



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESTUDIO AEROPALINOLÓGICO DE
CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO:
VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL Y EFECTOS EN
LA SALUD**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGA**

P R E S E N T A :

MARISOL OLIVÉ ARRIOJA



TUTORA:

**DRA. MARÍA DEL CARMEN LETICIA
CALDERÓN EZQUERRO**

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
RESUMEN.....	3
1.INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.Marco Teórico.....	6
1.1.1.Aerobiología como ciencia.....	6
1.1.2.Antecedentes históricos.....	6
1.1.3.Procesos aerobiológicos y factores que influyen sobre la actividad polínica.....	9
1.1.3.1.Capas de la atmósfera.....	10
1.1.3.2.Liberación.....	11
1.1.3.3.Transporte.....	12
1.1.3.4.Deposición.....	13
1.1.4.Método de muestreo.....	14
1.1.5.Aplicaciones de los estudios Aerobiológicos.....	14
1.1.6.Aspectos fisiológicos y morfológicos acerca del polen.....	15
1.1.6.1.Morfología polínica.....	16
1.1.7.Alergia y salud.....	24
1.1.7.1.Reacción alérgica.....	25
1.1.7.2.Polinosis.....	25
1.1.7.3.Efecto de la contaminación ambiental sobre la reacción alérgica.....	26
1.2.Antecedentes.....	27
1.2.1.Antecedentes Internacionales.....	27
1.2.2.Antecedentes Nacionales.....	29
1.2.3.Red Mexicana de Aerobiología.....	31
1.3.Área de estudio.....	32
1.4.Estación de muestreo Chapultepec.....	33
2.OBJETIVOS.....	37
2.1.Objetivo General:.....	37
2.2.Objetivos Particulares:.....	37
3.JUSTIFICACIÓN.....	37
4.MÉTODO.....	38
4.1.Monitoreo aerobiológico y situación del captador.....	38
4.2.Sitio de muestreo.....	39
4.3.Método de muestreo.....	40
4.3.1.Montaje de la cinta Melinex en el tambor.....	40
4.3.2.Preparación del soporte.....	40
4.3.3.Colocación del tambor en la trampa de esporas tipo Hirst (TETH).....	41
4.3.4.Montaje de laminillas.....	41
4.3.5.Medio de sellado.....	43
4.4.Análisis cualitativo y cuantitativo.....	44
4.4.1.Expresión de los resultados.....	45
4.4.2.Base de datos de la Red Mexicana de Aerobiología.....	45
4.4.2.1.Presentación de datos.....	45
4.4.2.2.Datos climáticos.....	45
4.4.2.3.Datos Polínicos.....	45
4.4.2.4.Variación estacional.....	46
4.4.2.5.Periodo Principal de Polinación.....	46
4.4.2.6.Variación intradiaria.....	46

4.4.2.7. Correlación con los parámetros meteorológicos.....	47
5. RESULTADOS	48
5.1. Datos Climáticos	48
5.1.1. Temperatura	48
5.1.2. Temperatura máxima y mínima.....	49
5.1.3. Precipitación	50
5.1.4. Humedad relativa	51
5.1.5. Dirección y velocidad del viento	51
5.2. Datos polínicos	53
5.3. Oleaceae: <i>Fraxinus</i>	57
5.4. Cupressaceae.....	64
5.5. Betulaceae: <i>Alnus</i>	70
5.6. Poaceae	76
5.7. Pinaceae: <i>Pinus</i>	82
5.8. Casuarinaceae: <i>Casuarina</i>	88
5.9. Myrtaceae.....	93
5.10. Fagaceae: <i>Quercus</i>	98
5.11. Urticaceae.....	104
5.12. Ulmaceae: <i>Ulmus</i>	109
5.13. Otros tipos polínicos	114
5.13.1. Oleaceae: <i>Ligustrum</i>	114
5.13.2. Moraceae: <i>Morus</i>	117
5.13.3. Anacardiaceae: <i>Schinus</i>	120
5.13.4. Asteraceae.....	122
5.13.5. Asteraceae: <i>Ambrosia</i>	126
5.13.6. Polygonaceae: <i>Rumex</i>	128
5.13.7. Amaranthaceae-Chenopodaceae.....	130
5.13.8. Salicaceae: <i>Populus</i>	133
5.13.9. Rosaceae:.....	136
5.13.10. Salicaceae: <i>Salix</i>	139
5.13.11. Rutaceae: <i>Citrus</i>	141
5.14. Tipos polínicos de menor incidencia.....	144
6. DISCUSIÓN GENERAL.....	148
6.1. Variación estacional	148
6.2. Variación intradiaria:.....	152
6.3. Relación con los parámetros meteorológicos	154
6.4. Relación con la polinosis	156
7. CONCLUSIONES GENERALES	160
8. BIBLIOGRAFÍA.....	162
9. ANEXOS:.....	178

RESUMEN

El polen aerovagante es una de las principales causas de alergia en México y el mundo, y la prevalencia de las enfermedades alérgicas relacionadas con éste se encuentran en aumento desde las últimas décadas. La capacidad alérgica de los granos de polen radica en su composición química, contenido proteico, tamaño pequeño y la gran cantidad en que son liberados a la atmósfera por algunas especies de plantas anemófilas, entre otros factores. En la Ciudad de México, al igual que en otras urbes, la contaminación exagera la alergenidad de los granos de polen y el incremento en la temperatura causado por el cambio climático está causando modificaciones en los calendarios polínicos de las especies. El espectro polínico de una zona y su relación con los factores del clima permite determinar la influencia del cambio climático en la floración de las especies, así como prever, diagnosticar y tratar correctamente los casos de polinosis en la población sensible. Se realizó un estudio aeropolinológico en la atmósfera de la delegación Miguel Hidalgo, en el ciclo anual 2008-2009, con el objetivo de cuantificar e identificar los tipos polínicos presentes, así como analizar la relación entre su concentración y los principales parámetros meteorológicos. Utilizando una trampa de esporas tipo Hirst, ubicada en la azotea del museo de Historia Natural del Bosque de Chapultepec, se monitoreó el contenido polínico de la zona durante un año de manera ininterrumpida, obteniendo muestras diarias y horarias de los tipos polínicos presentes en la atmósfera. Tanto la recolección como el montaje de laminillas se realizaron de acuerdo a las especificaciones de la Red Española de Aerobiología. La lectura de las muestras se llevó a cabo utilizando un microscopio óptico, y de acuerdo al método estandarizado sugerido por la REA, se llevó a cabo el análisis de datos calculando para cada taxón la variación estacional, variación intradiaria, y periodo principal de polinación. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, tomando en cuenta los parámetros meteorológicos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa, velocidad media y máxima del viento, así como las frecuencias de viento centradas por los cuatro cuadrantes principales (NE, SE, SO y NO). Se obtuvo un Índice Polínico Anual de 42,927 granos de polen (gp), y se identificaron y cuantificaron 48 tipos polínicos. Los más abundantes fueron *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus*, Poaceae, *Pinus*, *Casuarina*, Myrtaceae, *Quercus*, Urticaceae, *Ulmus*, *Ligustrum*, *Morus*, *Schinus*, Asteraceae, *Rumex*, Amaranthaceae -Chenopodiaceae, *Populus*, *Ambrosia*, Rosaceae, *Salix* y *Citrus*. Del total de tipos polínicos colectados, 17 poseen una capacidad alérgica severa, y dentro de esta categoría, cuatro de ellos inciden en la atmósfera en cantidades considerablemente altas, siendo *Fraxinus* (16,259 gp anuales) el taxón más abundante, seguido por Cupressaceae (11,799 gp), granos de polen de la familia Poaceae (2242 gp) seguidos por granos de polen de *Quercus* con 785 gp anuales. Las mayores concentraciones de polen atmosférico se registraron en el periodo invernal (diciembre-febrero), colectándose el 72% del polen total anual en esos meses. Los taxa que contribuyeron principalmente a esa carga polínica fueron *Fraxinus*, Cupressaceae y *Alnus*. La mayor cantidad de polen atmosférico colectado provino del estrato arbóreo (90% del total anual), mientras que pastos y malezas representaron cada uno 5% del total anual. Se observó un patrón de variación intradiaria en el que la liberación de las mayores concentraciones de polen se presentó durante la segunda mitad del día, con picos máximos entre las 16 y las 22 h en la mayoría de los casos. *Alnus*, *Casuarina*, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Pinus* y Myrtaceae presentaron un patrón intradiario de liberación estable, mientras que los taxa de comportamiento inestable fueron Poaceae, *Quercus*, Urticaceae y *Ulmus*. Los parámetros meteorológicos que influyeron positivamente en el incremento de los niveles aeropolínicos fueron la temperatura y la velocidad del viento, aunque en las especies de floración invernal como *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus* y *Ulmus*, la temperatura influyó de manera negativa durante casi todo el periodo, excepto en la fase máxima o de ascenso donde el incremento de calor favoreció la floración y la liberación del polen a la atmósfera. La humedad y la precipitación se asociaron negativamente con la concentración polínica causando un descenso en ella, sin embargo, en el caso de Poaceae y Urticaceae, la precipitación previa al periodo de floración tuvo un efecto positivo sobre las concentraciones posteriores a ese periodo. Las frecuencias de viento del NE y NO se relacionaron negativamente con todos los taxa excepto con *Casuarina* y gran parte de los tipos polínicos de menor incidencia o ausentes en la flora de Chapultepec, posiblemente debido a que la zona norte de la ciudad es escasa en vegetación. Las frecuencias de viento del SE y el SO fueron las que mayor cantidad de polen de diversos taxa aportaron a la atmósfera de Chapultepec, probablemente debido a que el sur de la ciudad cuenta con una vegetación abundante y el viento proveniente de esa dirección transporta una carga polínica considerable.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de las enfermedades alérgicas, especialmente aquellas causadas por polen, constituye un problema de gran magnitud a nivel mundial (GONZÁLEZ ET AL., 2009), por lo que el estudio aerobiológico de las grandes urbes, como lo es la Ciudad de México, con un número de habitantes tan alto y un nivel de contaminación alarmante, es actualmente una necesidad primordial no solo para el campo biológico sino para el de la salud.

El polen tiene la capacidad de provocar alergia en función de su tamaño, composición química y concentración en la que incide en la atmósfera, sobre todo en las personas genéticamente predispuestas o atópicas. Hoy en día, se plantea la existencia de más de 12 genes implicados en esta patología y se estudia internacionalmente la relación que existe entre la alta exposición al polen y la presencia de anticuerpos IgE específicos (GONZÁLEZ ET AL., 2009).

En la Ciudad de México, así como en otras grandes metrópolis o sitios industrializados, la contaminación es un factor que exacerba la alergenicidad de los granos de polen, ya que los contaminantes causan un efecto directo sobre el propio grano ocasionando que éste pueda expresar mayor cantidad de proteínas descritas como alergénicas (BARTRA ET AL., 2007).

La dinámica del aire dentro de las ciudades juega un papel importante en el transporte del polen aerovagante. La "isla de calor" (otra consecuencia de la urbanización) consiste en el incremento de la temperatura que registra la capa de aire que cubre la ciudad, cuando las estructuras y cuerpos que componen la urbe le transmiten el calor acumulado (las construcciones de las ciudades se caracterizan por componerse de materiales que almacenan y conducen gran cantidad de calor cuando reciben la insolación directa, devolviéndolo a la atmósfera posteriormente) (SARRICOLEA ET AL., 2008). Esto, genera a su vez una convergencia del aire superficial hacia el centro del área urbana, y el flujo convergente tiende a reducir la ventilación dentro de la ciudad, ocasionando que los contaminantes atmosféricos y las partículas aerovagantes como el polen se encuentren concentrados durante el horario vespertino (JÁUREGUI, 1991).

Por otro lado, la contaminación en sí es un factor determinante sobre la polinosis, ya que provoca la irritación de las vías respiratorias incrementando la severidad de los síntomas (RING ET AL., 2004).

Asimismo, los factores meteorológicos juegan un papel importante en este tema, debido a que la floración y liberación de polen de las distintas especies están estrechamente relacionadas a las condiciones climáticas que se presentan en el momento en que dichos fenómenos ocurren.

La relación entre concentración de polen atmosférico y parámetros meteorológicos es de gran importancia. Hoy en día se registran cambios en los modelos de temperatura característicos de las distintas estaciones del año como resultado del cambio climático. Así por ejemplo, la Ciudad de México, cuya temperatura ha aumentado en más de cuatro grados centígrados desde principios del siglo XX (MAGAÑA Y GAY, 2002), experimenta actualmente tormentas más severas y efectos como la Isla de Calor mencionado anteriormente, lo cual tiene numerosas consecuencias, entre las que podemos mencionar la amenaza que esto representa para los ecosistemas, así como la fauna y flora asociados a ellos y las modificaciones que sufren los calendarios polínicos de distintas especies (ZISKA ET AL., 2002). Además, el cambio climático puede fomentar la consolidación de plantas alergénicas no nativas que pueden ocasionar nuevos cuadros de polinosis entre la población no alérgica, así como problemas adicionales a la población que ya es sensible al polen (BARTRA ET AL., 2007).

En el área de la aeropalinología se distinguen tres tipos principales de plantas: árboles, malezas y pastos. Algunas de ellas poseen un alto potencial alergénico, y se encuentran bien representadas en la flora de la ciudad.

La zona que se estudia en el presente trabajo es la Delegación Miguel Hidalgo, en la cual se encuentra el Bosque de Chapultepec. Éste bosque tiene una extensión de 686 hectáreas y representa el área verde de mayor extensión dentro de la Ciudad de México (CASASOLA, 2006; GDF, 2006A).

En este estudio se analizó el espectro aeropolínico de un ciclo anual completo, con la finalidad de identificar y cuantificar cada tipo polínico y comprender cuál es el entorno climático que favorece la incidencia de sus granos de polen en la atmósfera. También es importante conocer en qué momento del día ocurre el fenómeno de la liberación y bajo qué condiciones sucede, de modo que se puedan establecer patrones por cada taxón.

Para ello se ha implementado la metodología estandarizada de la Red Española de Aerobiología (REA), de modo que los resultados obtenidos puedan tener una difusión mayor y permitir que con el tiempo y la continuidad del muestreo, los datos sean homologables a nivel mundial.

La gran cantidad de investigaciones que se realizan actualmente en este campo en diversas zonas biogeográficas del globo reflejan cómo la situación particular de cada sitio, combinada con la influencia de los parámetros meteorológicos, da como resultado escenarios polínicos distintos (MUNUERA, 2002), cuyas aplicaciones van más allá de la biología y ecología de las especies, ya que su alcance en el ámbito de la salud significa un gran paso en el entendimiento y manejo de la polinosis, optimizando tanto diagnósticos como tratamientos, y de ser posible, implementando medidas de prevención.

El presente estudio forma parte del proyecto de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), la cual da inicio a los estudios aeropalinológicos enfocados en salud y realizados con metodología estandarizada en México, y pretende unificar esfuerzos a nivel nacional para crear una base de datos consistente y de gran utilidad en diversos sectores.

Los datos generados por la REMA permiten informar a la población en tiempo real a través de una página en Internet acerca de las concentraciones atmosféricas semanales de los diferentes alérgenos polínicos y poder hacer previsiones sobre sus efectos en la salud.

Al darle continuidad a este estudio, en un lapso mayor a 10 años se espera que la REMA haya recogido datos suficientes para estimar los posibles efectos del cambio climático sobre la vegetación, así como realizar estimaciones sobre sus efectos en la distribución y concentración de los granos de polen en la atmósfera, los cuales repercuten directamente sobre la salud.

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Aerobiología como ciencia

La Aerobiología es la ciencia que estudia la presencia de partículas biológicas en el aire, entre las cuales se pueden mencionar las esporas de hongos, bacterias, algas, hongos, protozoarios, artrópodos y granos de polen, entre otros.

El término “Aerobiología” fue introducido en los años 30 por Fred C. Meier, fitopatólogo estadounidense, con el fin de incluir bajo este concepto los estudios que se estaban realizando sobre las esporas de hongos, granos de polen y bacterias contenidos en la atmósfera (GREGORY, 1973).

Con el paso del tiempo la Aerobiología fue utilizada por diversos campos de investigación y con aplicaciones de gran utilidad para la humanidad y el medio ambiente. Cada una de sus especialidades aplicadas son interdisciplinarias, por lo que se ha valido de la cooperación de diversas áreas de conocimiento como la biología, agronomía, medicina, física, botánica, zoología, ecología, etc. (RECIO, 1995).

Actualmente, los estudios aerobiológicos comprenden los diversos procesos por los que pasan los organismos y partículas biológicas en la atmósfera, así como su repercusión en el entorno (EDMONS Y BENNINGHOFF, 1973; GREGORY, 1973; ISARD Y GAGE, 2001).

Una de las aplicaciones más trascendentes de la Aerobiología y que actualmente se encuentra en constante desarrollo es el estudio de la polinosis, es decir, la alergia al polen.

1.1.1. Antecedentes históricos

Desde su inicio el ser humano habitó entornos donde existiera algún tipo de vegetación y por lo tanto, el contacto con el polen siempre ha sido habitual. Se tiene evidencia de esta interacción en granos de polen que fueron aislados en excavaciones del hombre de Neandertal con una antigüedad de 50 000 años (BENITO-RICA, 2003).

Diversas referencias históricas muestran el interés del hombre por el estudio del polen (palinología) desde tiempos remotos. Tal fue el caso de babilonios y asirios, quienes conocían la bisexualidad de la palmera datilera y la polinizaban artificialmente (LINARES, 2007). Estelas babilónicas describen enfermedades coincidentes con lo que se conoce actualmente como rinitis alérgica, en el documento conocido como “Papyrus ebers” (1550 a.c) hallado en el antiguo Egipto y en el que se encuentran jeroglíficos con remedios médicos contra el asma y otras enfermedades (COHEN, 1992).

Aunque en la antigüedad no se conocía bien la reproducción sexual de las plantas, Anaxágoras de Clemezone (500-428 a.c) ya se planteaba la posibilidad de que el viento influyera sobre la diseminación de las especies y el polen aerotransportado (PLA DALMAU, 1960) y era ese mismo viento el que se creía era causante de enfermedades que afectaban no solo al hombre sino también animales y a las cosechas (LINARES, 2007).

En ese sentido, Hipócrates (460-377 a. C.) afirmó que el hombre era atacado por fiebres epidémicas cuando inhalaba aire infectado de “contaminantes que eran hostiles a la raza humana” (GREGORY, 1973). De igual forma, Aristóteles (384-323 a.c) precursor de la anatomía y la biología, sostenía que por el aire se dispersaban partículas que desencadenaban enfermedades, pero que además participaban en los mecanismos de reproducción vegetal.

Aunque el conocimiento clínico de la alergia causada por polen comienza con la descripción de un tipo de padecimiento respiratorio, registrado en Persia en torno al 865 D.C por Mohammed Al Razi (LAGUNA ET AL., 2009), pasaron más de trece siglos para que se volvieran a encontrar en la historia registros sobre aspectos relacionados con el polen, sus mecanismos de propagación y su relación con los procesos alérgicos, observándose que éstos tenían carácter estacional y que eran más frecuentes durante la primavera.

Fue Monardi (1462-1536) quien comenzó a estudiar el papel que los estambres desempeñaban en la reproducción de las plantas (LINARES, 2007). Gracias a los avances microscópicos y su aplicación al estudio de las estructuras vegetales, Marcello Malpighi (1628-1694) y Nehemiah Grew (1628-1711) confirmaron esta teoría y crearon las primeras descripciones de distintas estructuras de los granos de polen, en las que Grew los describió como el agente reproductor de las plantas (BENITO-RICA, 2003).

La relación entre las enfermedades respiratorias y la primavera fue descrita por Leonardo Botallus (1519-1587), medico anatomista de origen francés quien en su libro *Commentariolus Duo* describió una enfermedad que denominó catarro de las rosas, consistente en cefaléa, estornudos y prurito nasal (LAGUNA ET AL., 2009). Jan Baptista Van Helmont (1577-1644) apoyó las afirmaciones de Botallus observando la respuesta bronquial del organismo humano ante una sustancia del aire proveniente de las flores (PETERSON Y SAXON, 1996).

El estudio de los organismos gracias a las lentes de aumento, realizado por Anton van Leeuwenhoek (1632-1728), lo llevó a la conclusión de que sus "animáculos podían ser llevados por el viento entre los trozos de polvo que flotan en el aire" (DOBELL, 1932, SEGÚN GREGORY, 1973). La presencia de estos "animáculos" en el aire fue demostrada en el siglo XVIII por L. Spallanzani (RECIO, 1995).

En 1694, Rudolf Jacob Camerarius afirmó que sin la participación del polen no se producen los frutos, por lo que se le considera el descubridor de la sexualidad en los vegetales (LINARES, 2007).

La distinción de la anemofilia (transporte de polen realizado por el viento) fue señalada por Teófilo Koelreuter (1733-1806), quien diferenció a las plantas que dispersan el polen por el viento, a las que llamó anemófilas, y a otras que lo hacen gracias a los animales, denominándolas entomófilas (RECIO, 1995).

Debido a todos estos antecedentes, al llegar al siglo XIX la morfología polínica cobró mayor interés, realizándose numerosas descripciones polínicas, como son las de Bauer (1758-1840) quien realizó dibujos del polen de 181 especies correspondientes a 57 familias. Por su parte, Purkinje (1787-1869) propuso clasificar los granos de polen según la morfología, simetría, ornamentación, dimensión, grado de transparencia, etc. Fritzsche (1873) distinguió la exina de la intina, precisando la ectexina y la endoexina, y Fischer (1890) explicó la estructura de la tétrada en la última década del siglo XIX (LINARES, 2007).

Los estudios sobre la biología del polen y sus aplicaciones médicas avanzaron a la par gracias a las aportaciones de Bostock y Blackley, con sus estudios sobre el *Catarrhus aestivus*, conocido como fiebre del heno. Bostock (1819), en un trabajo emitido a la Sociedad Médico-Quirúrgica de Londres titulado "un caso de una afección periódica de los ojos y el tórax". En él describió su propia enfermedad en ojos y nariz, que a diferencia del catarro común, solamente se producía durante la estación del heno en Inglaterra (verano). Posteriormente, Blackley (1873) relacionó la presencia de los granos de polen en las secreciones nasales y oculares cuando aparecía dicha enfermedad. Blackley también fue pionero en la práctica de pruebas cutáneas de diagnóstico con polen, recolectando e identificando más de 100 especies diferentes de pastos,

como causantes de síntomas de alergia, y correlacionó la cantidad de polen en el aire con la severidad del ataque de la rinitis alérgica (FEO ET AL., 1998).

El primer experimento aerobiológico en el que se demostraran las causas de la fermentación y putrefacción lo llevó a cabo Louis Pasteur (1822-1895), cuando propuso que el polvo del aire, incluyendo los gérmenes, eran aerosoles. En 1860 hizo pasar por el aire de la Ciudad de París un filtro de algodón y éter y examinando al microscopio la materia sedimentada, observó que habían quedado atrapadas partículas semejantes a esporas de plantas. Después de calcular la cantidad de microorganismos por m³ de aire, propuso analizar la atmósfera durante la aparición de brotes de enfermedades infecciosas (PRESCOTT, 2004).

El primer muestreo largo y periódico de la atmósfera con métodos volumétricos fue realizado por el bacteriólogo francés Pierre Miquel (1850-1922), quien desarrolló el primer colector volumétrico capaz de succionar un volumen de 20 litros de aire por hora, concluyendo que el número de microbios en el aire variaba enormemente en el mismo sitio a diferentes horas, estaciones o altitud (RECIO, 1995).

Miquel muestreó en diferentes lugares del mundo el contenido de esporas en el aire y estableció los parámetros de variación estacional y diaria de éstas. Señaló por primera vez la posibilidad de que la lluvia ejerce un efecto negativo sobre la concentración de las partículas realizando un lavado atmosférico, así como que los registros polínicos no son continuos en el tiempo sino que presentan niveles más elevados en determinadas épocas del día y del año, planteando la existencia de ciclos circadianos en la emisión del polen (LINARES, 2007).

Fue entonces que se desarrollaron los primeros sistemas de captación de polen atmosférico y el interés médico sobre las alergias cuya base radica en el contenido de polen en la atmósfera y sus variaciones estacionales conllevó al surgimiento de la Aerobiología, cuyo término, como se mencionó anteriormente, fue acuñado por el patólogo vegetal Meier (HYDE, 1952).

Los estudios aeropalínológicos se complementaron con los avances en el campo médico farmacológico. Richet (1902) demostró que los venenos y sustancias tóxicas, tales como la toxina de tentáculos de *Physalia physalis* (actinaria) re-inoculada en perros y después de un corto tiempo, en lugar de provocar en el animal un aumento progresivo de resistencia lo volvía más sensible, llegando a ser letal una dosis insignificante. Richet denominó a esta reacción como estado de hipersensibilidad o anafilaxia, por considerarlo contrario al estado de resistencia o profilaxia.

Con base en estudios de esa naturaleza, la fiebre del heno propuesta por Blackey se confirmó y el polen quedó considerado como un elemento alergénico capaz de desencadenar fenómenos realmente patológicos (JOHANNES, 2003).

A principios del siglo XX un gran suceso marcó el estudio de la alergia, cuando el médico austriaco Clemens Von Pirquet (1874-1929) creó una prueba por reacción a la tuberculina para el diagnóstico de la tuberculosis y observó que los pacientes inoculados con suero de caballo (antitoxina diftérica) desarrollaban reacciones al recibir una segunda dosis pequeña a los pocos días después de la primera inyección. Esta reacción se caracterizaba por el desarrollo de asma y urticaria, por lo que pensó que el sistema inmune producía un mayor número de anticuerpos y concluyó que la inmunidad adquirida resulta de la habilidad del hospedero para producir anticuerpos más rápidamente que antes. De esta manera, Von Pirquet acuñó el término alergia (allos=otros, ergos=respuesta), refiriéndose a una desviación del estado inmune original a otro

anormal al entrar en contacto con el agente extraño de manera constante y subsecuente (LAGUNA ET AL., 2009).

