaceae
<i>Eucalyptus robusta</i>	Eucalipto	Myrtaceae
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Myrtaceae
<i>Mirabilis jalapa</i>	Maravilla	Nyctaginaceae
<i>Nyssa sylvatica</i>	Tupelo	Nyssaceae
<i>Fraxinus cuspidata</i>	Fresno	Oleaceae
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	Oleaceae
<i>Ligustrum confusum</i>	Trueno	Oleaceae
<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno o Aligustre del Japón	Oleaceae
<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno lila	Oleaceae
<i>Ligustrum vulgare</i>	Aligustre o alheña	Oleaceae
<i>Syringa vulgaris</i>	Lila común	Oleaceae
<i>Oenothera rosea</i>	Agua de azahar, o Hierba del golpe	Onagraceae
<i>Oenothera tetráptera</i>	Linda tarde	Onagraceae
<i>Oxalis corniculata</i>	Aleluya	Oxalidaceae
<i>Oxalis decaphylla</i>	Oca	Oxalidaceae
<i>Oxalis sp.</i>	Oca	Oxalidaceae
<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo, amapola amarilla, chicalote pálido	Papaveraceae
<i>Phytolacca dioica</i>	Bellasombra o Fitolaca	Phytolaccaceae
<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	Pinaceae
<i>Cedrus libani</i>	Cedro de Líbano	Pinaceae
<i>Pinus ayacahuite</i>	Ayacahuite	Pinaceae
<i>Pinus cembroides</i>	Pino piñonero	Pinaceae
<i>Pinus greggii Ocate</i>	Pino prieto	Pinaceae
<i>Pinus halepensis</i>	Pino alepo	Pinaceae
<i>Pinus maximartinezii</i>	Pino azul	Pinaceae
<i>Pinus michoacana</i>	Pino lacio	Pinaceae
<i>Pinus montezumae</i>	Pino real	Pinaceae
<i>Pinus patula</i>	Pino llorón o pino Mexicano amarillo	Pinaceae
<i>Pinus radiata</i>	Pino radiata, de Monterrey o California	Pinaceae
<i>Pinus sp.</i>	Pino	Pinaceae
<i>Pittosporum tobira</i>	Clavo	Pittosporaceae
<i>Pittosporum undulatum</i>	Pittosporo dulce	Pittosporaceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Platanus occidentalis</i>	Sicomoro	Platanaceae
<i>Bouteloua curtipendula</i>	Banderilla, grama del cerro	Poaceae
<i>Bromus carinatus</i>	Bromo	Poaceae
<i>Bromus catharticus</i>	Pipil, bromo, cebadilla	Poaceae
<i>Eragrostis intermedia</i>	Zacate	Poaceae
<i>Hilaria cenchroides</i>	Pasto nativo	Poaceae
<i>Panicum bulbosum</i>	Panicum	Poaceae
<i>Paspalum dilatatum</i>	Pasto miel, grama de agua	Poaceae
<i>Paspalum tenellum</i>	Pasto	Poaceae
<i>Pennisctum villosum</i>	Zacate plumoso	Poaceae
<i>Poa annua</i>	Pasto de invierno, zacate azul	Poaceae
<i>Setaria geniculata</i>	Cepillo de botellas, plumerillo	Poaceae
<i>Sporobolus indicus</i>	Pasto alambre	Poaceae
<i>Stipa Leucotrica</i>	Pericón	Poaceae
<i>Tripsacum dactyloides</i>	Maicillo	Poaceae
<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Polemoneaceae
<i>Polygonum punctatum</i>	Chilillo, tamaiza	Polygonaceae
<i>Rumex maritimus</i>	Cola dorada	Polygonaceae
<i>Rumex obtusifolius</i>	Acedera, lengua de vaca	Polygonaceae
<i>Anagallis arvensis</i>	Pimpinela escarlata o muraje	Primulaceae
<i>Grevillea robusta</i>	Roble sedoso, roble plateado, árbol del fuego	Proteaceae
<i>Delphinium pedatisectum</i>	Delphinium	Ranunculaceae
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Myrtaceae
<i>Mirabilis jalapa</i>	Maravilla	Nyctaginaceae
<i>Nyssa sylvatica</i>	Tupelo	Nyssaceae
<i>Fraxinus cuspidata</i>	Fresno	Oleaceae
<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	Oleaceae
<i>Ligustrum confusum</i>	Trueno	Oleaceae
<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno o Aligustre del Japón	Oleaceae
<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno lila	Oleaceae
<i>Ligustrum vulgare</i>	Aligustre o alheña	Oleaceae
<i>Syringa vulgaris</i>	Lila común	Oleaceae
<i>Oenothera rosea</i>	Agua de azahar, o Hierba del golpe	Onagraceae
<i>Oenothera tetráptera</i>	Linda tarde	Onagraceae
<i>Oxalis corniculata</i>	Aleluya	Oxalidaceae
<i>Oxalis decaphylla</i>	Oca	Oxalidaceae
<i>Oxalis sp.</i>	Oca	Oxalidaceae
<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo, amapola amarilla, chicalote pálido	Papaveraceae
<i>Phytolacca dioica</i>	Bellasombra o Fitolaca	Phytolaccaceae
<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	Pinaceae
<i>Cedrus libanni</i>	Cedro de Líbano	Pinaceae
<i>Pinus ayacahuite</i>	Ayacahuite	Pinaceae
<i>Pinus cembroides</i>	Pino piñonero	Pinaceae
<i>Pinus greggii</i>	Pino prieto	Pinaceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Pinus halepensis</i>	Pino alepo	Pinaceae
<i>Pinus maximartinezii</i>	Pino azul	Pinaceae
<i>Pinus michoacana</i>	Pino lacio	Pinaceae
<i>Pinus montezumae</i>	Pino real	Pinaceae
<i>Pinus patula</i>	Pino llorón o pino Mexicano amarillo	Pinaceae
<i>Pinus radiata</i>	Pino radiata, de Monterrey o California	Pinaceae
<i>Pinus sp.</i>	Pino	Pinaceae
<i>Pittosporum tobira</i>	Clavo	Pittosporaceae
<i>Pittosporum undulatum</i>	Pittosporo dulce	Pittosporaceae
<i>Platanus occidentalis</i>	Sicomoro	Platanaceae
<i>Bouteloua curtipendula</i>	Banderilla, grama del cerro	Poaceae
<i>Bromus carinatus</i>	Bromo	Poaceae
<i>Bromus catharticus</i>	Pipil, bromo, cebadilla	Poaceae
<i>Eragostis intermedia</i>	Zacate	Poaceae
<i>Hilaria cenchroides</i>	Pasto nativo	Poaceae
<i>Panicum bulbosum</i>	Panicum	Poaceae
<i>Paspalum dilatatum</i>	Pasto miel, grama de agua	Poaceae
<i>Paspalum tenellum</i>	Pasto	Poaceae
<i>Pennisctum villosum</i>	Zacate plumoso	Poaceae
<i>Poa annua</i>	Pasto de invierno, zacate azul	Poaceae
<i>Setaria geniculata</i>	Cepillo de botellas, plumerillo	Poaceae
<i>Sporobolus indicus</i>	Pasto alambre	Poaceae
<i>Stipa Leucotrica</i>	Pericón	Poaceae
<i>Tripsacum dactyloides</i>	Maicillo	Poaceae
<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Polemoneaceae
<i>Polygonum punctatum</i>	Chilillo, tamaiza	Polygonaceae
<i>Rumex maritimus</i>	Cola dorada	Polygonaceae
<i>Rumex obtusifolius</i>	Acedera, lengua de vaca	Polygonaceae
<i>Anagallis arvensis</i>	Pimpinela escarlata o muraje	Primulaceae
<i>Grevillea robusta</i>	Roble sedoso, roble plateado, arbol del fuego	Proteaceae
<i>Delphinium pedatisectum</i>	Delphinium	Ranunculaceae
<i>Amelanchier laevis</i>	Amelanquier	Rosaceae
<i>Cotoneaster pannosa</i>	Hoja de plata	Rosaceae
<i>Crataegus mexicana</i>	Tejocote	Rosaceae
<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	Rosaceae
<i>Fragaria mexicana</i>	Fresera	Rosaceae
<i>Prunus armeniaca</i>	Chabacano	Rosaceae
<i>Prunus cerasifera</i>	Ciruelo rojo	Rosaceae
<i>Prunus domestica</i>	Ciruelo	Rosaceae
<i>Prunus persica</i>	Duraznero o meloconotero	Rosaceae
<i>Prunus serotina spp. capuli</i>	Capulin	Rosaceae
<i>Pyracantha koidzumii</i>	Santa Cruz o formosa	Rosaceae
<i>Pyrus communis</i>	Peral	Rosaceae
<i>Bouvardia ternifolia</i>	Trompetilla	Rubiaceae
<i>Dasyilirion sp.</i>	Palma sotol	Ruscaceae