Esa prueba fue el comienzo de una serie de reacciones inducidas en la dermis que permitieran apreciar los estados de sensibilidad alérgico-polinica, tal como la prueba de Noon en 1911, quien demostró que la aplicación de polen o de extractos de éste sobre la piel ligeramente raspada produce pruebas positivas en individuos hipersensibilizados (PÉREZ ET AL, 2008).

Por otra parte, los trabajos polínicos de carácter morfológico y analítico prosiguieron y fueron Erdtman (1952, 1969) y Faegri (1956) los que con sus investigaciones sobre morfología polínica y metodología aerobiológica, marcaron líneas que actualmente continúan desarrollándose y que son favorecidas por los avances bioquímicos y médicos (LINARES, 2007).

En cuanto a la tecnología de muestreo, los muestreos de polen atmosférico se optimizaron en gran medida gracias a la introducción del captador volumétrico desarrollado por Hirst (HIRST, 1952).

Las aportaciones de Gregory (1973) contribuyeron al renacimiento de la Aerobiología, incluyendo en su campo de estudio a toda partícula, viable o no viable, transportada pasivamente por el viento. De esta manera, la definición de Meier quedó atrás ampliándose el espectro de partículas incluidas en estos estudios, además de tenerse en cuenta la interacción de los factores meteorológicos sobre las partículas (LINARES, 2007).

Posteriormente, Pathirine (1975), definió a la Aerobiología como la ciencia multidisciplinaria que se ocupa del estudio de la liberación, retención, dispersión, transporte, deposición e incidencia atmosférica de granos de polen, esporas y otros microorganismos aerovagantes. Con el tiempo se han incluido en el estudio de esta ciencia otras partículas aéreas como: algas microscópicas, virus, fragmentos de micelios y líquenes, pequeñas semillas, fragmentos de plantas, protozoos y pequeños insectos (RECIO, 1995; LINARES, 2007), así como las partículas no bióticas presentes en la atmósfera considerando de gran importancia la relación entre los bioaerosoles y los contaminantes aéreos, ya que en conjunto son causa de una gran cantidad de efectos negativos en la salud (HYDE, 1994. IN: GREGORY, 1973; LEBOWITZ Y O' ROURKE, 1991; NILSSON, 1992).

Haciendo una conjunción del concepto de Aerobiología y el de Palinología, definida por Hyde (1944) como el grupo de estudios, incluidos la investigación de la ecología, vegetación y prehistoria del polen preservado en algún tipo de depósito (GREGORY, 1973), la Aeropalinología se desliga de ellos como la línea de investigación que centra sus estudios en las concentraciones de polen y esporas de la atmósfera, con el objetivo de prevenir y apoyar a la medicina en el campo de las alergias (SHRIPAD Y CAULTON, 2009).

1.1.2. Procesos aerobiológicos y factores que influyen sobre la actividad polínica

Diversos organismos utilizan el medio aéreo para dispersarse, ya sean esporas de hongos, granos de polen o restos de tejidos vegetales y animales (ácaros y pequeños insectos), ya que energéticamente resulta menos costoso utilizar a la atmósfera para su dispersión debido a que así, se incrementa la eficacia de los movimientos y la tasa de reproducción (ISARD Y GAGE, 2001).

La atmósfera es un medio gaseoso e inestable que contiene un gran número de partículas en suspensión, las cuales pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Las partículas inorgánicas pueden

provenir ya sea de la actividad industrial, o de fuentes derivadas de la combustión, el uso de aerosoles. etc., mientras que los componentes orgánicos son el resultado de algún proceso biológico en el que la atmósfera participa como medio de transporte. Por lo tanto, los organismos se encuentran concentrados dentro de capas atmosféricas definidas durante el movimiento aéreo a grandes distancias (LOERA ET AL., 1994).

1.1.2.1. Capas de la atmósfera

La atmósfera se divide en varias capas, las cuales en orden ascendente son: tropósfera (0-16 km), estratósfera (16-50 km), mesósfera (50-80 km), ionósfera (80-640 km), exósfera (600-10,000 km) y magnetósfera (500-60,000 km). La capa en la que normalmente pueden encontrarse granos de polen es la tropósfera. En ella se producen importantes movimientos verticales y horizontales de masas de aire (vientos) y hay relativa abundancia de agua. Es la zona de las nubes en la que se producen los fenómenos atmosféricos que originan el clima. La temperatura en ella va disminuyendo conforme se incrementa la altura, hasta llegar a -70°C en su límite superior. No obstante, Meier colectó muestras de esporas en la estratósfera en 1930, mientras realizaba un vuelo con el famoso aviador Charles A. Lindbergh (GREGORY, 1973).

Para estudiar la presencia del polen en la atmósfera es fundamental tomar en cuenta que la variación en el espacio y tiempo del polen está condicionada por los procesos aerobiológicos que afectan a cualquier componente biogénico en la atmósfera: liberación, retención, dispersión, transporte, deposición, tal como Pathirane lo dijo en 1975. Otros autores como Gregory (1973), Nilsson (1992) y Spieksma et al. (1995) han publicado importantes trabajos tocando este tema y ampliando los conceptos.

Al estar inmerso el polen en un ambiente dinámico como la atmósfera, los factores meteorológicos influyen notablemente, determinando su concentración y su comportamiento en ella. Además, los diversos factores meteorológicos afectan la fisiología vegetal en cuanto a producción y liberación del polen; la luz, la temperatura, el agua del suelo y la humedad determinan el momento y la intensidad de la floración, haciendo variable la incidencia atmosférica de los granos de polen (gp) y su variación intradiaria. Otros factores que determinan la producción de polen en un área son la masa de vegetación y la composición de la flora local. Éstos están a su vez, bajo la influencia de las actividades urbanas, suburbanas, agrícolas, etc. (BENITO-RICA, 2003).

Los procesos aerobiológicos según Edmons y Benninghoff (1973), Gregory (1973), Spieksma (1992) e Isard y Cage (2001), entre otros, se dividen en: liberación, transporte, deposición y resuspensión.

En la figura 1 se puede observar un modelo conceptual de las interacciones biológicas y meteorológicas que gobiernan el movimiento de los organismos y las biopartículas en la atmósfera.

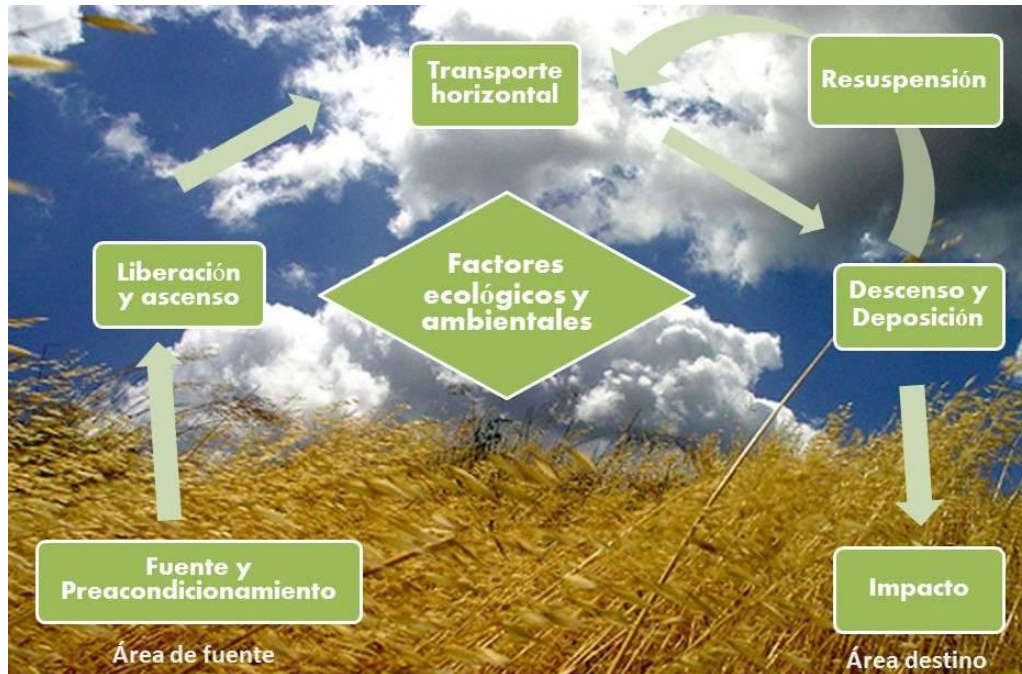


Figura 1. El proceso aerobiológico (EDMONS Y BENNINGHOFF, 1973; GREGORY, 1973; ISARD Y CAGE, 2001).

1.1.2.2. Liberación

El primer eslabón implicado es la producción de granos de polen. La fuente productora puede ser puntual, lineal o areal en función de la escala de producción a la que nos referimos. Así, una antera sería una fuente puntual y una hilera de árboles una fuente lineal, mientras que un bosque sería considerado como fuente areal (NILSSON, 1992).

Una vez que el grano de polen se desarrolla en las anteras pueden producirse dos fenómenos, polinación que será la acción y efecto de liberar el polen de la estructura reproductora masculina, y polinización que será cuando éste llegue o se haga llegar a la estructura reproductora femenina y para el cual debe existir algún medio de transporte.

Respecto a la liberación, se trata del paso de partículas, en este caso de granos de polen, desde la fuente de producción a la atmósfera. Dicho proceso está influenciado en gran medida por los factores meteorológicos, siendo el viento es uno de los más importantes. Normalmente, los granos de polen son liberados por medio de procesos pasivos como la acción del viento (especies anemófilas) o de procesos mecánicos de la propia planta (GREGORY, 1973; VON WHAL Y PULS, 1989). Los estambres suelen constar de filamentos largos, anteras versátiles y una elevada producción de polen para asegurar la polinización. Sin embargo, en ocasiones también tiene lugar un proceso activo de lanzamiento por parte de la planta, como ocurre con la mayoría de las poáceas y urticáceas (GREGORY, 1973).

La temperatura favorece la liberación del polen pues ocasiona mayor actividad de dehiscencia en las plantas que se encuentran en periodo de floración.

La humedad relativa influye sobre la vitalidad de la vegetación, el período de floración y por lo tanto el predominio de ciertas especies (DORIGHELLO, 2002). Puede definirse como la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en un m³ de aire y la cantidad de saturación, expresada en porcentaje. Este parámetro meteorológico juega un papel importante en la liberación de los granos de polen debido a que cuando la humedad es baja, se favorece la dehiscencia de las anteras por condiciones de sequía, de manera que muchas especies presentan un ritmo intradiario en el que la mayor concentración de polen atmosférico se asoció a las horas de máxima insolación, y por tanto, menor humedad (GREGORY, 1973). Por el contrario, cuando la humedad es alta inactiva la anthesis y dificulta la rotura de la pared de los sacos polínicos de cada antera, lo que ocasiona una menor liberación de polen a la atmósfera (BRONILLET, 1992).

1.1.2.3. Transporte

Al igual que la liberación, los fenómenos relacionados con la permanencia, transporte y dispersión en el aire también están fuertemente vinculados a los procesos atmosféricos, como las turbulencias, lluvias y convecciones térmicas que crean un transporte vertical u horizontal según sea el caso (JÁUREGUI, 1991). La humedad relativa indica la potencialidad de la atmósfera para producir lluvia. Ayuda a enfrentar el problema de la contaminación atmosférica, retirando contaminantes del aire por medio de procesos físicos conocidos como remoción por la vía húmeda o lavado atmosférico (DORIGHELLO, 2002) y propiciando la hidratación de los granos de polen, causando un aumento en el peso que hace lento el transporte y aumenta la deposición.

Otro factor determinante para el transporte es la presencia o ausencia de obstáculos (orografía, valles, océanos, obras civiles, etc.) que podrían facilitar o interferir en la dispersión. Las corrientes de convección, los vientos, la formación de los remolinos de aire, etc. facilitan el desplazamiento en altura de las partículas (transporte vertical), mientras que una topografía muy pronunciada limitará la dispersión de manera horizontal.

Aunado a esto, hay que tener en cuenta las características de los granos de polen que afectan su aerodinámica y velocidad de dispersión, como son forma, volumen, tamaño, peso, ornamentación, etc. (GREGORY, 1973). La velocidad terminal está dada por la acción de la fuerza de gravedad y la resistencia del aire, y determinará la velocidad máxima que alcance el polen en caer.

El polen anemófilo en su mayoría cae alrededor de los 100 m desde su origen, aunque en ocasiones puede viajar kilómetros (BENITO-RICA, 2003). Se pueden distinguir dos tipos de transporte según la distancia recorrida por el grano de polen. A escala local, cuando las partículas son depositadas en las proximidades de la fuente de producción, y a escala regional, donde las corrientes atmosféricas provocadas por calentamiento de la superficie terrestre desempeñan un papel de vital importancia ya que permiten a las partículas ascender a capas superiores de la atmósfera y ser desplazadas a mayor distancia (ISARD Y CAGE, 2001). El incremento en la altura y la distancia con respecto a la fuente de liberación provoca un descenso en la concentración de las partículas aerovagantes (GREGORY, 1973).

Existen numerosos casos de dispersión a grandes distancias, siendo uno de los más notables el hallazgo de polen de *Abies sibirica* a 1300 km de su origen. Actualmente se puede calcular la distancia de dispersión de los granos de polen desde su origen. Uno de los métodos empleados es la tinción y tratamiento radioactivo de los granos de polen. Otro ejemplo claro de este tipo de transporte son los granos de polen radioactivos a causa del desastre de Chernobyl, los cuales fueron transportados a grandes distancias (LINARES, 2007).

La dispersión polínica a grandes distancias en algunos casos puede tener consecuencias como el incremento en la concentración de polen de una localidad antes de que su vegetación entre en floración o cuando ésta ocurre, aumentando los niveles aeropolínicos normales e incluso “contaminando” el ambiente con nuevos tipos alergénicos (TERÁN ET AL., 2009).

Este fenómeno ha sido principalmente advertido en los países bajos al Norte de Europa, donde en zonas como Lapland, al norte de Finlandia, hasta el 70% de la suma total de polen de *Betula* en el aire proviene del Sur del país, y se registra en su ambiente antes de que comience el periodo de polinización local de ese taxón. Otro caso similar es el de Dinamarca, donde anualmente se reciben grandes cantidades de polen originario de Alemania y Polonia provocando cambios en el calendario de inicio y en la duración de la polinización de *Betula*, lo cual conlleva a situaciones desfavorables para los pacientes susceptibles (TERÁN ET AL., 2009).

1.1.2.4. Deposición

Al final de la trayectoria inevitablemente los granos de polen descienden de la atmósfera y pasan por el fenómeno de deposición en la superficie (agua, suelo, vegetación) o bien llegan a los órganos reproductores femeninos de otras plantas de la misma especie dándose el proceso de polinización del que se hablará más adelante. La causa más importante del proceso de deposición es la acción de la gravedad, especialmente para los granos de polen de gran tamaño (LOERA ET AL., 1994). Cuando la gravedad es el factor predominante para que éste proceso ocurra se denomina sedimentación, o deposición pasiva. No sólo las características intrínsecas del polen influyen su deposición, sino también los factores meteorológicos como la ausencia de turbulencias o la precipitación (LOERA ET AL., 1994; TRIVI ET AL., 2006).

Otro tipo de deposición descrita por Spieksma (1992) es la imputación o deposición activa, causada por la inercia y la cual tiene lugar cuando las partículas colisionan contra una superficie que interfiere en la trayectoria del flujo de aire. Esto suele ocurrirle a las partículas de tamaño medio como algunos granos de polen (10–50 μm) que se depositan en las mucosas de las vías respiratorias por impactación.

La difusión es el tercer tipo de deposición y es causado por los movimientos brownianos. Ocurre cuando las partículas pueden inhalarse y exhalarse repetidas veces antes de la deposición en bronquios, bronquiolos y alveolos. La difusión afecta principalmente a las partículas de tamaño muy reducido (inferior a 5 μm) que poseen velocidad de caída baja e inercia reducida (SPIEK SMA, 1992; BENITO-RICA, 2003).

Nilsson (1992) distingue otra clasificación de la deposición: deposición seca y deposición húmeda, en función de que intervenga o no la lluvia, ya que las precipitaciones limpian la atmósfera al arrastrar abajo las partículas de las capas superiores.

Debido a lo anterior, los granos de polen pueden quedar depositados, o bien impactar en diferentes tipos de receptores teniendo lugar la polinización o causando enfermedades en los humanos. Éste último efecto es el que une directamente la aeropalinología con la alergología.

Finalmente, una vez que los granos de polen han sido depositados en los diferentes sustratos existe la posibilidad de refluotación o resuspensión en la atmósfera, repitiéndose los fenómenos de transporte y deposición.

1.1.3. Método de muestreo

A través de la historia de los estudios aeropalinológicos se han desarrollado diversas técnicas de muestreo, sin embargo, la elección del método empleado debe basarse en los objetivos que se persiguen. En la actualidad, la mayor parte de las redes internacionales destinadas a estudios aerobiológicos enfocados a polen y con una aplicación clínica han adoptado el método basado en la captación por succión (BELMONTE, 2003).

Uno de los captadores más utilizados en la actualidad es el la trampa de esporas desarrollada por Hirst (1952) la cual se basa en un método de succión e impactación. La trampa de esporas tipo Hirst (TETH) ha sido modificada a través del tiempo para hacerla más funcional, destacando en este aspecto los modelos fabricados por Burkard Manufacturing Co.Ltd., UK. y Lanzoni s.r.l.Italia, que incluyen un motor eléctrico. La TETH de la marca Burkard es la más utilizada por las estaciones aerobiológicas que existen en la actualidad.

1.1.4. Aplicaciones de los estudios Aerobiológicos

La Aerobiología tiene numerosas aplicaciones de gran utilidad en diversas disciplinas del conocimiento.

En el ámbito científico permiten conocer la presencia y diversidad del polen en la atmósfera, reconstruir ecosistemas del pasado a través de los registros fósiles de polen, establecer calendarios de floración, y conocer las fluctuaciones de concentración de polen en el tiempo. También contribuyen a predecir las variaciones en las concentraciones polínicas causadas por los factores meteorológicos (GONZÁLEZ ET AL., 1997). Asimismo, las investigaciones aeropalinológicas permiten correlacionar el grado de representatividad de la vegetación del área con los datos de polen. En el caso particular del posible efecto generado por el cambio climático en la vegetación, a través de la observación de los cambios en los tiempos de polinización, etapas de floración más prolongadas, así como el establecimiento de especies alergénicas en zonas cuyo clima originalmente hubiera sido inadecuado para ellas, es posible identificar de qué manera y a qué grado el calentamiento global está interactuando con los ciclos naturales de las plantas y al estrés al que las somete debido a las sequías y aumentos de temperatura sobrenaturales (WILKINSON, 1989). De manera similar, estudiando las partículas adheridas a los granos de polen es posible conocer el impacto de la contaminación en el medio ambiente.

Los estudios aerobiológicos permiten colaborar con la alergología en el campo de la medicina, a través de la emisión de calendarios polínicos, así como dar a conocer en tiempo real las concentraciones de los granos de polen alergénicos en el aire, de forma que el médico al conocer la presencia de nuevas o conocidas especies, pueda realizar un mejor diagnóstico de la polinosis, un uso racional y adecuado de la medicación, conociendo el momento exacto en que debe iniciar y finalizar un tratamiento, así como poder realizar una terapia preventiva. Es posible lograr que los pacientes alérgicos conozcan y correlacionen sus síntomas con la presencia en el aire de estas partículas, para disminuir su exposición y mejorar los síntomas (SOEJARTO Y FONNEGRA, 1972).

En el campo de la agricultura y la industria, la Aerobiología contribuye al conocimiento de la fenología, la aparición de las malas hierbas y plagas fúngicas, así como la previsión de cultivos haciendo posible una planificación de mercado con antelación a la recolección. Permite mejorar el control de las plantas industriales en el área, conocer el grado de impacto de las emanaciones industriales en la contaminación del ambiente y

el ecosistema y determinar y discriminar diversidad de partículas biológicas y no biológicas que generan las emanaciones industriales.

Los beneficios para la reforestación también son importantes, ya que se pueden identificar las especies vegetales más adecuadas para el arbolado urbano y espacios verdes con el fin de evitar aquellas que afectan la salud de los habitantes por sensibilización alérgica.

1.1.5. Aspectos fisiológicos y morfológicos acerca del polen

La palabra polen procede del latín “pollen- inis”, que significa “flor de la harina” o “polvo muy fino”. El grano de polen o microspora es el gametofito masculino que mantiene la continuidad genética en las plantas (angiospermas y gimnospermas) de una generación a otra y se origina en sacos polínicos o microsporangios de la antera, como consecuencia de la meiosis de las células madre del polen (RAVEN, 1999; GUIDOS Y ALMEIDA, 2005).

En el caso de las angiospermas, los sacos polínicos están situados en las anteras. Éstas presenta dos cavidades llamadas tecas y cada una de ellas suele portar dos sacos polínicos. Una vez que el polen madura la antera se rasga permitiendo la liberación del polen al exterior.

El proceso de polinización de las plantas se refiere al traslado del polen desde las anteras hasta los estigmas de la flor de la misma planta u otro individuo en el caso de angiospermas (SOEJARTO Y FONNEGRA, 1972), o bien, desde un estróbilos masculino a uno femenino en gimnospermas. En algunas especies autóгамas el polen puede realizar su función en la misma flor o en la misma planta que lo ha formado, pero en la inmensa mayoría de las especies (plantas alógamas) el polen sólo resulta viable si alcanza una ovocélula de otra planta de su misma especie (BELMONTE ET AL., 2002).

Este transporte puede ser realizado por cualquier agente natural, ya sea el viento (anemófila), el agua (hidrófila), los animales (zoófila), el hombre (polinización artificial), o incluso ciertos mecanismos especializados en la flor. Los dos tipos de polinización más frecuentes en nuestras latitudes son: a través del aire (polinización anemófila) y la que utiliza insectos (polinización entomófila) ya sea a través de abejas, mariposas, escarabajos, etc. (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005).

La polinización anemófila es la más abundante para la mayoría de los granos de polen alérgicos que se encuentran en la Ciudad de México. Las plantas con esta característica suelen tener flores unisexuales, anteras de gran tamaño o mayor número de flores masculinas, alta relación polen/óvulo, polen seco, pequeño y liso (ENDRESS, 1998). Esta característica predomina en los ambientes secos y abiertos, tales como pastizales y sabanas, aunque también se presenta en especies arbóreas de bosques. Muchas flores que producen polen aéreo tienen filamentos largos y flexibles que permiten un movimiento libre con las corrientes de aire (ODGEN ET AL., 1974).

Los granos de polen de especies anemófilas deben ser especialmente resistentes para soportar condiciones ambientales adversas que podrían provocar el colapso y desecación de los componentes celulares, haciendo el polen inviable (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005). Es importante también que sean fácilmente transportados por el viento, por lo que suelen ser ligeros, con poca humedad y de superficie lisa, además de ser producidos en grandes cantidades.

Por otro lado, las especies entomófilas suelen tener flores de colores llamativos, fragantes, con recompensas como néctar y granos de polen con ornamentaciones, superficie pegajosa y una relación polen/óvulo moderada debido a que su reproducción es más segura (ENDRESS, 1998). No obstante, es frecuente encontrar este tipo de polen suspendido en la atmósfera debido al arrastre eólico u otras causas accidentales (SALAZAR, 1995).

1.1.5.1. Morfología polínica

Es posible diferenciar dos componentes principales del grano de polen: una pared celular más gruesa de lo común y de alta resistencia llamada esporodermo, y otra llamada citoplasma (una o varias células vivas que darán lugar a las células espermáticas). La función del esporodermo es proteger al citoplasma en el desplazamiento del grano de polen, ya que las células que contiene permanecerán vivas, por lo general, solamente algunos días después de que el grano escapa de la antera en la antésis, y en ciertos casos permanece vivo solo por varias horas (RAVEN, 1999; ECHLIN, 1968).

A diferencia del citoplasma, una parte de la esporodermis puede permanecer intacta incluso cuando el grano haya muerto mucho tiempo atrás, permitiendo observar la forma y el tamaño del grano de polen incluso después de millones de años, esto permite los estudios palinológicos.

En la naturaleza se encuentra una gran diversidad en formas y tamaños del polen, la cual es probablemente el resultado de una adaptación para asegurar el transporte hacia el estigma de la flor de la misma especie por varios portadores, como puede ser la gravedad (principalmente en autopolinización), el viento (polinización cruzada), los insectos (autopolinización y polinización cruzada), el agua (plantas acuáticas) y otros agentes como pájaros, murciélagos, etc. (SOEJARTO Y FONNEGRA, 1972).

Para clasificar los granos de polen se toman en consideración aspectos físicos como son el tamaño, forma, ornamentación de la pared celular y las aberturas que pueden presentar, de las que debe observarse el tipo (poros, colpos, la combinación de ambos o su ausencia), el número y la disposición en la superficie del grano, etc. (BELMONTE ET AL., 2002).

Los granos de polen suelen presentar tonalidades que van del blanco al rojizo, pasando por el amarillo – anaranjado, debido a que todos los granos de polen adoptan una coloración rosácea una vez que son teñidos con fucsina, únicamente es posible referirse a su color en términos de intensidad cuando los observamos al microscopio.

Los siguientes criterios están basados en la literatura de Trigo et al. (2007 y 2008) excepto cuándo se indica otra fuente adicional.

Unidades de dispersión

El polen se origina en grupos de cuatro a partir de la meiosis de la célula madre, dando como resultado tétradas. Al madurar, los granos que constituyen las tétradas, se separan en forma de granos individuales en la mayoría de las plantas, denominándose mónadas. No obstante, en algunas especies los granos no se separan y permanecen en condición de tétrada como *Acacia*, raras veces los granos se separan en pares, llamados diadas, y en casos especiales toda la masa de granos de polen formados en una antera se dispersan juntos conformando una polinia (figura 2).

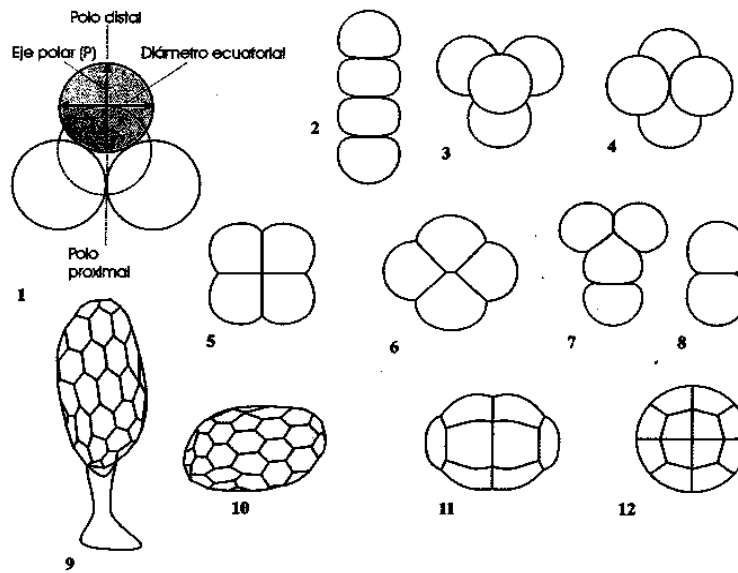


Figura 2. Grados de agrupación de los granos de polen. 1: Polaridad. 2-7: Diferentes tipos de tétradas: lineal (2), tetraédrica (3), decusada (4), cuadrangular (5), tetragonal o romboidal (6), en forma de T (7). 8: Diada. 9-10: Polinias. 11-12: Poliadas (TRIGO ET AL., 2008).

Polaridad

Durante la formación de los granos de polen en la tétrada y según su disposición en ella, los granos de polen presentan dos polos: el proximal que se halla hacia el centro de la tétrada, y el polo distal más alejado de éste (figura 2). El eje polar es una línea imaginaria que une el centro del polo proximal al polo distal. Si se traza una línea perpendicular al eje polar en su punto de mayor anchura tendremos al eje ecuatorial.

Debido a que los granos de polen suelen encontrarse separados de la tétrada, la situación del eje polar y ecuatorial la conoceremos de acuerdo a la posición que presenten las aberturas. De este modo, tal como se observa en la figura 3, es posible diferenciar un polen isopolar cuando el plano ecuatorial divide el grano en dos mitades idénticas (proximal y distal), mientras un polen será heteropolar si dichas mitades difieren en forma, tamaño o en las aberturas. Si la polaridad de un grano de polen es imposible de definir, se le denomina apolar.

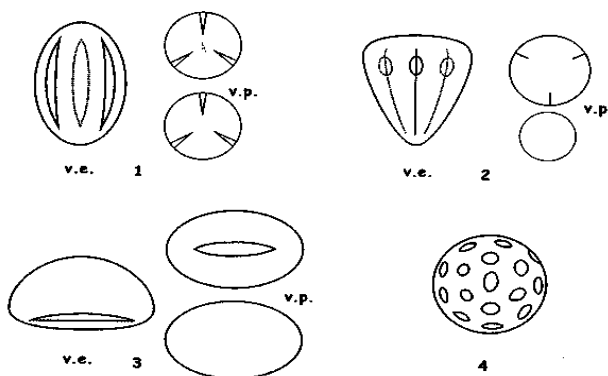


Figura 3. Polaridad. 1: Grano de polen isopolar. 2-3: Granos de polen heteropolares. 4: Grano de polen apolar (TRIGO ET AL., 2008).

Simetría

Una de las características más sobresalientes de un grano de polen es su simetría, y ésta se define siempre en vista polar.

En la figura 4 se observan distintos tipos de grano de polen según su simetría. Radiosimétrico será aquel grano de polen que en vista polar y corte óptico ecuatorial presenta 3 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.

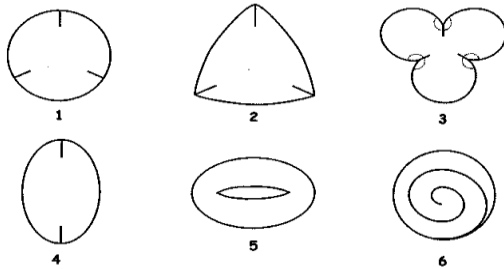


Figura 4. Simetría. 1-3: Granos de polen radiosimétricos. 4-5: Granos de polen bisimétricos. 6: Grano de polen asimétrico (TRIGO ET AL., 2008).

Forma

Aunque se establece observando al grano de polen en vista polar y corte óptico ecuatorial, o vista ecuatorial y corte óptico meridiano (denominándolo según la figura que asemeje: esférico, subesférico, elipsoidal, triangular, etc.), existe una terminología desarrollada por diversos autores para dar nombre a la forma de los granos de polen tomando en cuenta la relación existente entre la longitud de sus ejes polar (P) y ecuatorial (E). Dicha relación se conoce como Índice P/E, siendo la clasificación de Erdtman (1952) la más utilizada (tabla 1).

RELACIÓN P/E	FORMA
<0,50	PEROBLADO
0,50-0,75	OBLADO
0,75-0,88	SUBOBLADO
0,88-1	OBLADO-ESFEROIDAL
1	ESFEROIDAL
1-1,14	PROLADO-ESFEROIDAL
1,14-1,33	SUBPROLADO
1,33-2	PROLADO
>2	PERPROLADO

Tabla 1. Clasificación de Erdtman (1952) en función de la relación P/E

Tamaño

Los granos de polen varían considerablemente en cuanto a tamaño, registrándose variaciones entre 10 μm y 250 μm según la especie. Ésta característica se define tomando como referencia al eje (P o E) de

mayor longitud, aunque en caso de los granos de polen apolares se toma como parámetro la medida del diámetro.

Para clasificar a los granos de polen de acuerdo a su tamaño se utiliza la siguiente escala de valores establecida por Erdtman (1952):

- GRANOS DE POLEN MUY PEQUEÑOS: <10 μm
- GRANOS DE POLEN PEQUEÑOS: 10-25 μm
- GRANOS DE POLEN MEDIANOS: 25-50 μm
- GRANOS DE POLEN GRANDES: 50-100 μm
- GRANOS DE POLEN MUY GRANDES: 100-200 μm
- GRANOS DE POLEN GIGANTES: >200 μm

Estructura de la exina y ornamentaciones (escultura)

Los granos de polen desarrollan una pared externa resistente, la exina, y una pared interna, la intina. En conjunto forman el esporoderma (RAVEN, 1999).

La intina es aquella que está en contacto directo con la membrana celular, es delgada y suele ser poco resistente a temperaturas altas y a sustancias corrosivas. Su composición química es de celulosa, proteínas como la pectina y glucoproteínas, lo que le permite hidratarse y aumentar su tamaño considerablemente. También contiene enzimas que son consideradas como responsables de las reacciones alérgicas, así como de la autoincompatibilidad entre los vegetales (MÁRQUEZ ET AL., 1997). Su función principal es la formación del tubo polínico, por donde los gametos son transportados hasta el gameto femenino. Constituye además, una estructura amortiguadora al formar una especie de almohadilla entre el contenido celular y la exina.

Por su parte, la exina es más gruesa que la intina. Su componente principal es la esporopolenina, la cual consta de macromoléculas compuestas por polímeros de carotenos oxidados y ésteres de carotenos resistentes a la oxidación, ataque de ácidos y bases, así como a temperaturas superiores a 300 C°. Gracias a esa resistencia y dureza los granos de polen han logrado conservarse y permanecer en el registro fósil en los sedimentos de millones de años de antigüedad (RAVEN, 1999).

La exina suele estar ornamentada, motivo por el cual se han establecido diversos criterios para diferenciar la exina de cada especie. Faegri e Iversen (1956, 1975) atendieron a criterios ontogénicos y fisicoquímicos, clasificándola en endexina y ectexina. La endexina se encuentra en la parte más interna y tiene estructura lisa y homogénea, excepto en la parte apertural donde puede existir engrosamientos, mientras que la ectexina es la capa más externa formada a su vez por tres capas, téctum, infratéctum y capa basal.

Erdtman (1969) distingue dos capas desde el punto de vista morfológico, y divide a la exina en sexina y nexina. La nexina se encuentra más cercana a la intina y presenta una composición homogénea, mientras que la sexina se sitúa en la parte más externa de la exina y constituye una parte esencial para la clasificación de los granos de polen, debido a la variedad de estructuras y ornamentaciones que puede presentar según la especie (figura 5).

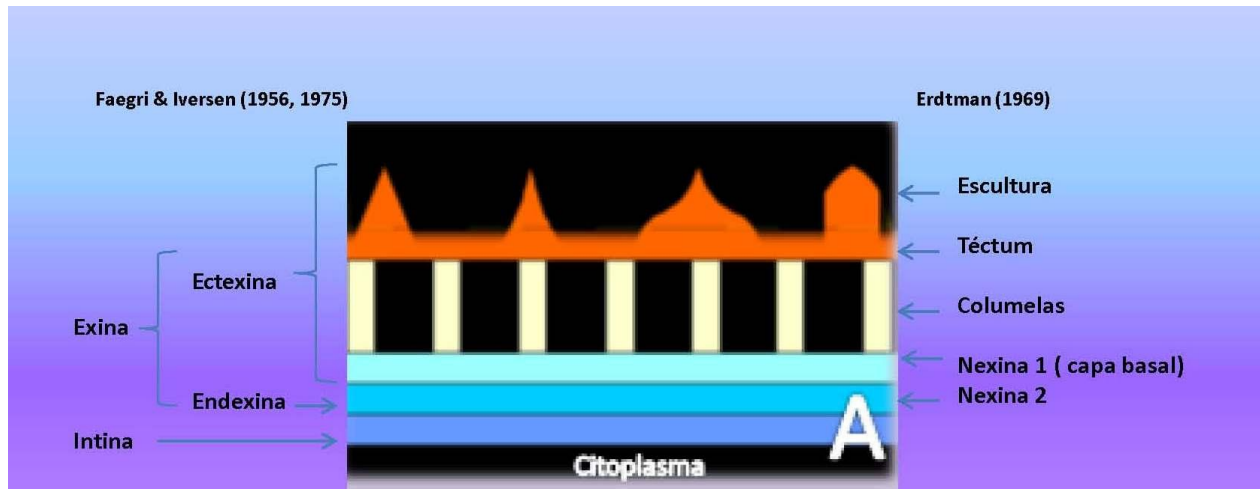


Figura 5. Capas de la exina según Faegri e Iversen (Izquierda) y Erdtman (Derecha).

La apariencia de la superficie del grano de polen está estrechamente relacionada con la estructura del téctum. Si éste es continuo o falta solo en la zona de las aberturas, se dice que el grano de polen es tectado o completo, si presenta discontinuidades se le denominará polen semitectado, diferenciando entre téctum perforado cuando el grano de polen tenga pequeños canales o perforaciones, y téctum parcial cuando haya lagunas o zonas completamente desprovistas de téctum.

Cuando el téctum está ausente, permitiendo incluso que se observen las columelas, báculos, verrugas, etc. se denomina al grano de polen intectado.

Sea o no la exina tectada, cuando ésta no es lisa o psilada puede presentar diversas ornamentaciones como estrías (superficie estriada), o formar rúgulas o estrías onduladas que se encuentran por encima del téctum.

Si el téctum es incompleto se forman retículos, denominándose lúmenes a las zonas sin téctum (orificios), y muros a las zonas donde el téctum se conserva. Si la anchura del lumen es mayor a su grosor, el polen será considerado reticulado, pero si por el contrario, los muros son más anchos que los lúmenes, se llamará foveolas o lúmenes redondeados, denominando a los granos de polen foveolados. En caso de que los lúmenes sean alargados, se les denominará fósulas y se dirá que el grano de polen es fosulado.

En los granos de polen con exina tectada, semitectada e incluso intectada, pueden presentarse uno o más elementos ornamentales que darán nombre al grano de polen según sea la ornamentación (figura 6).

GRÁNULO: su estructura es isodiamétrica, obtusa y de 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 3µm de longitud. Polen equinulado.

ESPINA: similar a la espínula, pero con una longitud de más de 3µm. se les llama granos de polen equinados.

GEMA: estructura obtusa, de más de 1µm de diámetro, más alto que ancho y constreñido en su base. Polen gemado.

CLAVA: elemento más o menos comprimido, de más de 1µm de longitud, más alto que ancho, y que se ensancha progresivamente hacia el ápice. Granos de polen clavados.

BÁCULO: estructura cilíndrica, más larga que ancha y de más de 1µm de longitud. Polen baculado.

PILA: elementos cilíndricos, de más de 1µm de longitud, más largos que anchos que presentan una dilatación brusca en la parte apical. Los granos de polen provistos de pilas se denominan pilados.

Cuando los elementos suprategatales no son semejantes a ninguno de los tipos descritos anteriormente y su tamaño es menor a 1µm, se dice que el grano que los presenta es escábrido.

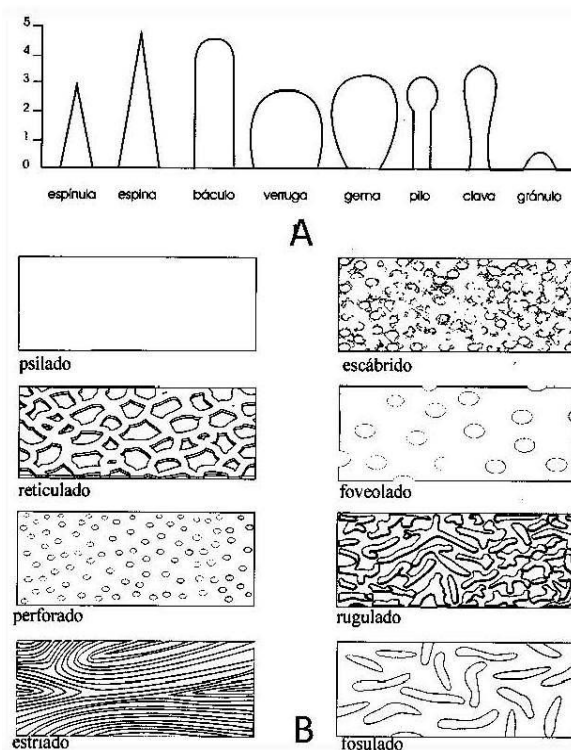


Figura 6. A: Elementos suprategatales. B: Vista en superficie de los tipos de tégatum más frecuentes (TRIGO ET AL., 2008).

Sistemas aberturales

Este sistema está formado por las aberturas, que son zonas adelgazadas o interrumpidas de la exina o al menos de una de sus capas.

Las aberturas están bien delimitadas y cumplen con dos funciones: constituir el lugar de salida del tubo polínico y favorecer los cambios de volumen del grano de polen, permitiendo su acomodación a los distintos grados de humedad (función harmomégata).

Frecuentemente, bajo las aberturas existe un engrosamiento de la intina, la cual se observa al microscopio óptico como una zona clara y permite diferenciar las aberturas germinativas de aquellas otras cuya función es únicamente harmomégata. A estas últimas aberturas se les denomina pseudoaberturas y pueden estar presentes ambos tipos en el mismo grano de polen.

Las aberturas no siempre están presentes en un grano de polen, denominándose inaberturados aquellos que carecen de aberturas definidas. Cuando esto ocurre la exina es delgada de modo que pueda romperse al formarse el tubo polínico. En la figura 7 se puede observar el grano de polen inaberturado característico de *Cupressus*.



Figura 7. Grano de polen inaberturado. Tipo polínico: Cupressaceae (PUNT ET AL., 2007).

En otras ocasiones existen zonas adelgazadas de la exina denominadas leptomas, cuya posición es fija y es a través de ellas por donde tiene lugar la salida del tubo polínico. Tal es el caso del pino, cuyo leptoma se sitúa en el polo distal, entre los dos sacos aéreos (figura 8).

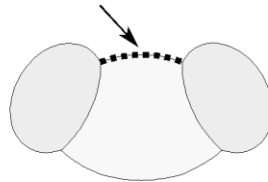


Figura 8. Leptoma en un grano de polen de *Pinus* (PUNT ET AL., 2007).

Si la abertura afecta solo a la sexina o a la nexina, se puede distinguir ectoaberturas y endoaberturas, respectivamente.

Respecto a la forma de la abertura, en la figura 9 se puede apreciar los dos tipos que existen.

COLPOS: cuando la relación longitud/anchura es mayor que 2, siempre midiendo la longitud en el sentido del eje polar.

POROS: cuando la relación longitud /anchura es menor que 2. Pueden llegar a presentarse aberturas alargadas como un colpo pero en el sentido del eje ecuatorial, a las cuales no llamaremos colpos sino sulcos.

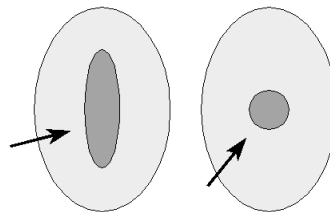


Figura 9. Tipos de abertura. A la izquierda colpo, a la derecha poro (PUNT ET AL., 2007).

Las aberturas que solo afectan a una capa de la exina, o que afectan a sexina y nexina pero tienen una forma coincidente en forma o tamaño, se denominan simples. Las que afectan ambas capas de la exina, y cuya forma no es coincidente en forma o tamaño, se conocen como compuestas. En este caso, al observarlas al microscopio dan la apariencia de ser dos aberturas superpuestas.

Se distinguen dos tipos de aberturas compuestas:

COLPORADAS: son las que están compuestas por una ectoabertura de tipo colpo y una endoabertura de cualquier tipo (figura 10A).

PORORADAS: son las compuestas por una ectoabertura de tipo poro más una endoabertura de cualquier tipo (figura 10B).



Figura 10. Tipos de aberturas compuestas. A: Aberturas colporadas. B: Aberturas pororadas (PUNT ET AL., 2007).

En las aberturas colporadas, de acuerdo a la posición de la endoabertura con respecto al colpo se observa una abertura lalongada si la endoabertura va en el mismo sentido que éste, o bien lalongada si la endoabertura está pedicularmente orientada respecto al colpo.

Puede ocurrir que las endoaberturas lalongadas de un mismo grano de polen, se unan por sus extremos dando lugar a una banda en la que falta totalmente la endexina, y cuya apariencia será a modo de cinturón o anillo interno de color claro, el cual rodea a todo el grano en la zona ecuatorial. A esto se le denomina colpus equatorialis.

La zona de las aberturas suele estar cubierta por una membrana que las cierra total o parcialmente, llamada membrana abertural. Dicha membrana es elástica, lo cual le permite dilatarse cuando el grano de polen se hidrata y encogerse en caso contrario, adaptándose a los cambios en la humedad.

La ornamentación de la membrana abertural puede presentar las siguientes estructuras:

MARGO: margen o área de la exina que rodea a los colpos y se diferencia claramente del resto de la superficie por su ornamentación.

ANILLO: área de la exina que rodea a un poro y que está originada por un engrosamiento o adelgazamiento de la misma o bien por presentar un tipo de ornamentación distinta al resto de la superficie del grano de polen.

OPÉRCULO: porción más o menos gruesa de la ectexina que se sitúa en el interior de un poro o colpo, a modo de tapón, y que está aislada del resto por una estrecha franja en la que falta por completo.

VESTÍBULO: pequeña cámara o cavidad que se produce por la separación de la sexina y la nexina a nivel de un poro.

COSTILLAS: engrosamiento de la nexina/endexina que queda por debajo del margen de las aberturas.

La posición de las aberturas delimita zonas de la superficie del grano de polen que se clasifican según el tipo de abertura.

MESOLCOPIO: es el área comprendida entre dos colpos adyacentes.

APOLCOPIO: es el área de la zona polar que queda delimitada por la línea imaginaria que une los extremos de los colpos.

MESOPORIO: es el área comprendida entre dos poros adyacentes.

APOPORIO: en un grano de polen zonoporado, es el área de la zona polar que queda delimitada por la línea que conecta el borde de los poros.

Sistema NPC para clasificar tipos polínicos

Erdtman (1952) propuso una nomenclatura para caracterizar los tipos polínicos con base en las características enlistadas con anterioridad: número (N), posición (P) y carácter de las aberturas (C).

Combinando estas tres propiedades es posible determinar el nombre del tipo polínico como se muestra en la tabla 2.

NÚMERO (N)	POSICIÓN (P)	CARÁCTER (C)
MONO (1 ABERTURA)	-CATA (POLO PROXIMAL)	-LEPTOMADO (LEPTOMA)
DI (2 ABERTURAS)	-ANA (POLO DISTAL)	-COLPADO (COLPO)
TRI (3 ABERTURAS)	-ANACATA (POLO PROXIMAL Y POLO DISTAL)	-PORADO (PORO)
TETRA (4 ABERTURAS)	-ZONO (EN UNA FRANJA ECUATORIAL)	-COLPORADO (COLPO + ENDOABERTURA)
PENTA (5 ABERTURAS)	-DIZONO (EN DOS FRANJAS ECUATORIALES)	-PORORADO (PORO + ENDOABERTURA)
HEXA (6 ABERTURAS)	-PANTO (POR TODA LA SUPERFICIE)	-SULCADO (SULCO)
POLI (MUCHAS ABERTURAS)		

Tabla 2. Sistema NPC de Erdtman (1952)

1.1.6. Alergia y salud

La prevalencia de las enfermedades alérgicas ha aumentado progresivamente desde las últimas décadas. Actualmente se estima que cerca del 40% de la población mundial presenta algún tipo de alergia y se pronostica que esta cifra se incremente conforme la contaminación atmosférica y la temperatura ambiente aumenten (PÉREZ ET AL., 2008; WAO WHITE BOOK ON ALLERGY 2011-2012).

Tan solo en el hemisferio Norte se estima que entre un 10 y 30% de las personas sufren o han sufrido síntomas alérgicos (RAVEN, 1999). En México, al igual que otros países de América Latina, los índices de prevalencia de síntomas de asma en niños van aumento en los últimos años. Sumado a la gran cantidad de adultos con algún tipo de reacción alérgica, este padecimiento es considerado un problema de salud pública ya que es una de las principales causas de morbilidad hospitalaria y de ingresos a urgencias pediátricas (TERÁN ET AL., 2009).

Los síntomas asociados a la alergia o respuesta inmunitaria de hipersensibilidad asociados a anticuerpos IgE, varían de un paciente a otro, aunque por lo general, van desde un cuadro de estornudos, rinorrea,

obstrucción de las vías nasales, lagrimeo, prurito conjuntival y faríngeo, rinitis alérgica, dermatitis atópica hasta síntomas más graves como cefaleas, irritabilidad, depresión, insomnio y asma (LARENAS ET AL., 2009).

1.1.6.1. Reacción alérgica

La alergia es la reacción de hipersensibilidad que presenta una persona sensible frente a un alérgeno el cual 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 (Inmunoglobulina E). La IgE es un tipo de anticuerpo de alta afinidad que actúa en los procesos alérgicos y de anafilaxia, así como en la respuesta inmune efectiva contra diversos agentes patógenos, especialmente parásitos (helmintos), por lo que sus niveles suelen estar bastante elevados tanto en pacientes alérgicos como en personas que sufran alguna parasitosis de este tipo.

La primera fase ocurre cuando al entrar en contacto con el alérgeno, los linfocitos B responden sintetizando inmunoglobulina E, la cual se une a células especiales del tejido conjuntivo (mastocitos) mientras logra reconocer al alérgeno. Cuando las moléculas de IgE ancladas a la superficie del mastocito se combinan con el antígeno en un segundo contacto, empieza un proceso que causa degranulación de las células cebadas sensibilizadas, con la consiguiente liberación de sustancias vasoactivas como la histamina, heparina y mediadores de inflamación como citosinas y quimiosinas, que atraen basófilos y eosinófilos, que en conjunto con los mastocitos son responsables de desencadenar los síntomas alérgicos como son la hinchazón, picazón, espasmos, urticaria, etc. (LARENAS ET AL., 2009).

La respuesta individual de un sujeto a un alérgeno dependerá de múltiples factores inherentes a él mismo y al alérgeno: estado del sistema inmune, dosis de alérgeno, frecuencia y ruta de penetración, así como la atopía o disposición genética a desarrollar enfermedad alérgica con producción excesiva de IgE, posterior a la exposición a alérgenos específicos. En pacientes atópicos, el riesgo de desarrollar alergias es 10 a 20 veces mayor que en sujetos no atópicos.

Los granos de polen, proteínas de ácaros y cucarachas, epitelios de animales y esporas de hongos, son los principales alérgenos que afectan al ser humano (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005). De ellos, el polen es uno de los factores causales más comunes de enfermedad alérgica en México, como en muchos otros países, reaccionando a él positivamente muchos de los pacientes alérgicos.

1.1.6.2. Polinosis

La composición química de los granos de polen varía de especie a especie, pero en general están constituidos por proteínas y glucoproteínas de bajo peso molecular, aminoácidos, ácidos aspártico y glutámico, vitaminas, oligoelementos y sustancias minerales, enzimas, sustancias antibióticas activas y hormonas, así como glúcidos en formas de diversos azúcares (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005) . Los granos de polen pueden liberar, además de los alérgenos, sustancias lipídicas, las cuales tienen la capacidad de reclutar y activar leucocitos polimorfonucleares, por lo que se sugiere que éstas podrían contribuir en forma directa al proceso inflamatorio característico de la inflamación alérgica. Gran número de granos de polen son multialérgicos, es decir, sus extractos proteicos contienen a veces hasta decenas de componentes alergénicos (TERÁN ET AL., 2009).