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>
<i>Citrus limon</i>	Limonero	Rutaceae
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Rutaceae
<i>Citrus sp.</i>	Cítrico	Rutaceae
<i>Casimiroa edulis</i>	Zapote blanco	Rutaceae
<i>Populus alba</i>	Álamo plateado	Salicaceae
<i>Populus deltoides</i>	Chopo	Salicaceae
<i>Populus nigra</i>	Alamo negro	Salicaceae
<i>Populus x canadensis</i>	Alamillo	Salicaceae
<i>Salix bonplandiana</i>	Ahuejote	Salicaceae
<i>Salix paradoxa</i>	Saucillo	Salicaceae
<i>Salix sp.</i>	Sauce	Salicaceae
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Bombilla, farolito	Sapindaceae
<i>Dodonea viscosa</i>	Chapulixtle	Sapindaceae
<i>Hydrangea macrophylla</i>	Hortensia	Saxifragaceae
<i>Antirrhinum majus</i>	Boca de dragón	Scrophulariaceae
<i>Penstemon barbatus</i>	Jarritos	Scrophulariaceae
<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo	Solanaceae
<i>Solanum americanum</i>	Hierba mora	Solanaceae
<i>Solanum cervantesii</i>	Veneno de perro	Solanaceae
<i>Solanum nigrescens</i>	Chichiquelítl, hierba mora	Solanaceae
<i>Solanum nudum</i>	Chichiquelítl	Solanaceae
<i>Solanum rostratum</i>	Mala mujer	Solanaceae
<i>Sophora japonica</i>	Acacia de Japón	Solanaceae
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Taxodiaceae
<i>Tropaeolum majus</i>	Capuchina	Tropaeolaceae
<i>Ulmus americana</i>	Olmo	Ulmaceae
<i>Ulmus parvifolia</i>	Olmo chino	Ulmaceae