La concentración de polen en el aire suficiente para desencadenar una reacción alérgica es difícil de determinar, ya que depende de la sensibilidad de cada individuo y de la especie que se trate, debido a que algunos tipos de polen son mucho más reactivos que otros, necesitando una concentración baja para ocasionar una reacción alérgica, o viceversa. Aunque la cantidad de polen inhalado es un factor determinante para que una especie cause alergia, algunos tipos polínicos que salen directamente al aire en grandes cantidades, tales como los del pino, parecen no causar problemas de salud (STANLEY Y LINSKENS, 1974; SÁENZ, 1978; LEWIS ET AL., 1983; DOMÍNGUEZ ET AL., 1984; FOUNTAIN Y CORNFORD, 1991).

Aunque todos los granos de polen son potencialmente alergógenos, su capacidad para inducir enfermedad depende de si poseen o no grupos antigénicos específicos. Son las especies de dispersión anemófila las que presentan una mayor incidencia en la etiología de la polinosis debido a que se les encuentra en concentraciones mayores en el aire, de tal modo que el nivel de exposición es adecuado para evocar una respuesta inmunológica.

Para que se le considere a una planta como alergénica su polen debe presentar las características antes mencionadas, así como ser abundante en el área de estudio y presentar granos de polen con una morfología aerodinámica y con un tamaño entre 20 y 60 μm , de manera que se facilite su transporte y permanencia en el aire.

De acuerdo a la clasificación según nivel de alergenicidad, el polen será de bajo potencial si solamente ocasiona reacción en individuos sumamente sensibles, de alergenicidad moderada cuando provoca que muchas personas sensibles presenten síntomas, y aquel polen con alergenicidad alta tendrá como consecuencia reacciones severas en todos los individuos con diversos grados de sensibilidad (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005; TRIGO ET AL., 2007).

Por consenso internacional en estudios aerobiológicos se ha establecido una clasificación general para dividir a los tipos polínicos de árboles, herbáceas (malezas-arbustos) y pastos. En algunos casos, es posible identificarlos a nivel de género (por ej. *Fraxinus*, *Alnus*), familia (por ej. Poaceae) o grupos de familias (por ej. Amaranthaceae-Chenopodiaceae).

1.1.6.3. Efecto de la contaminación ambiental sobre la reacción alérgica

Si bien en el interior de las grandes ciudades la concentración de granos de polen es menor que en las zonas rurales, es en las grandes metrópolis donde se ha informado de una alta prevalencia de enfermedades respiratorias alérgicas y mayor gravedad de los síntomas en sujetos hipersensibles.

En la Ciudad de México, así como en otras grandes urbes, la contaminación es un factor que exagera la alergenicidad de los granos de polen, ya que los contaminantes causan un efecto directo sobre el propio grano, ocasionando que éste pueda expresar mayor cantidad de proteínas descritas como alergénicas (BARTRA ET AL., 2007).

Un ejemplo de ello son las gramíneas de las zonas contaminadas, las cuales presentan en sus granos de polen un mayor contenido de alérgenos Lol p5, respecto a las que crecen en las zonas rurales. Por lo tanto, el mismo grano de polen podría ser potencialmente más alergénico en las ciudades que en los alrededores (TERÁN ET AL., 2009).

Esto mismo no sucede en el caso de *Ambrosia*. Un estudio reciente ha demostrado que en zonas urbanas se produce un crecimiento más rápido de esta planta, con polinización más temprana y mayor producción de polen pero con menor alergenicidad del mismo en comparación con zonas rurales; atribuyen este comportamiento al influjo de la elevación de la temperatura media y de las concentraciones de CO₂, más manifiestas en el medio urbano y sugieren que dicho comportamiento sería similar a los efectos atribuidos al cambio climático global (ZAPATA-JIMÉNEZ, 2003; TERÁN ET AL., 2009).

Adicionalmente, se ha observado que las partículas procedentes de la combustión del diesel pueden recubrir al polen, incrementando de forma significativa la síntesis de IgE en pacientes atópicos (CARIÑANOS, 2002).

La contaminación del aire no solo afecta las propiedades alergénicas del polen, sino que también aumenta la sensibilidad de las vías aéreas a los aeroalergenos inhalados en pacientes atópicos. Los contaminantes en el ambiente de estas zonas son el ozono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre y materia particulada. La exposición a estos componentes daña la mucosa y el mecanismo de limpieza mucociliar, lo que facilita la penetración de los alérgenos en la vía aérea. En pacientes susceptibles, estos cambios son causa de exacerbación de enfermedades respiratorias.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

La Aerobiología se constituyó como ciencia después del 1er Congreso Mundial de Fitopatología, celebrado en Londres en 1968, cuando después de la solicitud hecha por Gregory y Benninghoff acerca de incluir en el programa el estudio del transporte aéreo de las esporas y otros materiales similares como una ciencia aparte, por fin se decide incluir a la Aerobiología como una de las disciplinas del Programa Internacional de Biología y en 1974 adquiere identidad propia fundándose la Asociación Internacional de Aerobiología (IAA), donde entraron a formar parte todos los investigadores que centraban sus estudios en este campo (RECIO, 1995).

Nilsson propuso en 1973 a la Unión Internacional de Ciencias Biológicas (IUBS) la creación de la asociación internacional de Aerobiología, la cual se constituyó en el Primer Congreso Internacional de Ecología celebrado en 1974 en La Haya, Holanda (BENNINGHOFF 1980; CHANDA, 1991).

Actualmente la IAA se reúne cada 4 años para discutir los resultados de sus investigaciones aerobiológicas. Durante el tercer Congreso Internacional (Suiza, 1986) tuvo lugar la creación de la European Aeroallergen Network (EAN)/European Pollen Information (EPI) cuya función es difundir y divulgar la información aerobiológica de más de 400 estaciones de muestreo distribuidas por 28 países de Europa, así como dar previsiones a través de Internet y canales de televisión europeos vía satélite, representando los niveles de polen con mapas de distribución (JAGER Y MANDRIOLI, 1993).

A partir de entonces, se crean una gran cantidad de Redes de Aerobiología en los distintos países Europeos, como es el caso de España, cuya Red Española de Aerobiología (REA) se creó en 1992 integrando todas las estaciones de monitoreo activas hasta ese momento.

Hoy en día, la REA es un sistema consolidado con cerca de 54 puntos de muestreo a lo largo de la Península Ibérica, y representa la red de información aerobiológica más importante de España y un

importante ejemplo a seguir para la creación de nuevas redes en otros países. Cada estación se gestiona independientemente, pero la metodología estandarizada permite enviar y comparar los resultados al banco de datos europeo, facilitando el cálculo de tendencias y distribución espacial del polen a través de mapas y por lo tanto, la capacidad de generar información aerobiológica para ser difundida a los medios de comunicación y medios del sector salud.

En el caso de América, la Asociación Panamericana de Aerobiología (PAAA), creada en 1989, es la encargada de reunir y difundir los resultados de la investigación aerobiológica dedicada al estudio del polen y otras partículas del aire, interconectando a distintas redes de países como Estados Unidos, Canadá, México, Argentina, Chile, etc.

Entre los estudios relevantes realizados en Latinoamérica, se puede mencionar el de Gattuso et al. (2003) para la Ciudad de Rosario, Argentina, y donde elaboraron calendarios de floración basándose en el conocimiento previo del arbolado urbano de la ciudad y de las observaciones directas realizadas. Encontraron que las especies arbóreas florecen a principios del otoño (*Cedrus* sp.), entre los meses de agosto y octubre y llegando algunos hasta finales del verano (*Eucaliptus* sp.), los pastos florecen en su mayoría en la segunda quincena de octubre y noviembre; y en el caso de las malezas, como Amaranthaceae-Chenopodiaceae, la floración es estival (verano). Monitorearon la atmósfera diariamente durante un año utilizando un equipo Rotorod, cuyo funcionamiento usa un método de impactación. Identificaron 24 tipos polínicos aéreos, la mayoría pertenecientes a plantas cultivadas que florecen en el periodo invierno-primavera. Los picos máximos se presentaron en septiembre y marzo, con 3 tipos polínicos principales: *Platanus x hispanica*, *Acer negundo* y *Fraxinus pensylvanica*.

Cada estación anual se caracterizó por el predominio de un tipo polínico: julio-agosto, Cupressaceae/Taxodiaceae; septiembre-octubre, *Platanus hispanica* y *Acer negundo*; y a partir de noviembre-diciembre no predominaron árboles ni arbustos, sino hierbas y gramíneas (GATTUSO ET AL., 2003).

En La Habana, Cuba, también se han llevado a cabo estudios aerobiológicos referentes al polen. González et al. (2009) monitoreó la atmósfera durante un ciclo anual en el municipio Boyeros. Para ese estudio utilizaron un método gravimétrico exponiendo láminas portaobjetos vaselinadas a una altura de 20 m, durante 24 horas en la azotea de un hospital de la región analizada.

El periodo con mayor incidencia de polen en el aire de la Habana fueron los meses de febrero y marzo. Los tipos polínicos predominantes fueron las oleáceas y gramíneas (GONZÁLEZ ET AL., 2009).

Cabe destacar que en Cuba los problemas alérgicos no son tan frecuentes ya que cuentan con un clima muy húmedo que impide al polen trasladarse fácilmente. Se identificaron dos épocas bien definidas: la estación seca (noviembre-abril) y la de lluvia (mayo- octubre).

Son muchos los países en donde actualmente el monitoreo aeropalínológico se lleva a cabo de manera frecuente y con técnicas mundialmente estandarizadas, como es el caso de Chile, donde Mardones et al. (2011) realizaron recientemente un estudio de 3 ciclos anuales, identificando a los granos de polen de la familia Poaceae, Cupressaceae y el género *Rumex* como los principales causantes de polinosis en la población que habita la ciudad de Temuco.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

En México son muy pocos los estudios aeropolinológicos que se realizan en la actualidad de forma continua y con un método realmente eficiente que permita utilizar la información acumulada en vías de realizar predicciones y calendarios polínicos fiables.

Diversos estados de la república cuentan con estudios aeropolínicos. Tal es el caso de la ciudad de Aguascalientes, donde por parte del programa de Investigaciones Biológicas, se hicieron 100 muestreos a lo largo de un año (agosto 1994 - julio 1995), tomando muestras de aire en 5 puntos de la ciudad. Utilizando un muestreador Rotorod a 1.5 m del suelo durante 72 minutos en cada muestreo, se tomó la mitad de las muestras por la mañana y la otra mitad por la tarde.

La concentración de granos de polen obtenida en la atmósfera fue muy baja, probablemente debido a varios factores entre los que destaca que Aguascalientes se sitúa en una zona semiárida donde la vegetación, que no es muy abundante, tiene un periodo de floración corto. Por otra parte, varias de las plantas presentes en el área son polinizadas por insectos, por lo que la cantidad de polen que producen es sensiblemente menor a la que producen las especies polinizadas por el viento (FLORES, 1996).

La mayor cantidad de polen colectado se registró al final de la época de lluvias (agosto y septiembre), cuando los pastos y otras plantas como *Ambrosia* estaban en floración. En cambio, casi todo el año se observó polen de rosa laurel (*Nerium oleander*), especie utilizada como ornamental en casi toda la ciudad y la cual florece prácticamente todo el año. También se identificó polen de otras plantas ornamentales como la *Bougainvillea* spp. (bugambilia) y el *Chrysanthemum* (crisantemo), sin embargo, no fue posible identificar cerca del 50% de los granos, a pesar de haber realizado laminillas de referencia de varias plantas con distribución urbana. Esto evidenció la falta de catálogos nacionales de los diferentes taxa, los cuales son muy necesarios y tendrían gran utilidad para las diversas investigaciones aerobiológicas y en otros campos.

Recientemente, Rocha et al. (2008) realizaron un estudio aerobiológico de la zona norte del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, el cual se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la Asociación Panamericana de Aerobiología (PAA). Se utilizó un captador volumétrico tipo Hirst (Burkard Manufacturing Co. Ltd., UK) para realizar el muestreo y compararon las muestras polínicas ya montadas con las de la palinoteca local.

Determinaron el periodo principal de polinación utilizando el criterio propuesto por Nilsson e identificaron un total de 64 tipos polínicos. Los meses de máxima concentración de polen fueron febrero y marzo. Tan sólo en ese tiempo se registró el 52.12 % del total anual. Los taxa en orden de abundancia fueron *Fraxinus* sp., *Parietaria pensylvanica*, *Cupressus* sp., *Morus* sp., Poaceae, *Celtis* sp., *Pinus* sp., *Ricinus communis*, *Ambrosia confertiflora* y Amaranthacea-Chenopodiaceae.

Respecto a la Ciudad de México, fue Salazar Mallén (1940) quién realizó el primer estudio sobre granos de polen atmosféricos del que se tiene registro. La información más relevante que se puede extraer de su trabajo es sobre la abundancia de granos de polen de cada taxón en ciertas épocas del año. La época de mayor abundancia anual de polen es la de sequía (noviembre a abril), debido a que en esa temporada diversas especies se encuentran en periodo de floración, además de que los elementos meteorológicos como humedad relativa baja, precipitación escasa y la velocidad del viento favorecen la suspensión y transportación de los granos de polen en la atmósfera. En la temporada de lluvias (mayo a octubre) ocurre lo contrario,

encontrándose concentraciones más bajas y menor riqueza de polen por la elevada precipitación y la alta humedad relativa (TERÁN ET AL., 2009).

En ese y los subsecuentes trabajos realizados por Mallén, los árboles representaron el grupo predominante durante ambas temporadas, sin embargo, el número de taxa y la densidad de éstos fueron mayores en la época de sequía respecto a lo que se colectó en la época de lluvias, confirmando el comportamiento descrito anteriormente en relación al clima. Los granos de polen de árboles que sobresalen por sus niveles aeropolínicos son *Pinus*, *Fraxinus*, *Cupressaceae*, *Alnus*, *Liquidambar*, *Callistemon* y *Casuarina*.

Por su parte, las malezas y pastos se detectaron todo el año, pero los picos máximos de concentración se presentaron en la temporada de lluvias. Las malezas más abundantes fueron las asteráceas, como *Ambrosia*, y las chenopodiáceas. En cuanto a los pastos se encontraron durante todo el año en la atmósfera.

A partir de entonces se realizaron otros estudios motivados por la creciente importancia del polen en temas de salud, pero debido a que en estos trabajos se utilizaron métodos no estandarizadas (a pesar de que en algunos trabajos se ocupó un captador volumétrico tipo HIRST), son pocos los conocimientos que se obtuvieron sobre la evolución, riqueza y concentración ambiental de los distintos tipos polínicos del Distrito Federal, de tal forma que los resultados no se pueden interpretar ni comparar con otras investigaciones.

Rosales (1985) realizó un estudio para identificar los tipos polínicos presentes en el aire del Distrito Federal, encontrando 24 taxa (8 familias y 16 géneros). Entre los tipos polínicos observados estuvieron los géneros *Pinus*, *Populus*, *Quercus*, *Eucaliptus*, *Cupressus*, etc., y la familia Asteraceae. La mayor abundancia de granos de polen tuvo lugar en la temporada de sequía.

Bronillet (1992) identificó y cuantificó los granos de polen presentes en el aire de la zona Norte de la Ciudad de México, reportando 24 taxa, de los cuales 15 coinciden con los registrados por Rosales como alergénicos. Entre los taxa más importantes se encontraron los géneros *Abies*, *Pinus*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Alnus*, *Liquidambar*, *Quercus*, *Eucaliptus*, *Populus*, etc., y las familias Cyperaceae, Asteraceae y Cupressaceae.

Diversos estudios sobre el aire de la Ciudad de México siguieron emergiendo. Salazar Coria (1995) tomó muestras de aire de la zona Sur de la Ciudad durante un año, observando 24 taxa pertenecientes a 9 familias. Los tipos polínicos presentes en la época de secas fueron: *Pinus*, Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae y *Cupressus-Juniperus*. Durante ese periodo se rebasó la concentración de polen en el aire que un individuo necesita para presentar reacciones alérgicas. Los pastos y malezas abundaron en la época de lluvia, periodo en el cual la concentración de polen disminuyó. Los tipos polínicos dominantes fueron *Pinus*, *Casuarina equisetifolia*, *Cupressus-Juniperus*, Poaceae y Amaranthaceae-Chenopodiaceae. En general, la mayor concentración de polen se registró en los horarios vespertinos y durante la época seca del año. Los factores que influyeron fueron la humedad relativa baja, las altas temperaturas, la ausencia de precipitación, y obviamente la propia época de floración de cada taxón.

Por otra parte, Ramírez et al. (1995) identificaron 80 tipos polínicos en el suroeste de la Ciudad de México, sobresaliendo los géneros *Acacia*, *Alnus*, *Casuarina*, *Salix*, *Eucaliptus*, *Fraxinus*, *Thitonia*, *Quercus*, *Morus*, y las familias Poaceae y Liliaceae. La fenología local de cada especie jugó un papel determinante (CID, 2007).

Cid (2007) llevó a cabo un muestreo aeropalínológico de dos zonas del Distrito Federal. Entre los resultados obtenidos en ese estudio se registraron 60 taxa pertenecientes a 11 familias, de los cuales 27 son conocidos por su potencial alergénico. Dicho trabajo proporcionó datos importantes sobre el papel que juegan los factores meteorológicos, tales como la relación positiva de la concentración de polen aerovagante con la temperatura y la velocidad del viento, así como la relación negativa con la humedad relativa y la precipitación. Dicho estudio constó de 6 meses: marzo, abril y mayo (época de sequía), y junio, julio y agosto (época de lluvias). Al no completar un año de muestreo y diferir en el análisis de datos (según lo propuesto por las Redes Internacionales de Aerobiología), se reafirma la necesidad de estandarizar y mantener constante el estudio atmosférico del polen del Distrito Federal, así como de otras ciudades de la República. Por otro lado, debido a que ese y los trabajos mencionados anteriormente se realizaron en zonas distintas a la del presente trabajo, no es posible homologar resultados en su totalidad.

Al igual que en otros países, los trabajos aerobiológicos que se realizan en México en la actualidad están mayormente relacionados con la salud pública, ya que cada día son más los taxa identificados como causantes de alergia y otros problemas en la salud vinculados a ésta. Es por esto que la mayor parte de la investigación que se lleva a cabo, o a cuyas publicaciones se puede acceder fácilmente, es realizada en colaboración con el sector salud, ya sean clínicas y hospitales, farmacéuticas, o revistas y publicaciones de alergia e inmunología.

Con el fin de lograr una mejor y más amplia difusión de los avances aeropalínológicos en México, es importante que los estudios aerobiológicos se estandaricen en cuanto a método y análisis de datos, así como que se involucren todos los sectores que pueden ser beneficiados con este tipo de investigación, como el de Salud, Medio Ambiente, etc.

1.2.3. Red Mexicana de Aerobiología

La creación de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA) surgió como una constante inquietud en los años 90 por parte de la Dra. María del Carmen Calderón Ezquerro, quien después de varios años de muestreo aerobiológico de esporas y hongos e inspirada en la continua creación de redes en los países de Europa, Estados Unidos y Canadá, decidió iniciar con un proyecto de muestreo polínico en la Ciudad de México, que tuviese la capacidad de ampliarse hasta ser de carácter nacional.

Fue después del 9o Congreso Internacional de Aerobiología celebrado en 2007 y tras conversar con la doctora María del Mar Trigo Pérez, perteneciente a la Red Española de Aerobiología, que ésta idea logró concretarse, ante la necesidad de determinar y cuantificar de manera continua la presencia de los granos de polen dispersos en la atmósfera tanto de la Ciudad de México, como de los diversos estados que conforman la República Mexicana.

De esta manera, en 2008 se inició el planteamiento para conformar la REMA a través de la búsqueda de apoyos financieros de diversas instituciones nacionales interesadas.

El muestreo de la microbiota del aire de la Ciudad de México se inició con dos estaciones de monitoreo localizadas en diferentes áreas (Coyoacán y Miguel Hidalgo), basándose en la diferencia de vegetación y de microclimas presentes en la ciudad (ESTRADA ET AL., 2009). La estación de monitoreo con la cual se realizó el presente estudio, fue la colocada en la zona poniente de la ciudad, en la Delegación Miguel Hidalgo, y fue la segunda en echar a andar a mitad del 2008.

El nombre de la REMA, sus funciones y su logo fueron registrados, siendo la UNAM la sede de su coordinación y cuyas tareas son, entre otras, las de recibir, almacenar y organizar los datos obtenidos en las diferentes localidades analizadas, así como difundir dicha información a los medios de comunicación.

1.3. Área de estudio

La Ciudad de México o Distrito Federal se ubica en el centro-sur del país, ocupando la cuenca hidrográfica del Valle de México en las coordenadas 19° 36' - 19° 02' N y 98° 56' - 99° 22' O, así como la zona geológica de lagos y volcanes del Anáhuac, formando parte del eje volcánico- transversal. Con una extensión de 1,495 kilómetros cuadrados, el 45% de la ciudad se encuentra principalmente urbanizado (zona norte y centro), mientras que el 55 %, distribuido al sur y el este presenta un uso de suelo rural, abarcando reservas ecológicas, actividades forestales y agrícolas (INEGI, 2010).

Al tener una altura de 2240 metros sobre el nivel del mar que se incrementa de Norte a Sur, y una ubicación todavía en el trópico, el Distrito Federal presenta una gran variedad de climas (JÁUREGUI Y LUYANDO, 1992; ESTRADA ET AL., 2009). En el 87% de su territorio se presenta clima templado subhúmedo, el 7% presenta clima seco y semiseco, mientras que el 6% restante tiene un clima templado húmedo. La temperatura media anual es de 16°C. La temperatura más alta, mayor a 25°C, se presenta en los meses de marzo a mayo y la más baja, alrededor de 5°C, en el mes de enero (INEGI, 2010).

La temporada de lluvias en el Distrito Federal abarca de mayo a octubre (JÁUREGUI Y TEJEDA, 1997) si bien la pluviosidad es mayor entre los meses de junio y septiembre. La altitud condiciona la temperatura y los ecosistemas en el Distrito Federal (JÁUREGUI, 2000). El patrón de las lluvias indica que son más abundantes mientras mayor sea la altitud de un sitio. La precipitación total anual es variable: en regiones secas como el norte de la Ciudad, la precipitación anual es de 400-500 mm, mientras que al centro y sur, especialmente al pie de las montañas, la precipitación puede llegar a ser de 1, 200 mm anuales (ESTRADA ET AL., 2009). La precipitación anual para la zona completa del Distrito federal es de 827 mm (URL 1).

Uno de los puntos más importantes a considerar antes de echar a andar la Red Mexicana de Aerobiología, fue el establecer las diferentes zonas de estudio que se ubicarían dentro del Distrito Federal, las cuales deberían ser representativas al observar la relación que hay entre la concentración de granos de polen en el aire con la heterogeneidad de clima, vegetación y nivel de urbanización de la Ciudad. Para esto se tomó en cuenta el estudio hecho por Estrada et al. (2009), el cual aplicó análisis multivariado a promedios de 30 años de datos provenientes de 37 estaciones meteorológicas distintas, para definir zonas climáticas dentro de la Ciudad de México.

Los factores que afectan y constituyen el clima de una zona pueden ser naturales o antropogénicos. Entre los primeros encontramos la topografía, latitud, tipo y cantidad de vegetación, así como la hidrología del lugar. El nivel de urbanización, contaminación ambiental y el tipo de uso de suelo, entre otros, son factores humanos que forman parte importante del clima, de esta manera, en zonas urbanizadas, la temperatura tiende a ser alta y la precipitación baja, por el contrario, en las zonas forestales, cuya elevación tiende a ser mayor, el clima es más húmedo y frío.

Estrada (2009), dividió a la Ciudad de México en dos regiones climáticas, y 4 subregiones climáticas, definidas principalmente por la topografía y por el uso de suelo. Las cuatro subregiones son: región de baja

altitud suburbanizada, región de baja altitud altamente urbanizada, región de pie de montaña urbanizada, y región de bosque de gran altitud.

1.4. Estación de muestreo Chapultepec (Delegación Miguel Hidalgo)

Considerando que las diferentes estaciones de muestreo de la REMA deben distribuirse de manera que se abarquen los microclimas del Distrito Federal que se mencionaron anteriormente, para este estudio se eligió la Delegación Miguel Hidalgo (figura 11), la cual cuenta principalmente con regiones urbanizadas en pie de montaña, así como áreas completamente forestales.



Figura 11. Mapa del Distrito Federal señalando la Delegación Miguel Hidalgo.

Situada al poniente de la capital, esta Delegación política abarca el 3.1% de la superficie del Distrito Federal con 47.69 km², e incluye al Bosque de Chapultepec 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; INEGI 2010). Éste bosque (figura 12) representa el área verde de mayor extensión dentro de la ciudad ocupando 686.01 hectáreas (CASASOLA, 2006; GDF, 2006A). Presenta una diferencia de altitud en el relieve, que va de los 2,200 a más de 2,500 msnm en la parte alta de la 3ª sección (MOLINA, 1979; INEGI, 2005).



Figura 12. Bosque de Chapultepec.

Geología

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

Fisiografía e hidrografía

Uno de los puntos más elevados de la Delegación Miguel Hidalgo es el cerro de Chapultepec con una elevación de 2280 m.s.n.m. Este monte marca el inicio de las serranías que recorren desde el oeste hasta el sureste el Distrito Federal, y separan al Valle de México de los valles de Toluca y de Morelos. La sierra de las Cruces es parte de ese sistema, de ella bajan la mayor parte de los ríos que aún surcan el Distrito Federal. La principal cuenca hidrológica proviene de la región Lerma-Santiago y las corrientes de agua son el Río de la Piedad (entubado), Tacubaya y Becerra, así como los cuerpos principales de agua son los dos lagos artificiales de Chapultepec y dos presas, una ubicada en el Panteón Civil de Dolores, y la otra en la barranca de Tecamachalco, que comparte con el Estado de México.

Antiguamente existían en Chapultepec, manantiales que incluso surtían de agua a la Ciudad de México. Sin embargo, actualmente los escurrimientos superficiales son muy escasos, presentándose éstos solamente en las cañadas que se encuentran en la tercera sección, y en épocas de lluvia. Todas estas cañadas confluyen en la porción norte del panteón de Dolores, donde se encuentra una pequeña presa (GUERRERO, 1997).

Clima

Debido a la localización geográfica, la altitud, el grado de urbanización y la vasta vegetación en la zona, el clima de la Delegación Miguel Hidalgo es del tipo C (w) (Köppen) templado subhúmedo. Hacia la primera sección varía a un clima C (wo) que tiende a ser más seco y hacia la tercera sección varía a un clima C (w2) que tiende a ser más húmedo debido a lo accidentado del terreno y a su mayor vegetación (INEGI, 2011).

Las temperaturas máximas registradas se presentan generalmente en mayo (30° C) y las mínimas en los meses de noviembre a febrero (PUEC-UNAM, 2002; INEGI 2005; INEGI, 2011).

La temperatura media anual es de 15.6°C y la precipitación promedio de 787.7 mm (Estación Meteorológica 09-049 de Tacubaya). A éste volumen una mayor cantidad es aportada durante los meses de junio a septiembre. El régimen de lluvia es de verano. Aumentan paulatinamente los días de lluvia apreciable de abril a julio y de julio a diciembre, se registra una marcada disminución (INEGI, 2011).

Se ha observado que al interior del Bosque de Chapultepec las temperaturas son 6°C más bajas y la humedad relativa es 40% más alta que en su entorno, lo cual demuestra que dicha área verde funciona como atenuador de la “isla de calor”, producto de la urbanización de la Ciudad de México. Además, el microclima del Bosque de Chapultepec en esencia no ha sufrido modificaciones en las últimas décadas a pesar de la urbanización y ha sido mayor el efecto del bosque hacia la ciudad, que de la ciudad al bosque (CASASOLA, 2006).

Vegetación

Existe muy poca información acerca del tipo de vegetación presente en la Delegación Miguel Hidalgo, ya que la flora se encuentra distribuida en banquetas, camellones, parques, jardines particulares, etc; por lo que es difícil saber con seguridad que especies existen en la zona, sin embargo, se cuenta con bastante información acerca de la flora del Bosque de Chapultepec. Este bosque, parte natural y parte artificial, es el bosque urbano más grande de Latinoamérica, y constituye una importante fuente de oxígeno para el medio ambiente. Su territorio comprende la zona natural protegida ubicada en tercera sección del bosque, la cual es una fuente de servicios ambientales y posee una gran importancia ecológica para especies de flora y fauna, siendo el hábitat de 222 especies de aves y mamíferos y 105 especies de árboles (GDF, 2006A).

Las fuentes históricas brindan un panorama acerca de las condiciones naturales y del componente arbóreo y arbustivo de la zona. Humboldt, en su “Ensayo Político sobre la Nueva España”, comenta la existencia de una frondosa vegetación, “antiguos ahuehetes (*Taxodium spp.*) que levantan sus copas por encima de los pirules (*Schinus mole*)”. A su vez, en la “Monarquía Indiana” se menciona la existencia de cipreses (*Cupressus spp.*) y sauces llorones (*Salix spp.*), y es posible extrapolar la presencia de especies existentes en el área urbana de Chapultepec, como es el caso de los olmos (*Ulmus spp.*), plátanos de sombra (*Platanus spp.*), moreras (*Morus spp.*), higueras (*Ficus spp.*) y algunas especies nativas del Valle de México, como Liquidámbar (*Liquidambar sp.*), capulín (*Prunus serotina*), pino (*Pinus spp.*), abeto (*Abies spp.*) y otras (TOVAR, 1982).

La primera introducción de especies tropicales, medicinales y exóticas fue ordenada por Moctezuma. Posteriormente, debido a la gran deforestación causada por los enfrentamientos por la colonización, los españoles iniciaron un proceso de reforestación con especies exóticas de otros continentes, y durante el Porfiriato se realizó una intensa rehabilitación con truenos (*Ligustrum spp.*). Actualmente el 50% de la vegetación que se encuentra en el Bosque de Chapultepec es introducida (OROZCO, 2007).

Hoy en día, la recopilación de los registros de especies presentes en Chapultepec suma cerca de 71 familias de plantas que incluyen al menos 105 especies de árboles (GUERRERO, 1997; GDF 2006A; GDF

2006B; INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008). El listado completo de especies puede consultarse en el anexo 2.

De éstos árboles, se realizó el cálculo aproximado para la segunda Sección del bosque y los resultados obtenidos muestran que la gran mayoría de árboles registrados (23,962 individuos, es decir el 74.4 %), se ubican en tan sólo cinco especies: fresno (*Fraxinus uhdei*), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), trueno lila (*Ligustrum lucidum*), pino radiata (*Pinus radiata*) y casuarina (*Casuarina equisetifolia*) (GDF, 2006B; OROZCO, 2007).

Taxodium mucronatum, mejor conocido localmente como Ahuehuete, fue históricamente la especie vegetal más representativa de Chapultepec, aunque actualmente el fresno (*Fraxinus spp.*) es el más abundante en la zona debido a su extensa utilización en reforestaciones urbanas. También encontramos 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*.

Otros tipos de árboles presentes son el trueno (*Ligustrum vulgare*), álamo (*Populus spp.*), pirúl (*Schinus molle*); palmeras (*Phoenix canariensis*), aile (*Alnus acuminata*), laurel llorón (*Ficus benjamina*), higuera o sicomoro (*Ficus sycomorus*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), capulín (*Prunus serotina*), tejocote (*Crataegus pubescens*), tuja (*Thuja occidentalis*), agave (*Agave sp.*), chapulxtle (*Dodonaea viscosa*), yuca (*Yucca elephantipes*), tepozán (*Buddleia cordata*), limonero (*Citrus limon*), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), etc.

En cuanto a las malezas predominantes en Chapultepec, las familias Asteraceae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, Polygonaceae, Rosaceae y Solanaceae son las más representativas (GUERRERO, 1997). También se encuentran algunas hierbas de las familias Amarylidaceae, Commenilaceae, Cyperaceae y Liliaceae (GDFB, 2006).

Acerca de los pastos cultivados, se encuentran principalmente especies de la familia Poaceae.

Otras especies vegetales que se distribuyen a lo largo de la Delegación Miguel Hidalgo son los helechos, así como una gran cantidad de crasuláceas, orquídeas y cactáceas cultivadas en el Jardín Botánico (GDFB, 2006; GDFB, 2006).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

Monitorear la zona de Miguel Hidalgo durante un ciclo anual, para identificar y cuantificar los granos de polen presentes en el aire, así como determinar su relación con los factores meteorológicos que inciden sobre esa zona de la Ciudad de México, de manera que se obtenga el espectro polínico y sus posibles efectos en la salud.

2.2. Objetivos Particulares:

- Identificar la concentración de los tipos polínicos presentes en la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo, así como la variación de los mismos durante el ciclo anual 2008-2009.
- Reportar la variación estacional e intradiaria de los tipos polínicos colectados de la atmósfera.
- Caracterizar la influencia de los parámetros meteorológicos sobre la presencia del polen atmosférico en la zona de Miguel Hidalgo.

3. JUSTIFICACIÓN

La población alérgica que existe a nivel mundial va en aumento día con día. En países desarrollados las Redes Aerobiológicas están bien constituidas y tienen una gran influencia positiva y de apoyo para los pacientes sensibilizados al polen, sin embargo, en el caso de América Latina, específicamente México, la investigación realizada sobre el tema aún está en desarrollo y no cuenta con la difusión debida.

Las metodologías que se emplean apenas empiezan a tomar como referencia estándares internacionales, con el objetivo de que la información obtenida pueda incluirse y compararse con la emitida por las redes a nivel mundial.

En la Ciudad de México, la cual es una de las urbes con mayor población (8, 851,080 habitantes), en relación al tamaño de su territorio (1,495 km²) (INEGI, 2010), la población alérgica cada día es más y sumado este factor con el alto índice de contaminación ambiental se llega a la necesidad de conocer los tipos de granos de polen aerovagantes y su concentración en las distintas épocas del año (BRAVO ET AL., 1991; JÁUREGUI, 1991).

La zona de Miguel Hidalgo comprende una superficie considerable de la vegetación del Distrito Federal, sobre todo debido a que en su territorio se encuentra uno de los "pulmones" de aire más grandes de la Ciudad: El Bosque de Chapultepec. No obstante, este manchón vegetativo no solo funge como fuente de oxígeno, sino que contrastantemente puede interactuar de manera negativa causando polinosis a una población por demás urbanizada, la cual día con día está sometida a los contaminantes atmosféricos que exacerban las reacciones alérgicas mermando su salud.

Es por esto que es importante realizar estudios aeropolinológicos en zonas representativas de la ciudad y conocer los factores ambientales que influyen sobre la liberación, distribución y concentración de los tipos polínicos presentes en el área de estudio. Esto permitirá tener un mejor entendimiento de la relación entre los niveles aeropolínicos en la atmósfera y la reacción alérgica de la población, así como conocer de qué modo la

contaminación atmosférica y los cambios en los parámetros climáticos están alterando las etapas de floración de las plantas.

4. MÉTODO

4.1. Monitoreo aerobiológico y situación del captador

El monitoreo de granos de polen del aire se realizó con una trampa de esporas tipo Hirst (TETH) (Burkard Manufacturing Co. Ltd., UK), cuyo funcionamiento se basa en el fundamento teórico de succión e impactación que permite muestrear en función del tiempo y volumen por medio de una bomba de vacío (GALÁN ET AL., 2007). Este aparato aspira un flujo de aire a través de una bomba de vacío, a razón de 10 litros/min (vol. inhalado en término medio por una persona en estado de reposo) a través de un orificio de 2 x 14 mm (figura 13).



Figura 13. Trampa de esporas tipo Hirst (Burkard) ubicada en la azotea del Museo de Historia Natural, dentro del bosque de Chapultepec.

Las partículas contenidas en el aire se impactan en un medio adhesivo (cinta de celofán transparente, montada sobre un tambor y recubierta de una fina capa de silicona), el cual por medio de un mecanismo de relojería se mueve a una velocidad 2 mm/hora permitiendo un muestreo del aire y continuo (la cinta se retira semanalmente).

Una veleta adosada al exterior del captador orienta el aparato de tal forma que el orificio de aspiración esté posicionado en la dirección en que sopla el viento y de ésta manera sean captadas las partículas transportadas por las corrientes de aire

Las ventajas de este método son que permite obtener datos homologables, independientemente de las características biogeográficas y climáticas de la zona de estudio, gracias a su estructura resistente puede permanecer en el exterior sometido a las inclemencias meteorológicas y su funcionamiento y mantenimiento es muy sencillo, requiriendo tan solo de una conexión eléctrica fija (GALÁN ET AL., 2007), y finalmente, captura partículas desde 1 a 100 μm , permitiendo conocer la variación diaria y horaria de la concentración de dichas partículas impactadas.

4.2. Sitio de muestreo

El Captador fue situado sobre la azotea de las oficinas principales del Museo de Historia Natural en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec (figura 14), a una altura aproximada de 10 m sobre el nivel del suelo y sin construcciones de gran altitud a los alrededores que impidan el libre flujo de aire en torno al muestreador.

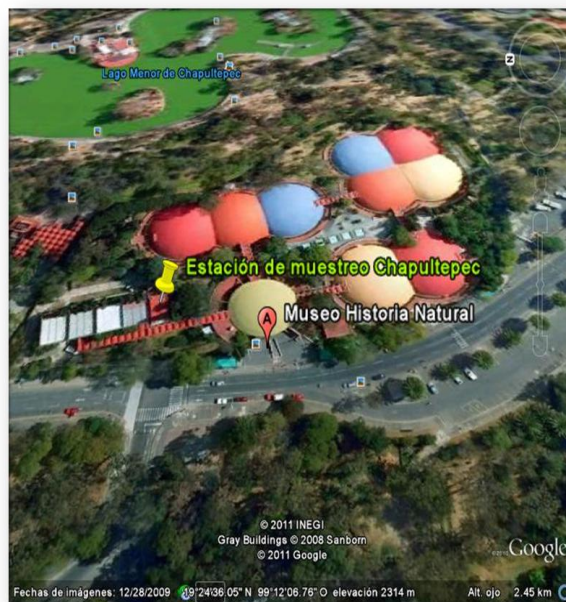


Figura 14. Localización de la estación de muestreo. Fuente: Google Earth

La elección del sitio donde se colocó la TETH tuvo en cuenta los requisitos establecidos en el Manual de Calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología (REA) (2007), así como los siguientes aspectos:

- A. Se ubica sobre una superficie horizontal, plana, evitando el borde del edificio para evitar turbulencias relacionadas por el choque de viento contra el obstáculo.
- B. Se encuentra situado en un lugar representativo del área seleccionada para el monitoreo de granos de polen. El bosque de Chapultepec es el principal parque recreativo y cultural de la urbe, y representa un "pulmón" natural importante dentro de la Ciudad.
- C. Las instalaciones tienen una altura aproximada de 10 m, aunque lo recomendado por la REA son 15 m sobre el nivel del suelo (RECIO, 1995). Al encontrarse en una zona abierta, no posee edificios cercanos de mayor altura que puedan obstaculizar la circulación del aire.

- D. El lugar suministra una toma de corriente continua asegurada, así como las condiciones de seguridad y el libre acceso para realizar el procedimiento semanal.
- E. Se sitúa en una zona cuya contaminación atmosférica es media, ya que está alejada de fuentes contaminantes como chimeneas y fábricas, cuyas partículas pudieran afectar a las muestras (RECIO, 1995), sin embargo, se encuentra cerca de autopistas importantes de la ciudad como Reforma, el anillo periférico y Avenida Constituyentes.

A partir del 29 de septiembre del 2008, el muestreador ha estado funcionando ininterrumpidamente, aspirando un caudal de aire regulado a 10 litros por minuto, el cual se vigila semanalmente por medio de un medidor de flujo (GALÁN ET AL., 2007).

4.3. Método de muestreo

Para la recolección y preparación de muestras se siguió la metodología establecida por la Red Española de Aerobiología (GALÁN ET AL., 2007) y con base en este manual se creó un nuevo protocolo para la REMA, el cual se explica detalladamente a continuación.

4.3.1. Montaje de la cinta Melinex en el tambor

El primer paso es colocar la cinta Melinex sobre el soporte circular (tambor), e impregnarla con un adhesivo donde se impactan las aeropartículas durante 7 días de la semana. El adhesivo utilizado para la retención de las partículas succionadas influye de manera considerable sobre el mecanismo de captación, no solamente por sus características físico químicas, sino también por la manera en que puede ser aplicarlo sobre la cinta, es por esto que dicha sustancia debe reunir las siguientes características: ser insoluble en agua, no debe secarse ni evaporarse, el grosor de la película extendida debe permanecer inalterable en el tiempo, no cambiar con la temperatura ni con la humedad, debe tener buena capacidad de retención y evitar el rebote de las partículas impactadas, no debe permitir el crecimiento de microorganismos, no debe ser opaco bajo la luz del microscopio y debe ser fácil de utilizar (GALÁN ET AL., 2007).

De acuerdo al protocolo propuesto por Trigo et al. (1997), la REMA eligió el fluido de silicona Lanzoni s.r.l.® (silicona pura diluida en tetracloruro de carbono), la cual tiene como ventaja permanecer inalterable en sus propiedades físicas en el intervalo de temperaturas comprendido entre los 20 y los 150° C, condición que la hace adecuada para todas las zonas bioclimáticas del país.

4.3.2. Preparación del soporte

Con la ayuda de un soporte con manivela (figura 15A) para colocar el tambor de la TETH, se adhiere la cinta de celofán al tambor por medio de un pequeño trozo de cinta adhesiva de doble cara, teniendo cuidado de colocarlo en las marcas de inicio y final indicadas por el fabricante.

La silicona es extendida sobre la cinta de celofán utilizando una brocha de diámetro similar al de la cinta, mientras que se gira la manivela del soporte a una velocidad constante, con el objeto de conseguir una capa de grosor uniforme de silicona, esta acción debe realizarse en campana de extracción de gases debido al carácter tóxico y volátil del tetracloruro de carbono que interviene como diluyente en la mezcla de silicona.

Una vez preparado el tambor con la cinta impregnada en silicona, éste se coloca en un porta-tambor metálico y se cierra herméticamente (figura 15B), para eliminar la posibilidad de contaminación durante el transporte.

4.3.3. Colocación del tambor en la trampa de esporas tipo Hirst (TETH)

Una vez en el lugar donde se ubica la estación de monitoreo se fija el cabezal de la unidad de impacto para que no haya acción por parte de la veleta y se pueda proceder. Con el cabezal de la unidad de impacto fijado, se debe comprobar que el volumen de succión es el adecuado, 10 litros/min, ajustando el medidor de flujo de forma adecuada a la ranura de succión. De no ser así, puede ajustarse con la tuerca existente para este fin. Esta comprobación debe realizarse semanalmente.

El mecanismo de relojería conectado a la unidad de impacto debe activarse manualmente una vez por semana. Para ello se hace girar la llave en sentido contrario a las agujas del reloj hasta llegar al tope, sin forzar. Deberá oírse el sonido típico del reloj al comenzar a funcionar. Sobre el reloj también se encuentra el dispositivo de ajuste del tambor, que quedará fijado al mismo gracias a una tuerca. Es importante colocar el tambor en la posición indicada como inicio del muestreo, ya que así se podrá conocer la secuencia en la toma de muestras semanales, correspondiendo al primer día la longitud de cinta, inmediatamente posterior a las bandas indicadoras del inicio de muestreo.

Posteriormente, el cabezal conteniendo la unidad de impacto se introduce en el resto de carcasa metálica del aparato utilizando el carril de guía existente. Se cierra herméticamente para evitar pérdidas de vacío y error en el volumen de succión. Es el momento de liberar la veleta, que habrá estado fija durante todo el proceso, gracias al tornillo de anclaje.

El tambor es cambiado semanalmente, iniciando de nuevo el montaje del tambor en el laboratorio a la unidad de muestreo. El tambor que contiene la cinta se traslada al laboratorio donde se realizará el proceso de preparación de muestras.

El cambio de tambor para la Delegación Miguel Hidalgo se realizó siempre a las 13 horas, obteniendo 8 segmentos de cinta, el primero de 11 h, los siguientes 6 de 24 h, y el último de 13 h.

4.3.4. Montaje de laminillas

Con ayuda del soporte giratorio y unas pinzas, se retira la cinta de celofán que rodea al tambor (figura 15C) y se sitúa sobre una regla de metacrilato la cual cuenta con hendiduras transversales cada 2 y 48 mm para hacer posible dividir la cinta en fragmentos de 48 mm, correspondientes a 24 horas de muestreo continuo, quedando un fragmento por cada día de la semana.



Figura 15. A. Soporte con manivela para tambor. B. Porta tambor metálico-hermético. C. Remoción de la cinta impactada.

Para ello, se fija la cinta de celofán por ambos extremos a la regla utilizando una porción de cinta adhesiva que nunca debe alcanzar la superficie impactada. El corte de cada fragmento se realiza con la ayuda de una cuchilla bien afilada (figura 16A y figura 16B).

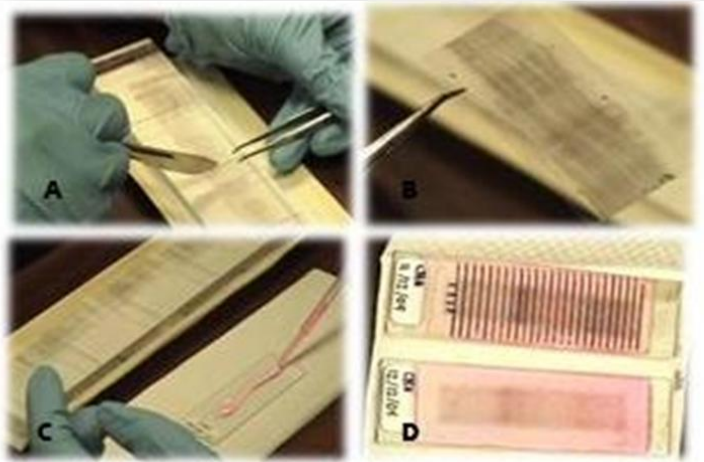


Figura 16. A. Corte de los fragmentos de cinta impactada sobre regla de metacrilato. B. Fragmento de cinta equivalente a 24 h de muestreo. C. Colocación de la glicerogelatina en el portaobjetos. D. Laminilla con y sin reglilla de acetato.

Como norma, la muestra debe disponerse sobre el portaobjetos de tal manera que el inicio de la misma quede a la izquierda y el fin a la derecha, ya que éste será el orden en que la muestra será leída al microscopio. Para identificar ambas posiciones, la etiqueta de identificación se dispone a la izquierda y en ella se anotan el nombre o iniciales de la estación a la que pertenece y la fecha.

La sustancia con que se realizará el montaje debe reunir las características establecidas por la REA (GALÁN ET AL., 2007):

- Ser soluble en agua
- Ser compatible con el adhesivo en uso
- Tener alta penetrabilidad en las células de tal forma que fomente la hidratación de los granos de polen y facilite la lectura
- Permitir la tinción selectiva del material que se interesa analizar
- Ser líquida y con un índice de viscosidad adecuado para una fácil aplicación
- Permitir el almacenamiento de larga duración del material.

Se utiliza glicerogelatina teñida con fucsina por sus características ópticas, durabilidad, compatibilidad con la tretrasilicona, y facilidad de aplicación. La composición de este medio de montaje consta de 57 ml de glicerina, 30 g de gelatina, 3 g de fenol y una "pizca" de fucsina básica diluidos progresivamente en 80 ml de agua destilada (RECIO, 1995) mezclada con agitador eléctrico en campana de flujo laminar debido al carácter tóxico de fenol. La mezcla resultante es de color rosado.

La preparación de la glicerogelatina debe realizarse en un matraz Erlenmeyer colocado en baño María (60° C), en el cual se disuelve la glicerina en el agua destilada, agitando la mezcla con una varilla de vidrio durante 15 min. Una vez que la glicerina esté líquida, se añade el fenol, se retira del calor y la fucsina se coloca tomando únicamente lo que quede adherido a la punta de una aguja de disección. Se deja enfriar la mezcla (RECIO, 1995).

El uso de fucsina básica como colorante ortocromático (tiñe a las células con su color original), proporciona contraste facilitando la observación de las estructuras vegetales, lo que conlleva a una mejor identificación y conteo de los granos de polen.

La glicerogelatina es sólida a temperatura ambiente, por lo que debe someterse al calor para su utilización. Es preferible calentarla un poco en un horno microondas y posteriormente colocarla en baño María para asegurarse de que la temperatura sea constante (alrededor de 75° C) durante todo el proceso de montaje, permitiéndole al medio la consistencia líquida deseada.

Con la ayuda de una pipeta Pasteur se toma la glicerogelatina líquida y se realiza una línea continua sobre el portaobjetos, encima de la cual se coloca el fragmento de cinta para que quede fija (figura 16C). Es recomendable evitar las burbujas de aire al realizar este procedimiento para que al secar la laminilla no se dificulte la identificación y análisis de los granos de polen.

Después de la colocación de la muestra sobre la línea de glicerogelatina, se coloca otra línea encima y con cuidado se coloca encima de la muestra un cubreobjetos de dimensiones 24 x 60 mm limpio evitando una vez más, las burbujas entre las capas de la muestra.

4.3.5. Medio de sellado

Se recomienda realizar el sellado de las muestras por el borde del cubreobjetos con una sustancia que permanezca inalterable a lo largo del tiempo. Para ello se utiliza laca-esmalte transparente por su fácil manejo, baja toxicidad, rapidez de secado y gran periodo de inalterabilidad. Además, al ser transparente, no dificulta la observación de la muestra.

Una vez montadas las muestras, se dejan secar al aire antes de su lectura al microscopio. De esta manera, la glicerogelatina se solidificará actuando como adhesivo entre la cinta y el cubreobjetos. Este tiempo también favorecerá el que los distintos tipos polínicos se colorean, siendo más evidentes sus características morfológicas externas.

Las muestras selladas, y tras ser sometidas a un análisis microscópico (se detallará en el siguiente apartado), se almacenarán en contenedores específicos para muestras de microscopía óptica.

4.4. Análisis cualitativo y cuantitativo

El análisis de las muestras aerobiológicas al microscopio constituye un proceso fundamental en la obtención de resultados. La calidad de la imagen mediante el uso de la metodología indicada anteriormente, es idónea para la observación y reconocimiento de los distintos tipos polínicos, que se distinguen por sus características morfológicas externas. Es importante que el enfoque del microscopio esté ajustado y el haz de luz sea blanco y que no difumine, ya que todo esto ayuda a una mayor precisión en la identificación de tipos polínicos, minimizando los errores entre aquellos que presentan características de identificación similares.

Dado que un recuento del total de granos de polen y esporas presentes en la preparación completa requiere mucho tiempo, se recomienda realizar un sub-muestreo. Para ello se considera que el área seleccionada para el análisis debe representar como mínimo un 10% del total de la preparación (NORMATIVA DE LA EUROPEAN AEROALLERGEN NETWORK SEGÚN: GALÁN ET AL., 2007).

En la REMA se utiliza el método de recuento propuesto por la REA, el cual utiliza 4 barridos horizontales continuos a lo largo de toda la preparación, ocupando el objetivo de 40x10 aumentos. La lectura se llevó a cabo en un microscopio óptico Olympus modelo BXS1®.