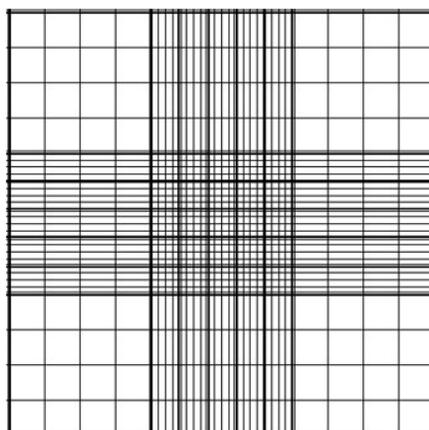
**Anexo 6.** Conteo de granos de polen de *Fraxinus* spp en la Cámara de Neubauer

Se pesaron 500 mg de granos de polen de *Fraxinus* y se le agregaron 5 ml de PBS. Esta solución se consideró la muestra inicial, a partir de la cual se realizaron diluciones seriadas.

Se tomaron 10 µl de la dilución de 10<sup>-10</sup> y se colocaron en una de las divisiones de la cámara de Neubauer.



Se realiza un conteo de las células (granos de polen) en 5 cuadros grandes de la cámara de Neubauer



Finalmente se aplica una fórmula para establecer la concentración de células:

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Número de granos} \times 10\,000}{\text{Número de Cuadros} \times \text{dilución}}$$

Para una dilución 1:10=0.01

1:100= 0.001