Para identificar los tipos polínicos presentes en las muestras se empleó bibliografía diversa, así como distintas claves (BASSET ET AL., 1978; MOORE ET AL., 1991; ROUBIK ET AL., 1991; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008, entre otros) que son citados en el apartado que corresponde a cada taxón. Las descripciones polínicas se basaron en los tipos de polen que aparecieron en el aire, no necesariamente hacen referencia al polen característico de cada familia ya que existen variaciones entre especies.

Los barridos deben ser equidistantes entre sí y del borde de la preparación en el caso del primer y último barrido. Esto representa una sub-muestra analizada del 12-13% de superficie total, dependiendo de la dimensión del campo de microscopio analizado a estos aumentos que puede ser variable en los distintos modelos.

A lo largo de cada uno de estos barridos se cuenta el número de granos de polen para cada tipo polínico identificado, de manera que se obtiene información sobre la concentración polínica del aire a lo largo del día.

Para conocer exactamente el número de granos de polen que hay en cada hora del día, se utiliza una reglilla de acetato de construcción propia, la cual debe ser del tamaño de la preparación y tener 24 divisiones transversales con separaciones de 2 mm entre sí (equivalentes a periodos de una hora). Estas marcas deben hacerse preferentemente con rotulador indeleble y punta superfina. La reglilla se coloca debajo del portaobjetos situando la primera línea al inicio del fragmento de cinta y debe ser sujeta con la ayuda de una cinta adhesiva (figura 16D).

De esta forma, se cuantifica el número de granos de polen a lo largo de las diferentes horas del día conforme se va haciendo la lectura al microscopio. La primera hora en un segmento de cinta normal corresponderá de las 00:00 a las 00:59 h y la última hora corresponde al periodo de las 11.00 pm a las 11.59 pm.

El número de granos de polen, así como el tipo polínico al que corresponden se registra en una hoja de toma de datos con casillas específicas para cada una de las 24 horas de día y para cada uno de los 4 barridos (Anexo 1).

4.4.1. Expresión de los resultados

La concentración polínica se expresa como una media diaria en granos de polen por metro cúbico de aire. Se debe multiplicar el número de granos de polen contabilizados por un factor que tendrá en cuenta el volumen de succión de aire muestreado (10 litros/minuto), y la superficie del campo de visión del microscopio que se esté utilizando (40x10 aumentos), de tal forma que los datos obtenidos son homologables con los proporcionados por otros lugares. Estas medidas han sido incorporadas dentro del protocolo de trabajo de la REMA basándose en las recomendaciones de la REA. El campo de visión del microscopio Olympus utilizado en este estudio es de 0.45 mm, así que el factor de corrección en este caso resulta de: $N \times 0.54$ partículas por metro cúbico de aire.

En el anexo 3 se muestra un caso práctico para el cálculo del factor de corrección.

4.4.2. Base de datos de la Red Mexicana de Aerobiología

Una vez transformados los datos con el factor de corrección se registran en una base de datos de Excel donde se crea un archivo con los totales diarios de granos de polen identificados para cada tipo polínico. De esta manera, siempre están disponibles los datos para hacer los análisis e interpretaciones pertinentes.

4.4.2.1. Presentación de datos

Para el tratamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó como herramienta principal el programa de Microsoft Excel 2007 para Windows Vista.

4.4.2.2. Datos climáticos

Con el fin de analizar la relación de los factores meteorológicos con la concentración de polen en la atmósfera de Chapultepec se recurrió a las bases de datos proporcionadas por la Estación Meteorológica de Tacubaya (ENP 4) del Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU). Esta estación meteorológica se encuentra ubicada dentro del territorio comprendido en la Delegación Miguel Hidalgo y se sitúa aproximadamente a 800 m de distancia de la estación de monitoreo atmosférico de Chapultepec.

Los datos que se utilizaron corresponden a mediciones diarias y horarias para el año de estudio (29/09/08-29/09/09) de los factores meteorológicos analizados: Temperaturas media, máxima y mínima diarias, humedad relativa media diaria, precipitación diaria, velocidad de viento media diaria y frecuencias de las direcciones de viento diarias.

4.4.2.3. Datos Polínicos

Los aspectos más relevantes a considerar en este estudio sobre los distintos tipos polínicos fueron: Variación estacional, periodo principal de polinación y variación intradiaria.

Debido a que se estudia una gran cantidad de tipos polínicos, se les dividió para su análisis según su representatividad. Ésta fue calculada con base en la concentración de granos de polen registrada anualmente para cada tipo polínico. Cuando la concentración es mayor al 1% del total anual general (Índice Polínico Anual o IPA) se procede a calcular los parámetros antes mencionados, así como la correlación con los factores meteorológicos que influyen en la zona.

En el caso de aquellos taxa cuya concentración anual no sobrepasa el 1% del IPA, se tomó en cuenta su concentración para decidir si se puede obtener de un Periodo Principal de Polinación, así como su nivel de alergenicidad. Los taxa que no entran en los criterios antes mencionados, fueron reportados en una tabla general.

4.4.2.4. Variación estacional

Se registró la variación estacional del total de granos de polen colectados por m³ de aire de la Delegación Miguel Hidalgo en el periodo comprendido del 29 de septiembre del 2008 al 29 de septiembre del 2009. Asimismo, dicha variación fue registrada para cada tipo polínico con concentraciones mayores al 1% del total de polen colectado.

El cálculo de la variación estacional se realiza utilizando medias móviles de 5 días a partir de las medias diarias. Sin embargo, esto solo se recomienda para periodos de muestreo más largos (5 años en adelante), por lo que en este estudio se utilizaron las medias diarias para observar la evolución de las concentraciones a lo largo del año (comunicación personal de María del Mar Trigo, 2011).

4.4.2.5. Periodo Principal de Polinación

La estación principal de polinación o PPP es el periodo de tiempo durante el cual se registraron las mayores concentraciones de polen atmosférico de un taxón específico.

No existe una metodología estandarizada para el establecimiento del PPP (JATO ET AL., 2004), de los métodos existentes se seleccionó el del 5% (Ver anexo 2) propuesto por Andersen (1991), el cual elimina las colas de la curva de porcentajes acumulados para cada taxón dejando el 95% del total, de modo que el inicio se establece el día que se alcanza o supera el 2,5% del polen total anual y finaliza el día que se obtiene o sobrepasa el 97,5% de total (TRIGO ET AL., 1997).

En el caso de los taxa cuya presencia en la atmósfera es muy abundante, se utilizó el método de los 7 días para obtener el periodo principal de polinación. Éste método establece que el inicio del PPP será el día en que empieza a encontrarse polen en el aire durante 7 días consecutivos, descartando los días con precipitaciones. El final del PPP es por lo tanto, el último día en que se encontró polen durante 7 días seguidos. La metodología completa para obtener el PPP se ubica en el Anexo 4.

4.4.2.6. Variación intradiaria

Con la finalidad de conocer la variación intradiaria de la concentración de granos de polen de los 10 taxa más relevantes, se analizan las cantidades de polen registradas para cada una de las 24 horas del día. De esta manera se puede observar el patrón de polinación de las plantas y establecer si la liberación de los granos de polen a la atmósfera es continua o se acentúa en algún momento específico (RECIO, 1995).

Para observar la fluctuación de la concentración de polen diaria, se siguió el modelo propuesto por Galán et al. (1991), el cual toma en cuenta los datos hora por hora de todos los días exentos de precipitaciones, cuya concentración media diaria iguala o supera a la media del período de polinización principal (TRIGO ET AL., 1997). Sumando los recuentos obtenidos para cada intervalo horario y expresándolos posteriormente en porcentajes, se obtiene una curva patrón para el año de estudio. Al expresarse estos datos en porcentajes, las curvas son comparables, aunque las concentraciones polínicas presenten oscilaciones de año en año. Para generalizar más el comportamiento intradiario los datos se expresaron en porcentajes acumulados de 2 horas.

Una vez realizado éste análisis, se calculó el Índice de Distribución Intradiaria (IDI) (TRIGO ET AL., 1997). Si el valor de IDI obtenido es menor a 0.1 se considera que los picos son inestables y se pueden presentar en cualquier hora del día. Si el IDI oscila entre 0.1 y 0.2 significa que los picos son moderados y demuestran un aumento gradual en la liberación del polen a la atmósfera. Finalmente, si el IDI resultante es mayor a 0.2 refleja un pico estable, observándose una liberación de polen en un periodo de tiempo determinado del día. El método completo puede ser consultado en el Anexo 5.

4.4.2.7. Correlación con los parámetros meteorológicos

La concentración de granos de polen presente en la atmósfera está estrechamente relacionada con factores climáticos tales como temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Por tal motivo, para los taxa con mayor abundancia en la atmósfera se calculó el coeficiente de correlación entre dichos parámetros y los niveles aeropolínicos.

Para llevar a cabo el análisis estadístico se empleó el paquete SPSS versión 15.0 para Windows, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman (no paramétrica) (r_s). Dicho análisis se realizó tomando los valores diarios de concentración de polen/ m^3 de aire de cada taxón, así como de los parámetros meteorológicos antes mencionados. Se tomó en cuenta el periodo principal de polinación (PPP), ya sea el obtenido por el método del 5% o el del método de los 7 días, así como las tres fases en que se divide el PPP distinguiendo una fase de ascenso (días en los que se colectó del 2.5 al 35% de polen), fase máxima (días en que se colectó entre el 35 y el 70% del polen) y una fase de descenso en la que se colectó entre el 70 y el 97.5% del polen (GONZÁLEZ MINERO ET AL., 1998). Esto se hizo debido a que algunas correlaciones pueden no ser significativas, pero al ser analizadas en subperiodos se convierten en significativas e incluso pueden cambiar de signo (RIZZI ET AL., 2004). Uno a uno de estos periodos se ingresó al programa para obtener el coeficiente de correlación y nivel de significancia con respecto a los parámetros meteorológicos.

5. RESULTADOS

5.1. Datos Climáticos

Debido a que en este estudio se buscó relacionar la concentración de polen atmosférico con los factores meteorológicos más relevantes, a continuación se presenta la tendencia de cada uno de éstos para el periodo de estudio que correspondió del 29 de septiembre de 2008 al 29 de septiembre de 2009.

Los datos en que se basaron las siguientes gráficas fueron proporcionados por la Estación Meteorológica Tacubaya (ENP 4) del PEMBU, y corresponden a mediciones diarias para cada factor analizado. Se tomaron en cuenta los datos de esta estación debido a que se sitúa dentro del área comprendida en la Delegación Miguel Hidalgo, bastante próximo (800m) de la estación de monitoreo atmosférico de la REMA.

Se consideraron los siguientes parámetros: temperaturas media, máxima y mínima (C°), precipitación (mm), humedad relativa (expresada en % y tomando en cuenta la media obtenida de los 48 valores diarios proporcionados por el PEMBU), velocidad media del viento (Km/h), y frecuencia de vientos del 1°,2°,3° y 4° cuadrante, expresadas en porcentaje.

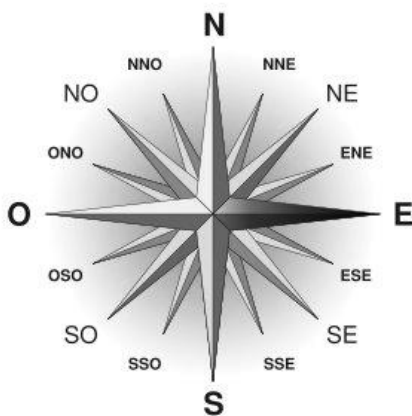


Figura 17. Direcciones de viento

Dichos cuadrantes se han establecido utilizando el criterio establecido por los meteorólogos para cifrar la dirección de los vientos. El primer cuadrante está centrado por la dirección noreste (NE), el segundo por el sureste (SE), el tercero por Suroeste (SO), y el cuarto por el Noroeste o NO (RECIO, 1995) (figura 17).

5.1.1. Temperatura

La temperatura media anual del periodo estudiado (29/09/08 – 29/09/09) fue de 17.1 °C, presentándose la temperatura máxima los días 6 y 7 de mayo con 23.1°C y su mínima el día 16 de enero con 9.2°C (figura 18).

La época más fría del año comprendió los meses de noviembre, diciembre y enero, siendo noviembre el más frío con una temperatura media de 14.5°C. El periodo más cálido del año comprendió los meses de abril, mayo y junio, siendo abril el que presentó la temperatura media mensual más alta, con 20,1°C.

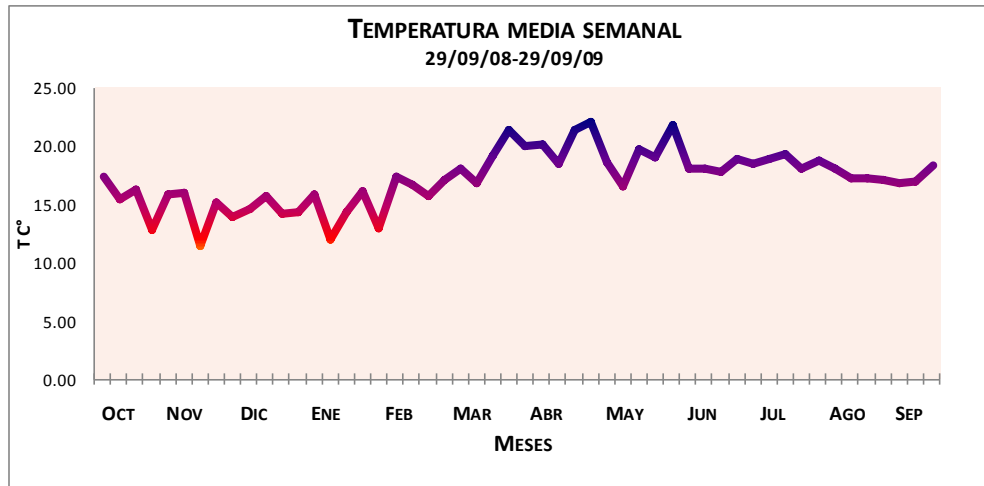


Figura 18. Temperatura media semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

5.1.2. Temperatura máxima y mínima

En el caso de la temperatura máxima absoluta (figura 19), el valor más alto se registró en abril, con una temperatura máxima media de 27.2°C. De la misma manera, el día que se reportó la mayor temperatura del año coincide con los resultados arrojados por la temperatura media, siendo el 6 de mayo con 30.6 ° C.

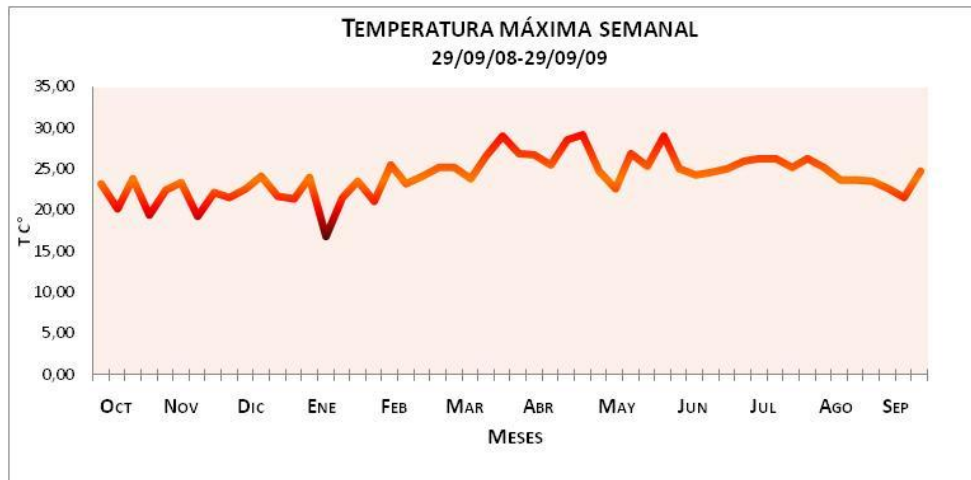


Figura 19. Temperatura máxima semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

Para la temperatura mínima absoluta, el mes más frío fue diciembre, con una media de 8 °C. No obstante, el día con la temperatura más baja del año fue el 20 de noviembre, en el que se registró una temperatura de 4.6°C (ver figura 20).

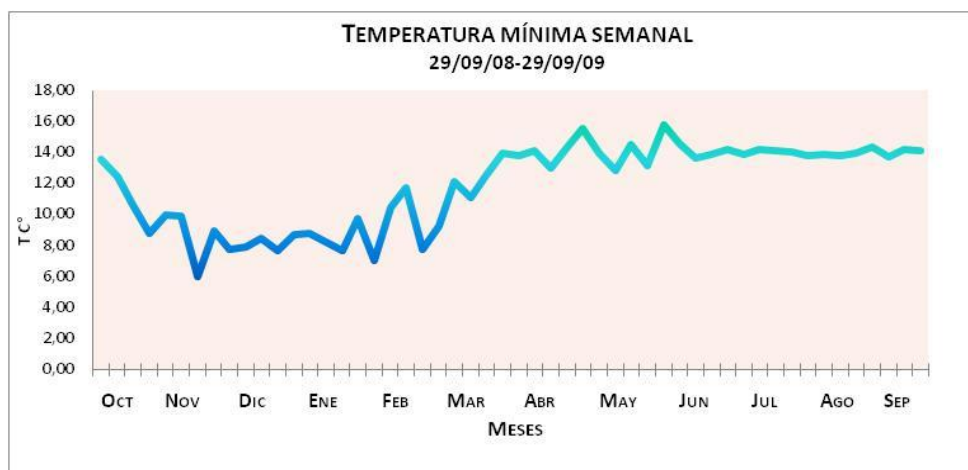


Figura 20. Temperatura mínima semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

5.1.3. Precipitación

La precipitación total anual del periodo 29/09/08 – 29/09/09 fue de 728.7 mm (figuras 21 y 22). El periodo de lluvias comprendió de mayo a octubre, siendo septiembre el mes más lluvioso con 194 mm acumulados en 26 días, seguido por julio con 181.3 mm y que además comprendió el día pico de precipitación del año (28 de julio con 41.9 mm). La época de sequía fue de noviembre a abril, siendo noviembre y diciembre los meses más secos, ya que no presentaron precipitación alguna.

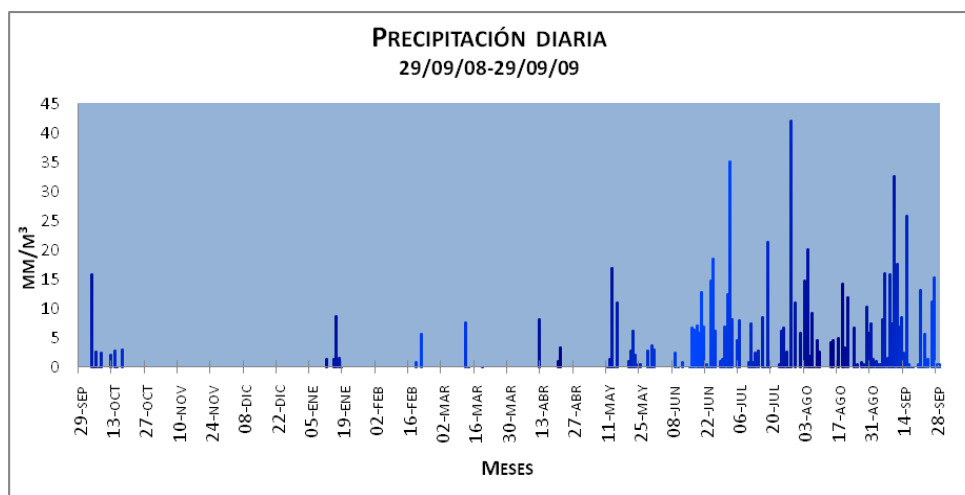


Figura 21. Precipitación diaria para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

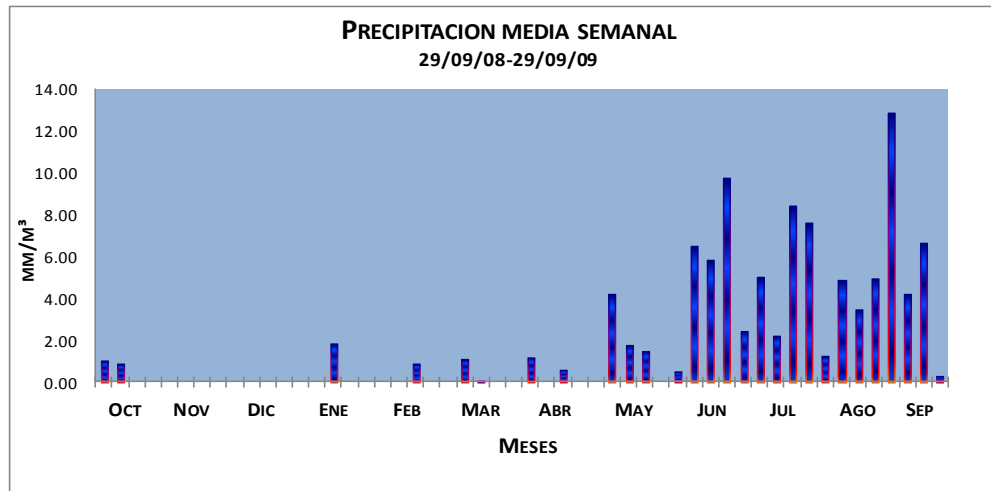


Figura 22. Precipitación semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

5.1.4. Humedad relativa

Se puede observar en la figura 23, como la curva de humedad relativa desciende en la temporada de sequía (noviembre a abril). A lo largo del año, los valores oscilaron entre 30% y 70%, siendo abril de 2009 el mes más seco, con 34% de humedad relativa. En este periodo, únicamente en tres días hubo precipitaciones, sumando apenas 12.4 mm como total mensual. Por el contrario, el mes de septiembre presentó la media mensual más alta con 71,2 %. En 26 días de este mes se presentaron lluvias, que en total sumaron 194 mm.

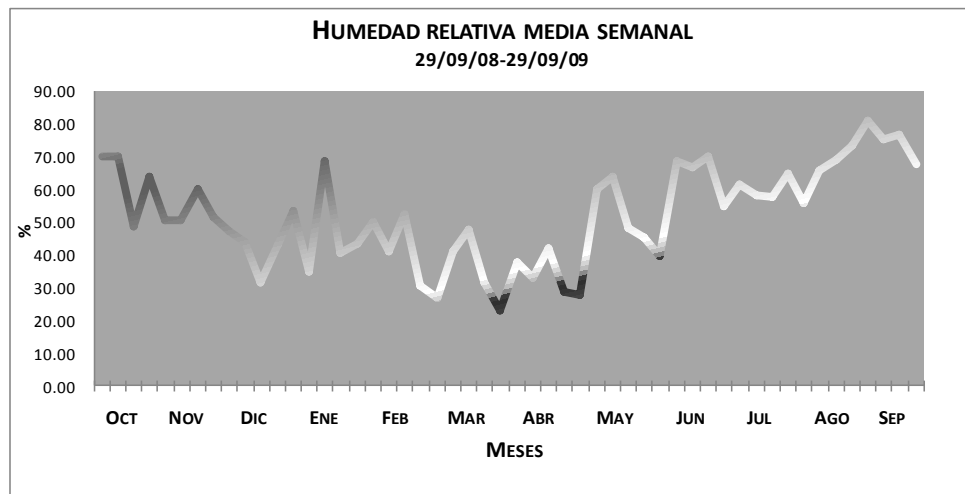


Figura 23. Humedad relativa media semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

5.1.5. Dirección y velocidad del viento

Con respecto a la dirección del viento predominante (figura 24), se observó que el 1er cuadrante, correspondiente a los vientos del noreste (NE), presentó el mayor porcentaje en 8 de los 12 meses del año estudiado (octubre, noviembre, enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio). La frecuencia de los vientos del 4to cuadrante (NO) fue la segunda en orden de vientos predominantes en esos mismos meses.

En diciembre del 2008 y agosto del 2009 el orden se invirtió y en primer lugar se encontraron las frecuencias de viento del 4to cuadrante o noroeste (NO) con 24 % en diciembre y 41.5 % en agosto. Los vientos del noreste (NE) presentaron el segundo lugar en porcentaje (22.5 y 38% respectivamente).

Las únicas variaciones considerables en la dirección de los vientos se presentaron por una parte, en abril del 2009, cuando el cuadrante con mayor porcentaje (25.5 %) fue el suroeste (SO) aunque fue seguido por un porcentaje similar (25.5 %) de los vientos del noroeste (NO). Por otro lado, en septiembre del 2009 las calmas (registro de vientos menores a 2 nudos o la ausencia de todo movimiento perceptible del aire) predominaron sobre cualquier frecuencia de viento de manera considerable.

Durante el año de muestreo los vientos provinieron principalmente del norte, ya sea noreste (NE) o noroeste (NO).

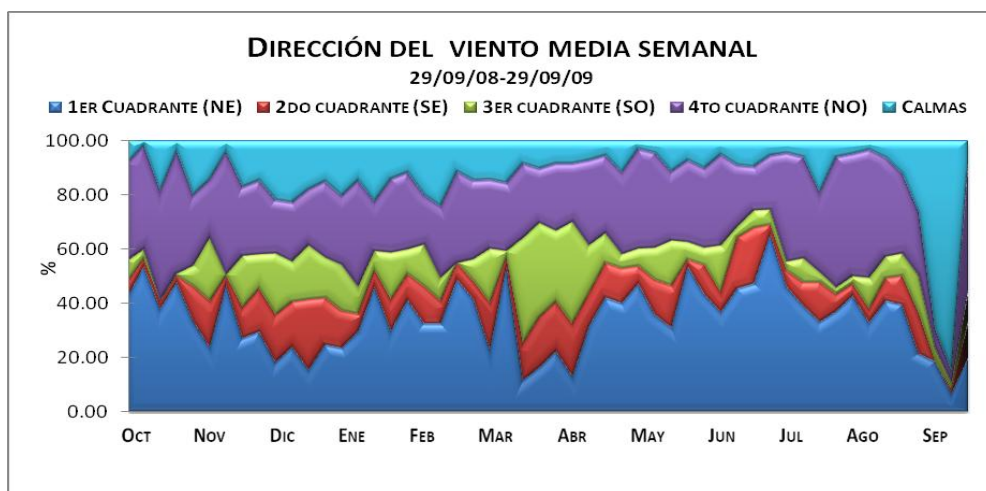


Figura 24. Porcentaje medio semanal de cada una de las direcciones del viento predominantes para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

La fluctuación de la velocidad media del viento muestra que el valor máximo semanal se presentó el 6 de julio y el mínimo el 21 de septiembre. Diciembre del 2008, enero y septiembre del 2009 fueron los meses en que se presentaron las velocidades de viento más bajas, tal como se muestra en la figura 25.

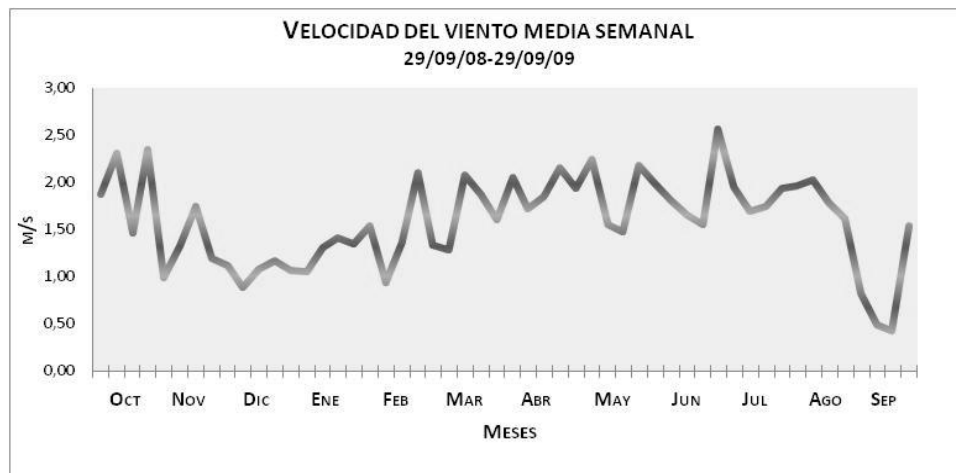


Figura 25. Velocidad del viento media semanal para la estación de muestreo en el periodo de estudio comprendido del 29/09/08 – 29/09/09.

5.2. Datos polínicos

Para identificar los tipos polínicos presentes en las muestras se empleó bibliografía diversa, así como distintas claves (BASSET ET AL., 1978; MOORE ET AL., 1991; ROUBIK ET AL., 1991; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008, entre otros) que se citan en el apartado que corresponde a cada taxón.

En la atmósfera de Chapultepec se identificaron 48 tipos polínicos (tabla 3) pertenecientes a 37 familias. Veinte de estos tipos polínicos no se encuentran representados en la flora local de Chapultepec (Anexo 2). Para el año de estudio (2008-2009) se cuantificaron 42,927 granos de polen (gp), de los cuales 87.94% corresponden a especies arbóreas; 5.01% a malezas y 5.23% a pastos. El 1.8 % restante fueron granos de polen indeterminados.

En la tabla 3 se presentan los tipos polínicos colectados del aire de la estación de muestreo de la delegación Miguel Hidalgo, (denominada para mayor comodidad como Chapultepec), su nivel de alergenidad, concentración anual y el porcentaje del Índice Polínico Anual (IPA) que cada uno representa.

Del total de tipos polínicos colectados, 17 pueden provocar reacciones alérgicas severas. Cabe destacar que dentro de esta categoría, cuatro de ellos incidieron en la atmósfera en cantidades considerablemente altas, siendo el género *Fraxinus* (16,259 gp) el taxón más abundante, seguido en orden descendente por granos de polen de las familias Cupressaceae (11,799 gp) y Poaceae (2242 gp), y el género *Quercus* con 785 granos de polen.

Grupo	Tipo polínico	Nivel de Alergenicidad y fuente	Total gp anual	% IPA
Árboles	<i>Acacia</i>	Baja (URL 4) a media (Lewis y Vinay,1983)	11	0,026%
	<i>Acer</i>	Severa URL 5	4	0,009%
	<i>Alnus</i>	Moderada URL 6	2923	6,809%
	<i>Buddleia</i>	Baja	30	0,070%
	<i>Carpinus</i>	Moderada URL 7	2	0,005%
	<i>Carya</i>	Severa (URL 8)	21	0,049%
	<i>Casuarina</i>	Baja (URL 9)	1053	2,453%
	<i>Citrus</i>	Baja (URL 10)	46	0,107%
	<i>Corylus</i>	Moderada (URL 11-13)	86	0,200%
	Cupressaceae	Severa (URL 14)	11799	27,486%
	<i>Fagus</i>	Baja (URL 15)	33	0,077%
	<i>Fraxinus</i>	Severa (URL 16 y 17)	16259	37,876%
	<i>Ginkgo biloba</i>	Baja (URL 18)	71	0,165%
	<i>Juglans</i>	Moderada(Lewis et al.1983) a Severa (URL 19)	5	0,012%
	<i>Ligustrum</i>	Severa (URL 20-22)	401	0,934%
	<i>Liquidambar</i>	Baja (URL 23)	29	0,068%
	<i>Morus</i>	Severa (URL 24)	395	0,920%
	Myrtaceae	Baja a moderada (URL 25 y 26)	1008	2,348%
	<i>Olea</i>	Severa (URL 27)	37	0,086%
	<i>Palmae</i>	Baja (URL 28-30)	8	0,019%
	<i>Pinus</i>	Nula a baja (URL 31)	1239	2,886%
	<i>Platanus</i>	Moderada (URL 32)	5	0,012%
	<i>Populus</i>	Moderada (URL 33-35)	183	0,426%
	<i>Quercus</i>	Severa (URL 36)	785	1,829%
	<i>Ricinus</i>	Baja (URL 37)	60	0,140%
	<i>Salix</i>	Severa (URL 38)	48	0,112%
	<i>Schinus</i>	Baja (URL 39)	385	0,897%
<i>Tamarix</i>	Nula(URL 40)	18	0,042%	
<i>Tilia</i>	Moderada (URL 41)	19	0,044%	
<i>Ulmus</i>	Moderada (URL 42 y 43)	627	1,461%	
Malezas	<i>Ambrosia</i>	Severa (URL 44)	182	0,424%
	<i>Artemisia</i>	Severa (URL 45)	82	0,191%
	<i>Cannabis</i>	Moderada (URL 46)	3	0,007%
	Cheno- Amar	Moderada (URL 47)	276	0,643%
	<i>Anthemideae</i> (Asteraceae)	Severa	351	0,818%
	<i>Helianthus</i> (Asteraceae)	Nula a Severa (URL 48)	-	-
	<i>Lactuceae</i> (Asteraceae)	Severa	-	-
	<i>Senecio</i> (Asteraceae)	Severa	-	-
	<i>Daphne</i>	Baja	3	0,007%
	<i>Echium</i>	Baja	97	0,226%

Grupo	Tipo polínico	Nivel de Alergenicidad y fuente	Total gp anual	% IPA
	<i>Ephedra</i>	Baja	18	0,042%
	<i>Mercurialis</i>	Baja (URL 49)	13	0,030%
	<i>Plantago</i>	Moderada (URL 50)	71	0,165%
	Rosaceae	Baja (URL 51-53)	73	0,170%
	<i>Rumex</i>	Baja a moderada (URL 54)	302	0,704%
	Solanaceae	Baja	5	0,012%
	<i>Urticaceae</i>	Moderada a Severa (URL 55 y 56)	676	1,575%
Pastos	Poaceae	Moderada a Severa (URL 57 y 58)	2242	5,223%

Tabla 3. Tipos polínicos, nivel de alergenicidad y concentración de gp anual para la estación de monitoreo aerobiológico de Chapultepec en el periodo del 29 septiembre 2008- 29 septiembre 2009 (URL de referencias obtenidas de Pollenlibrary.com)

Con respecto a la distribución anual de la concentración atmosférica de granos de polen, se observa en la figura 26 que los meses con los niveles más altos en orden descendente fueron enero (16,366 granos de polen/m³), febrero del 2009 (7,644 granos de polen/m³), diciembre del 2008 (7,091 granos de polen/m³) y marzo 2009 (2,440 granos de polen/m³). Estos meses conforman la estación invernal comprendida entre 2008 y 2009, y el polen colectado en ese periodo representa el 78% del polen total anual colectado.

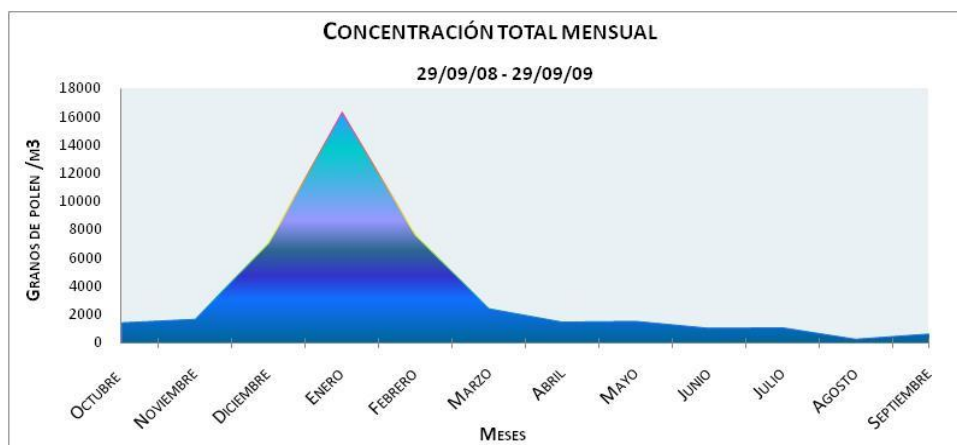


Figura 26. Concentración total mensual de granos de polen en la atmósfera de la estación de muestreo Chapultepec.

Es importante notar que el polen colectado de *Fraxinus* sp., Cupressaceae y *Alnus*, representó el 72% de la concentración de polen anual (42,927 gp). Como se mencionará más adelante, los tres tipos polínicos mencionados presentaron su época de floración principalmente en invierno.

Dado que se estudia un gran número de tipos polínicos, para la presentación de los resultados éstos se agruparon en dos categorías (figura 27), por una parte, aquellos que tuvieron una mayor incidencia en la atmósfera de Chapultepec (10 taxa), y por otra parte, los 38 tipos polínicos que no llegaron a alcanzar una importancia relevante (ya que es un gran número de tipos polínicos, en la sección de otros pólenes puede verse cada uno a mayor detalle).

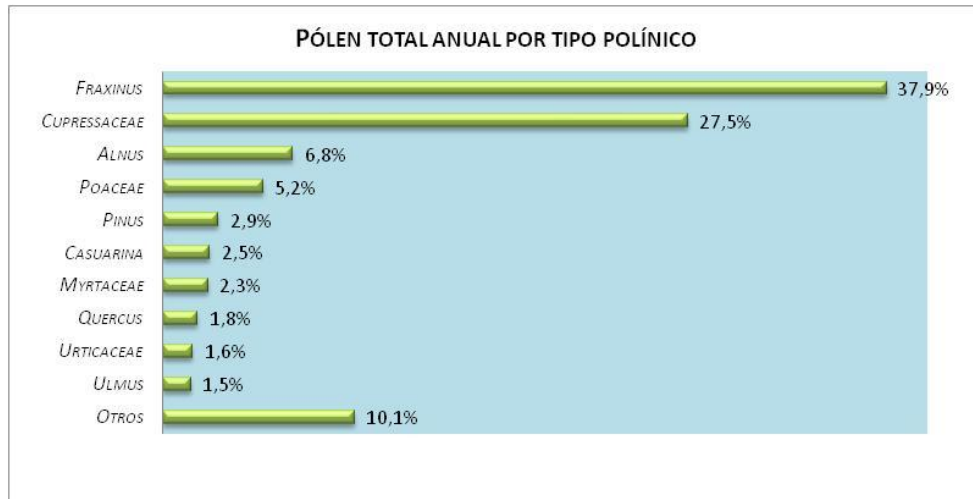


Figura 27. Concentraciones de gp por taxón encontrados en la atmósfera de Chapultepec en el periodo 29/09/08 - 29/09/09

El criterio utilizado para asignar un taxón en un grupo u otro, fue que la concentración de polen de éste supere el 1% del total de los granos de polen existentes en el muestreo anual (comunicación personal María del Mar Trigo, 2011).

De esta manera, se incluyeron en el primer grupo 10 taxa, los cuales en orden de abundancia son: *Fraxinus*, *Cupressaceae*, *Alnus*, *Poaceae*, *Pinus*, *Casuarina*, *Myrtaceae*, *Quercus*, *Urticaceae* y *Ulmus*, representando en conjunto el 90% de la cantidad total de polen encontrado.

En el segundo grupo se incluyen los 38 taxa restantes, de los cuales se mencionará a detalle a aquellos cuya concentración permita obtener el Periodo Principal de Polinación. Los taxa con cantidades de polen muy bajas serán mencionados únicamente en una tabla general.

En los taxa del primer grupo se realizó un estudio más amplio, relacionando estadísticamente los resultados obtenidos entre la concentración de polen registrada y los principales parámetros meteorológicos, mientras que, en el segundo grupo, debido a la baja concentración obtenida no fue posible llevar a cabo ni el análisis estadístico, ni la variación intradiaria.

Cada uno de los tipos polínicos que fueron clasificados como de mayor incidencia e importancia alérgica fue analizado por separado, considerando cuatro aspectos importantes: variación estacional, periodo principal de polinación (PPP), variación intradiaria y correlación con los parámetros meteorológicos. En este apartado se exponen los resultados obtenidos, acompañados de una introducción, una discusión y algunas conclusiones parciales que permiten apreciar de manera más clara el comportamiento de cada taxón.

Para cada taxón se incluye una breve descripción morfológica, distribución y ecología, la época de floración en el DF, tipo de polinización, y una breve descripción morfológica de los granos de polen, empleando fundamentalmente la terminología de Erdtman (1952) y la utilizada por Punt et al., 2007. Asimismo, se hace referencia a la alergenidad de cada tipo polínico.

5.3. Oleaceae: *Fraxinus*

Género perteneciente a la familia Oleaceae e integrado aproximadamente por 60 especies. En la flora de Chapultepec se encuentran árboles de *Fraxinus cuspidata* y *Fraxinus uhdei*, ésta última nativa de México, y cuyo hábitat natural suelen ser cerros, barrancas, cañadas y esporádicamente las orillas de corrientes de agua. Se utiliza para rehabilitar sitios donde hubo algún tipo de explotación al ambiente o como árbol ornamental (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008), y se encuentra sobre utilizada en la Ciudad de México, donde compone el 19% del total de las especies presentes (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).



Figura 28. Ejemplar de *Fraxinus* sp. Hojas, flores y grano de polen (40x10 aumentos).

Descripción. Se trata de árboles dioicos generalmente caducifolios que alcanzan hasta 30 m de altura, de tronco recto, corteza gris claro a café, rugosa y copa ovoidea (figura 28). Hojas opuestas, imparipinnadas, de 5 a 9 folíolos; ápice atenuado, borde dentado, base obtusa. Flores hermafroditas o unisexuales, dispuestas en panículas axilares que aparecen antes que las hojas. Cáliz y corola ausentes. Androceo 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, maduran de agosto a septiembre (CANDAU ET AL., 1994; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; CASTILLO ET AL., 2007).

Distribución. Crecen en zonas templadas húmedas a subhúmedas, en altitudes de 1,100 a 2,600 msnm y sobre suelos arcillosos, arenosos, lava basáltica, ácidos calcáreos, profundos y húmedos. *F. uhdei* es la única especie del género que se encuentra en la Ciudad de México en estado silvestre, formando parte del bosque de galería, bosque mixto de pino-encino y bosque mesófilo de montaña (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001). Utilizada para reforestar los alrededores de la ciudad además de parques, jardines, camellones y banquetas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. La floración es invernal, iniciando algunas especies en enero y otras más tarde, ya sea en abril o mayo (TRIGO ET AL., 2008), por lo que pueden registrarse picos de concentración en junio y julio

(JATO ET AL., 2004). *Fraxinus uhdei* florece en México desde marzo a mayo, durante la temporada seca (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; CONABIO, 2011).

Polinización. Es el único género de Oleáceas estrictamente polinizado por el viento. Su producción de granos de polen es bastante alta, del orden de 12,500 granos de polen por antera en el caso de *Fraxinus excelsior* (SUBBA ET AL., 1986; POHL, 1937), y entre 18,000 y 87,000 en el caso de *Fraxinus angustifolia* (TORMO ET AL., 1996; TRIGO ET AL., 2008).

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 28). De subcircular a cuadrado en vista polar; de subcircular a elíptico en vista ecuatorial. De oblado-esferoidal a subprolado. Tamaño de pequeño a mediano, con eje polar de 15 a 35 μm y eje ecuatorial de hasta 27 μm . La exina es delgada (1 a 2 μm de grosor). Superficie finamente reticulada, con lúmenes irregulares de 1-1.5 μm de longitud. Polen tetracolpado (puede variar de 3 a 6 aberturas), ectoaberturas de tipo colpo estrechas y largas; de 15 a 20 μm de longitud. (BASSETT ET AL., 1978; MOORE ET AL., 1991; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008; DOCAMPO, 2008).

Alergenicidad. El polen de este género es considerado como uno de los principales causantes de polinosis primaveral en algunas ciudades de Estados Unidos (LEWIS ET AL., 1983). Se han hecho pruebas cutáneas con extractos de polen de diferentes especies del género, comprobándose que poseen una reactividad de moderada a alta. *Fraxinus* presenta el alérgeno Fra e1, el cual posee homología relevante o alto grado de reactividad cruzada con otros tipos de polen de la misma familia (*Olea*, *Ligustrum* y *Syringa* son los tipos presentes en Chapultepec), y con los que comparte la proteína Ole e1 a la cual son sensibles gran cantidad de pacientes que presentan síntomas de asma bronquial y rinoconjuntivitis, entre otros (DOMÍNGUEZ ET AL., 1984; BOUSQUET ET AL., 1985; OBISPO ET AL., 1993; ALCHÉ Y RODRÍGUEZ, 1997; GASTAMINZA ET AL., 2005). Esta misma proteína característica de las oleáceas es homologable con alérgenos de *Chenopodium*, *Plantago* (Pla 1 I) y *Lolium* (Lol p 11) (LOMBARDERO ET AL., 2002; LINARES, 2007).

Resultados

Variación estacional

El polen de *Fraxinus* se encontró en la atmósfera de Chapultepec durante todo el año, sin embargo, en la figura 29 se observa claramente que las mayores concentraciones ocurrieron principalmente de noviembre a febrero, siendo enero el mes con los valores más altos. Con un total anual de 16,259 gp, *Fraxinus* representó el 37.8% del IPA recolectado en Chapultepec (42,927 gp).

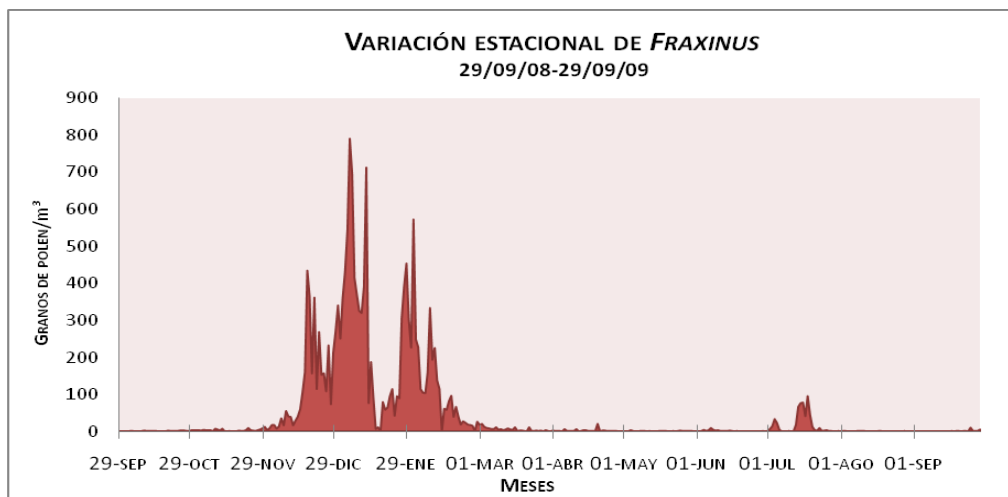


Figura 29. Concentraciones atmosféricas diarias del polen de *Fraxinus* registradas en la estación de muestreo Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El Periodo Principal de Polinación (PPP) de *Fraxinus* comprendió 293 días, del 9 de octubre de 2008 al 28 de julio de 2009. El periodo pre pico constó de 89 días y el post pico de 205. Los meses de noviembre a febrero representaron el 94.6 % del polen registrado para todo el año estudiado.

El pico máximo se presentó el 5 enero del 2009, con 790 gp/m³. Se presentaron dos picos más de concentración los días 1 de febrero con 572 gp/m³, y el 18 de julio con 95 gp/m³.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria de *Fraxinus* es de 0.1, lo que significa que existen picos moderados de concentración en el transcurso del día. Se puede apreciar en la figura 30 un aumento en los niveles aeropolínicos a partir de medio día, con un pico a las 14 h y otro a las 22 h. Cerca del 57% del polen se registró dentro de ese intervalo de tiempo. Por la mañana las concentraciones permanecen bajas.

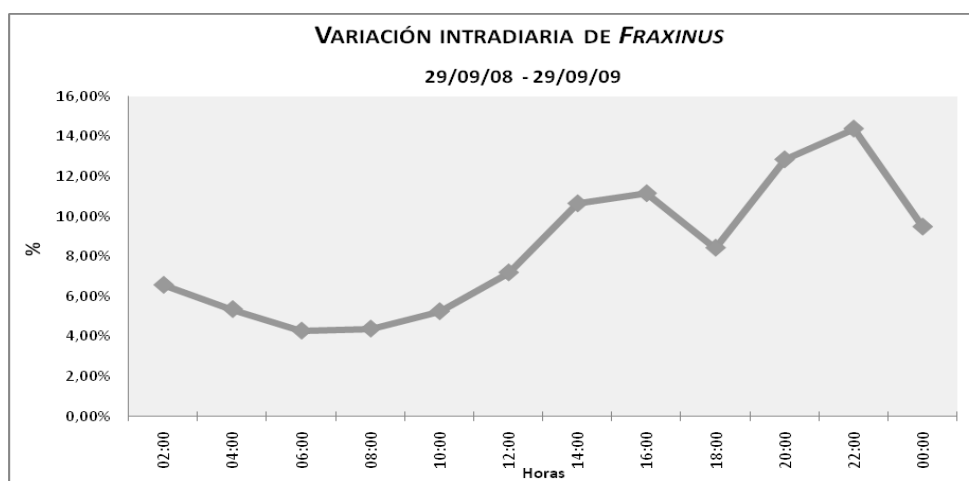


Figura 30. Distribución intradiaria del polen de *Fraxinus* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

Como se puede observar en la tabla 4, la concentración de granos de polen en el PPP está correlacionada negativamente ($p < 0.001$) con la temperatura media, máxima, mínima y la velocidad del viento, así como con la humedad relativa, precipitación y vientos provenientes del 1er y 4to cuadrante ($p < 0.01$). Por el contrario, existe una asociación positiva con los vientos del 2do y 3er cuadrante (SE y SO), así como con las calmas.

Las etapas prepico, postpico y la fase de descenso, siguen un patrón casi idéntico al PPP, al igual que la fase máxima, excepto que en éste periodo existe una correlación positiva ($p < 0.01$) entre la concentración de gp y el incremento de la temperatura.

La fase de ascenso no arrojó correlaciones significativas con ningún parámetro meteorológico.

Factor Meteorológico	PPP N(293)	PrePico N(89)	Postpico N(205)	F.asc. N(23)	F.máx. N(25)	F.des. N(168)
Temp. Media	-.411***	-0,031	-.471***	0,133	.600**	-.375***
Temp. Máx	-.279***	0,105	-.328***	-0,036	.561**	-.245**
Temp. Min	-.533***	-.328**	-.564***	0,294	.522**	-.507***
H.R	-.171**	-.566***	-0,079	0,085	-.416*	-0,094
Precipitación	-.272**	-.253*	-.265**	.	-0,364	-.298**
Vel. Media viento	-.375***	-.464***	-.288***	0,261	-.529***	-.186*
Vel. Max viento	-.422***	-.504***	-.338***	0,318	-.534**	-.220**
% Viento 1er Cuadrante	-.190**	-.548***	-0,051	-0,045	-.738***	-0,037
% Viento 2do cuadrante	0,098	.576***	-0,104	-0,211	.592**	-0,085
% Viento 3er cuadrante	0,101	.460***	-0,024	0,095	.506**	-0,043
% Viento 4to cuadrante	-.158**	-.453***	-0,054	0,079	-0,062	-0,058
% Viento Calmas	.335***	.423***	.282***	-0,066	0,067	.228**

Tabla 4. Correlación entre la concentración de gp de *Fraxinus* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

El polen de *Fraxinus* se presentó en la atmósfera de Chapultepec de manera abundante durante la época invernal del año. En los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero se encontró concentrada la mayoría de los granos de polen de *Fraxinus* (95%). A mediados de enero hubo un descenso que puede asociarse a las precipitaciones, sin embargo la concentración volvió a incrementarse a niveles considerables una vez que las lluvias cesaron.

Debido a que el polen de *Fraxinus* se dispersa en grandes cantidades y está altamente representado en la zona (el 27.19% de las especies leñosas de Chapultepec son del género *Fraxinus*) (GDF, 2006A; GDF, 2006B; OROZCO, 2007), se puede observar que la mayor parte del polen total anual colectado en Chapultepec se concentró en los meses que corresponden al periodo de floración de éste taxón, por lo que las gráficas del polen total anual general y la de éste tipo polínico son muy similares (figuras 26 y 29).

El periodo de polinación determinado en este estudio coincide con los resultados obtenidos por Jato et al. (2004) para Galicia, España, donde se registró un periodo principal de polinación que va de diciembre a marzo, y cuyo mes con las concentraciones más altas fue enero, al igual que lo sucedido en Chapultepec. De igual manera, Salazar Coria (1995) registró las mayores concentraciones de *Fraxinus* en la temporada de sequía.

En *Fraxinus*, como en otras plantas leñosas de floración invernal que habitan en regiones templadas, los cambios estacionales de temperatura y fotoperiodo son factores importantes en el control de la floración; el primer factor influye principalmente antes de la floración, y el segundo durante ésta.

La gran variabilidad que existe en las épocas de polinación de *Fraxinus* año con año, hacen difícil la predicción del inicio de dicho periodo. El hecho de que la floración se presente o no en determinado momento depende, entre otros factores, de una compleja relación entre las bajas y altas temperaturas que se presenten en los meses anteriores a este fenómeno.

En los resultados obtenidos mediante las pruebas estadísticas, la relación entre la concentración de polen de *Fraxinus* y los parámetros meteorológicos fue muy estrecha. Al ser un género invernal, la presencia del polen de *Fraxinus* en la atmósfera estuvo significativamente asociada de manera negativa con el incremento de la temperatura a lo largo del año.

No obstante, la correlación de polen con el aumento en la temperatura resultó positiva en la fase máxima (enero), que correspondió a la época en que dicho taxón alcanzó su concentración más alta con un pico de 790 gp/m³. Esto se debe a que después de pasar por una época de temperaturas bajas, un aumento posterior en la temperatura indujo a las plantas a iniciar su floración (JATO ET AL., 2000 Y 2004).

La necesidad de pasar por un periodo de bajas temperaturas asegura el crecimiento antes de florecer. Este es el caso de muchas plantas bienales o perennes que requieren pasar por un periodo de frío para tener un óptimo desarrollo floral, y que muestran un marcado periodo de dormancia, usualmente durante el invierno en especies de clima templado o frío, éste es un mecanismo adaptativo para evitar daños por las inclemencias del clima (de manera que se evita el daño por congelamiento de las células), en el que se frena el desarrollo casi en su totalidad, entrando las plantas en un estado de dormancia donde los tejidos son menos sensitivos a temperaturas extremas (JONES, 1992).

Este comportamiento se ha reportado por autores como Candau et al. (2004) y Jato et al. (2000 y 2004) en diversas ciudades de Europa, donde se ha observado que la floración de *Fraxinus* inicia en diciembre (después de un periodo frío), si se presentan las temperaturas máximas mensuales (periodo de temperaturas cálidas), pero puede retrasarse hasta finales de enero si las temperaturas registradas en diciembre son muy bajas (por debajo de 0° C). Esto significa que para salir de la dormancia y que ocurra el crecimiento de las inflorescencias masculinas, para la mayoría de las plantas leñosas es necesario que se presenten condiciones frías (temperaturas menores a -10° C) en otoño y principios del invierno (PERRY, 1971; JATO ET AL., 2000). Este periodo debe ser sucedido por otro con temperaturas cálidas (valores por arriba de los 0° C como mínimo) para empezar la floración.

Al estar la floración de este género fuertemente relacionada con la temperatura, es importante considerar que el incremento que presenta este factor meteorológico durante los inviernos de los últimos años (causado por el calentamiento global), puede provocar cambios en la época de floración de este taxón, y en algunos sitios donde las heladas son fuertes puede significar daños para los amentos (JATO ET AL., 2004).

Por otro lado, la humedad relativa estuvo relacionada tanto en el PPP como en las demás fases de manera significativa y negativa debido a la humedad puede desactivar la abertura de las anteras y además, al hidratarse los granos de polen, éstos cambian de forma, tamaño, volumen y peso, provocando que el transporte sea más lento y el polen se deposite pronto (JATO ET AL., 2002).

La precipitación presentó resultados similares, debido a que provoca un “lavado atmosférico” que conlleva a un descenso considerable en los niveles aeropolínicos. Es por esto que la época de sequía y poca lluvia favorece la liberación y abundancia de granos de polen de *Fraxinus*.

En cuanto al viento, el incremento en la velocidad produjo correlaciones significativas y negativas con la cantidad de polen atmosférico de *Fraxinus*. Como se mencionó anteriormente, Chapultepec cuenta con una gran cantidad de ejemplares de *Fraxinus* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008) que constantemente liberan su polen a la atmósfera, y el cual permanece en cantidades altas en periodos asociados con las calmas que favorecen la succión del sistema de captación del muestreador. Si se presentan vientos fuertes durante el periodo de floración, el polen entra a la atmósfera de forma inmediata, sin embargo, también se presentan un fenómeno de dilución o barrido de los granos de polen en dicha zona de floración debido a que el viento los dispersa lejos de la TETH cuya limitante es que ante velocidades de viento altas su capacidad de succión no le permite recoger el polen con normalidad, dificultándose la entrada de éste en la boquilla (EDMONDS, 1979; SALAZAR L, 1994).

Los vientos provenientes del NE y NO no favorecieron el incremento en la cantidad de polen registrada, mientras que los vientos del SE y SO arrojaron correlaciones significativas y positivas, probablemente debido a que trajeron consigo granos de polen del sur de la Ciudad, cuya vegetación es por mucho, más abundante que la del norte.

Respecto al patrón de variación intradiaria, se puede observar en este taxón que las mayores concentraciones de polen se presentaron a partir del medio día y hasta la noche, alrededor de las 22 h, momento en el que la concentración disminuyó hasta llegar a su punto más bajo al amanecer. Esto se debe principalmente a que la liberación y deposición del polen dependen del viento y durante las primeras horas de la mañana éste suele tener una velocidad baja que se incrementa conforme avanzan las horas. Aunado a esto, las plantas tienden a liberar el polen en los momentos de máximas temperaturas (PORSJBERG ET AL., 2003) y valores bajos de humedad relativa, condiciones que se presentan alrededor de las 14:00 h (BRONILLET, 1992).

Asimismo, se debe considerar que entre el momento de la liberación de la fuente y el momento en que el polen es captado por el muestreador pasa tiempo, según sea la distancia entre los dos puntos (RECIO ET AL., 1999). La variación intradiaria depende también del número de especies que componen el género *Fraxinus* en la zona, ya que en taxa multiespecíficos es común observar que no todas las especies liberan el polen exactamente en las mismas condiciones ambientales ni en el mismo horario (TRIGO ET AL., 1997).

El conjunto de características propias del polen de *Fraxinus*, tales como su contenido proteico, la gran cantidad de polen liberado por antera y su tamaño pequeño (TRIGO ET AL., 2008), lo convierten en un alérgeno muy fuerte (LEWIS ET AL., 1983).

La presencia de la proteína Fra e 1 en los granos de polen de este género, así como la reactividad cruzada que existe con otras especies de la familia de las oleáceas, con las cuales comparte la proteína Ole e 1 y cuya alergenicidad es capaz de desencadenar síntomas severos en la salud humana, representa un factor

importante para considerar a *Fraxinus* como la principal amenaza hacia la población sensibilizada en Chapultepec y las áreas a donde el viento pueda transportar su polen (BOUSQUET ET AL., 1985; ALCHÉ Y RODRÍGUEZ, 1997; OBISPO ET AL., 1993; GASTAMINZA ET AL., 2005).

Gehrig y Peeters (2000) citan un umbral de activación de 100 gp/m³ para éste taxón y si se considera que el umbral de activación de *Olea* es de 2-4 gp/m³ (WAISEL ET AL., 2003) se podrá notar que existen grandes posibilidades de que los pacientes sensibles presenten síntomas severos al estar expuestos a las exageradas concentraciones de *Fraxinus* que se presentan durante el invierno. A pesar de que el polen de olivo está prácticamente ausente en Chapultepec, *Ligustrum* y *Syringa vulgaris* pertenecen a la flora local y sus granos de polen pueden acrecentar los efectos negativos en la salud de la población expuesta al polen de *Fraxinus*. Actualmente, los extractos de *Fraxinus* son los más utilizados en las pruebas cutáneas que se practican en los consultorios de México (LARENAS ET AL., 2009).

Tomando en cuenta lo anterior, la siembra de las especies de este género, así como su utilización en las reforestaciones de la zona y de toda la ciudad deberían ser vigiladas minuciosamente ya que el polen de *Fraxinus* representa un riesgo grave para la salud de la población alérgica.

La diferencia de concentración observada para esta zona en comparación con la estudiada por Cid (2007), cuya ubicación es al norte de la ciudad y en la que halló una máxima de 80 gp/m³ de aire diarios, refleja cómo el tipo de vegetación de un área puede determinar la intensidad de la incidencia de un tipo polínico en la atmósfera. Otro ejemplo de lo anterior es la concentración de polen de *Fraxinus* que se registró en 2009 en la estación de la REMA ubicada en Iztapalapa, la cual fue de 1,418 gp (6.6% del IPA de dicha estación). Es importante mencionar que la vegetación de esa área es mucho menos diversa que la de Chapultepec, en donde se recolectaron 16,259 gp (37.8 % del IPA).

Es importante señalar que aunque diversas zonas de la ciudad cuenten con escasa vegetación, toda la población puede resultar afectada por los granos de polen que son transportados por el viento desde el sitio de liberación hasta diferentes puntos del Distrito Federal, e incluso al exterior de éste, lo que reafirma la necesidad de conocer la variación estacional e intradiaria de los taxa con alergenicidad severa como *Fraxinus*.

Conclusiones

Fraxinus fue el tipo polínico más abundante en la atmósfera de Chapultepec debido a la gran cantidad de granos que dispersan las anteras de estas plantas, así como a su gran representatividad en la flora local.

La estación de polinación de este tipo polínico tuvo una duración de 293 días, sin embargo, su presencia se concentró en los meses de noviembre a febrero, siendo enero el mes que reportó las concentraciones máximas. La larga duración de dicho periodo probablemente se debió a las grandes cantidades en que el polen fue liberado, lo que facilitó largos periodos de suspensión en la atmósfera.

El patrón intradiario de *Fraxinus* presentó picos moderados durante la tarde y la noche, cuando las condiciones ambientales suelen ser más favorables para la liberación y dispersión de los granos de polen.

La floración de este género estuvo estrechamente relacionada con temperaturas bajas, escasa precipitación y baja humedad relativa. El incremento en la temperatura estuvo relacionado positivamente sólo al iniciar la polinación.

Si la velocidad del viento se incrementa demasiado se dificulta la captura de los granos de polen por parte de la TETH y éstos se dispersan hacia zonas más lejanas a la fuente, por lo que la relación entre este parámetro y la concentración de *Fraxinus* fue negativa.

Los vientos del SE y el SO aportan la mayor cantidad de polen de *Fraxinus* a la atmósfera de Chapultepec, ya que provienen de zonas con mayor vegetación en comparación a los vientos del norte.

Fraxinus puede considerarse la principal especie que afecta en la salud de las personas expuestas al polen de Chapultepec, debido a su alto nivel de alergenicidad y a la reactividad cruzada que existe con otras especies de Oleáceas (*Olea*, *Ligustrum*, *Syringa vulgaris*, etc.), que también están bien representadas en la zona, por lo que la utilización de éste extracto en pruebas cutáneas es fundamental.

El polen de este género puede afectar la salud de la población que habita en otras zonas de la ciudad, ya que el viento lo transporta en diversas direcciones.

5.4. Cupressaceae

La familia Cupressaceae está formada por 19 géneros a nivel mundial, cuyo grano de polen presenta una morfología similar al de las familias Taxaceae y Taxodiaceae (TRIGO ET AL., 2008), por lo que para su identificación se consideran las tres familias como grupo polínico Cupressaceae. Se pueden encontrar en Chapultepec ejemplares de *Cupressus benthamii*, *Cupressus lusitanica*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus sempervirens*, *Juniperus sp.* y *Taxodium mucronatum*, de los cuales las dos primeras especies son endémicas del Valle de México (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001).

Descripción. Son árboles dioicos o monoicos, perennifolios, cuya altura va desde los 12 a los 35 m de altura (figura 31). Corteza gris o pardo rojizo, delgada, con estrías longitudinales. Las hojas son opuestas o dispuestas en verticilos de tres, aciculares o escuamiformes. Los estróbilos o conos masculinos suelen ser terminales y solitarios, pequeños, con 3-7 sacos polínicos por escama. Los estróbilos femeninos generalmente son terminales, en ramas separadas, globosos u ovoideos, leñosos y con escamas tectrices soldadas. Su maduración puede ser bienal o anual, a veces trienal. Los frutos pueden ser globosos o subglobosos, carnosos o leñosos (MEDINA Y ÁVILA, 1997; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).



Figura 31. Ejemplar de Cupressaceae, hojas, fruto y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Distribución. Se desarrollan en climas húmedos y frescos, en cañadas y sobre suelos profundos. Los ejemplares de Cupressaceae también suelen cultivarse en toda la ciudad y sus alrededores, empleándose como árboles ornamentales y formando parte de parques, jardines y avenidas. También se les emplea como setos y rompe vientos (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994). Los juníperos o enebros se encuentran como faja transicional entre el bosque de *Quercus* y de *Pinus* por un lado, y el pastizal, matorral xerófilo o bosque tropical caducifolio por el otro. Prosperan sobre rocas madre y suelos, incluyendo los alcalinos, así como los de contenido moderadamente elevado en sales solubles y de yeso y con drenaje deficiente. Sobre suelos poco profundos y más bien pedregosos de laderas de cerros. Climas desde fríos de las altas zonas montañosas hasta el templado y semi húmedo y el semiárido. (RZEDOWSKI, 1981).

Cupressus lusitanica es originario de México, Guatemala y Costa Rica, suele dominar en manchones dentro del bosque de *Abies* o de *Pinus* (BLANCA ET AL., 2009). *Taxodium mucronatum* forma parte de los bosques de galería. Se encuentra disperso y en número reducido en parques y avenidas de la Ciudad de México, como es el Bosque de Chapultepec (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. Las especies de este grupo suelen presentar su floración en distintas épocas del año, según el género al que pertenezcan. *Cupressus* florece de octubre a abril, mientras que *Juniperus* florece de octubre a febrero. Por su parte *Thuja* florece en otoño e invierno (RECIO ET AL., 1996; ANERO ET AL., 2008) y *Taxodium mucronatum* florece entre febrero y marzo (MEDINA ET AL., 1997).

Polinización. Anemófila.

Morfología polínica. Apolar y radiosimétrico (figura 31). Circular en corte óptico, esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano, de 27 a 45 μm de eje polar, y eje ecuatorial de 22-37 (LUDLOW ET AL., 2003) según la especie debido a la capacidad de hidratación del grano de polen (ROURE, 1985). Exina delgada, de aproximadamente 1-1.5 μm de grosor, e incluso menos. Superficie microverrugada o escábrida (JONES ET AL., 1995), con elementos ornamentales de tipo orbículos distribuidos irregularmente por la superficie del grano de

polen. La exina se fractura fácilmente por lo que es frecuente observar a ésta independiente del contenido celular. Intina muy gruesa, de hasta 6.5 μm de grosor, que se dispone rodeando a un citoplasma con aspecto globular o estrellado. Polen inaperturado. (BASSETT ET AL., 1978; TRIGO ET AL., 2008; RECIO, 1995; ANERO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Los géneros comprendidos en este grupo se consideran de alta alergenidad, y son responsables de gran parte de las polinosis invernales en el área Mediterránea, América del Norte y Japón (FEO ET AL., 1998). Diversos autores (STANLEY Y LINSKENS, 1974; SÁENZ, 1978; DOMÍNGUEZ ET AL., 1984; HALSE, 1984, MICHEL ET AL., 1978; GUERRA ET AL., 1996) han comprobado la capacidad alérgica de distintas especies pertenecientes a esta familia. Se conoce un umbral de activación de síntomas de 50-60 gp/m^3 (WAISEL ET AL., 2003).

Resultados

Variación estacional

El polen de Cupressaceae se encuentra en la atmósfera de Chapultepec durante todo el año en concentraciones moderadas. Éstas se incrementan en los meses de noviembre a marzo, y como se observa en la figura 32, el periodo en que la concentración aumenta radicalmente, es la última semana de enero. Con un total anual de 11,799 gp , éste taxón aporta el 27.4% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

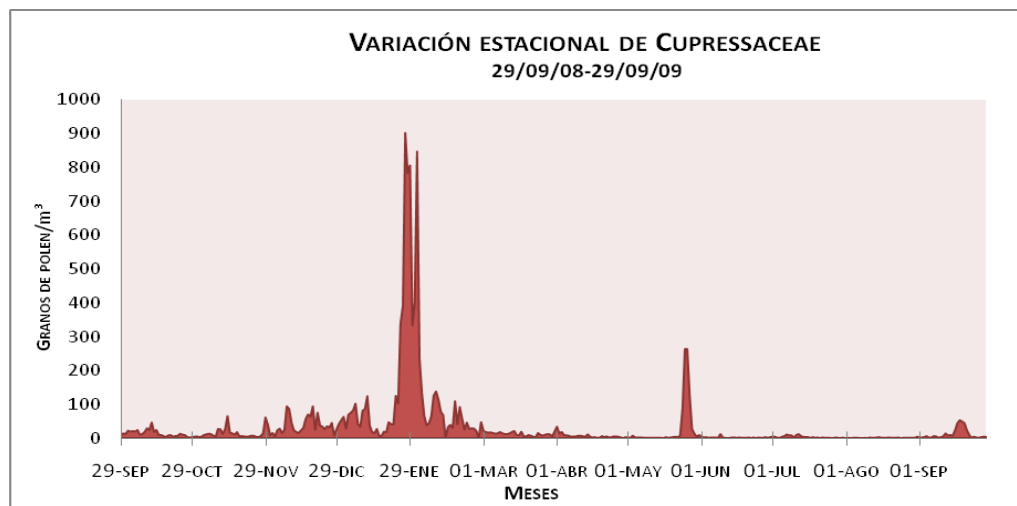


Figura 32. Concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae en la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo para el periodo estudiado.

Periodo Principal de Polinación

El periodo principal de polinación de la familia Cupressaceae comprendió la totalidad del año de estudio del 29 de septiembre de 2008 al 29 de septiembre de 2009. El pico máximo se presentó el 27 de enero con 902 granos de polen/m³. El periodo pre pico consta de 121 días y el post pico de 246 días. Posterior al pico máximo se observa una notable disminución, sin embargo, a finales de mayo hay un repentino incremento de granos de polen con una concentración máxima de 263 granos de polen/ m³ el día 25 de ese mes.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria (IDI) de Cupressaceae es de 0.11, lo que refleja incrementos de la concentración de granos de polen en determinados momentos creando picos moderados después del medio día y un poco antes de media noche. Durante la madrugada y antes de las 12 h, la concentración tiende a ser mucho más baja que el resto del día. Tal como se muestra en la figura 33, el 51 % del polen se colecta entre las 12 y las 18 h.

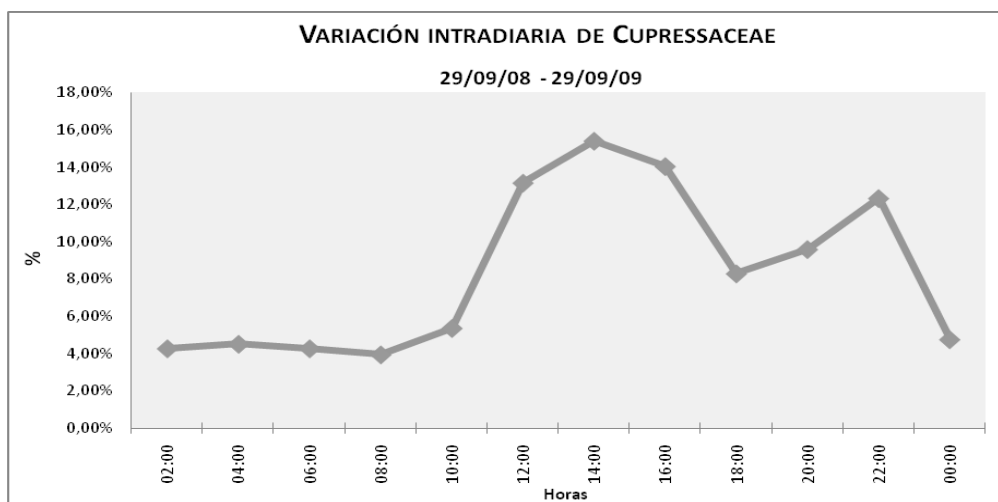


Figura 33. Distribución intradiaria del polen de Cupressaceae en la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo durante el año de estudio.

Correlación con los datos meteorológicos

Los factores meteorológicos de temperatura media, máxima y mínima, así como la humedad relativa, precipitación y velocidades media y máxima del viento presentan correlaciones negativas ($p < 0.001$) con la concentración de polen de Cupressaceae en el periodo de tiempo que corresponde al PPP y a la fase de descenso, tal como se observa en la tabla 5.

En el caso de la dirección de viento, el 1er y 4to cuadrante (NE y NO), así como las calmas, se asocian negativamente ($p < 0.001$) con la cantidad de polen, mientras que el 2do y 3er (SE y SO) cuadrante se asocian positivamente ($p < 0.001$).

Al analizar de manera separada el pre pico y el post pico se obtuvo un comportamiento similar al del PPP completo, sin embargo, en el prepico la temperatura se asoció positivamente con la concentración de polen ($p < 0.001$), y las asociaciones con la temperatura mínima y la precipitación no fueron significativas.

Respecto a la fase de ascenso, el incremento de la temperatura se correlacionó positivamente ($p < 0.001$) con la concentración de polen.

Factor Meteorológico	PPP N(365)	PrePico N(121)	Postpico N(246)	F.asc. N(104)	F.máx. N(10)	F.des. N(223)
Temp. Media	-.424***	.334***	-.229***	.329***	0,624	-.175**
Temp. Máx	-.291***	.381 ***	-.131*	.342 ***	0,559	-0,077
Temp. Min	-.555 ***	-0,021	-.411 ***	-0,015	0,445	-.405 ***
H.R	-.299 ***	-.545 ***	-.275 ***	-.570 ***	-0,333	-.352 ***
Precipitación	-.373 ***	-0,063	-.300 ***	-0,084	.	-.315 ***
Vel. Media viento	-.365 ***	-.323 ***	-.268 ***	-.289**	-0,367	-.237 ***
Vel. Max viento	-.387 ***	-.329 ***	-.261 ***	-.301**	-0,406	-.213 ***
% Viento 1er Cuadrante	-.245 ***	-.450 ***	-.207 ***	-.481 ***	-.827**	-.188**
% Viento 2do cuadrante	.133*	.429 ***	0,055	.460 ***	0,362	0,103
% Viento 3er cuadrante	.213 ***	.485 ***	.200 ***	.504 ***	0,593	.228 ***
% Viento 4 cuadrante	-.232 ***	-.371 ***	-.252 ***	-.421 ***	0,372	-.239 ***
% Viento Calmas	.323 ***	.323 ***	.286 ***	.341 ***	-0,128	.250 ***

Tabla 5. Correlación entre la concentración de gp de Cupressaceae y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

Cómo se mencionó anteriormente, en Chapultepec se tienen registradas al menos 7 especies pertenecientes a la familia Cupressaceae y se sabe que presentan distintas épocas de floración según el género al que pertenecen, pero que en general se encuentran es polinación desde septiembre y hasta marzo (ANERO ET AL., 2008). En taxa como este, donde la identificación del tipo polínico llegó hasta nivel familia, es común encontrar periodos de polinación largos y poco claros, pues las diferentes especies que lo conforman florecen en distinta época del año. Además, al estar esta familia ampliamente distribuida y emitir grandes cantidades de polen al aire, se facilita que su polen quede suspendido en el aire por largos periodos (SALAZAR, 1994).

El mes que presentó los valores más altos en la estación principal de polinación fue enero, no obstante, se encontraron granos de polen en cantidades moderadas durante todo el año y un segundo pico en mayo, que puede corresponder a la floración de alguna especie más tardía como: *Cupressus benthamii*, *Cupressus lusitánica*, *Cupressus macrocarpa* o *Cupressus sempervirens*, pudiendo extender su floración hasta abril. La mayor parte de la concentración de polen de este taxón se presentó en los meses de noviembre a marzo, correspondiendo a la estación invernal en que se encontraron los valores más altos del IPA general. Estos resultados coinciden con los presentados por Rocha et al. (2008) en los que se reporta una mayor incidencia de Cupressaceae para la Ciudad de Monterrey en el mes de enero.

El comportamiento de Cupressaceae a lo largo del día muestra un aumento de concentración un poco antes del mediodía hasta alcanzar su valor máximo a las 14 h, posteriormente, hay un ligero descenso seguido por un segundo pico se presenta a las 22 h.

Desde la madrugada y hasta poco antes del medio día los valores se mantienen estables y bajos, debido a la influencia del clima sobre la fisiología de las plantas. En algunas especies de cedro se ha observado un periodo de dehiscencia que va de las 8 a las 18 h, con un periodo máximo de liberación de polen que va de 12 a 14 h, tal como lo obtenido en este estudio (KHANDURI Y SHARMA, 2002). Este comportamiento está influenciado por las condiciones climáticas del entorno durante el día, ya que en las primeras horas la humedad es alta y la temperatura baja, además, las corrientes de viento son ligeras, por lo que prácticamente no hay liberación de polen sino hasta las 9 h. A partir de ese momento y en adelante, se pueden presentar picos en las horas en que la insolación es mayor y la temperatura es alta (FRENGUELLI ET AL., 1991; BRICHI ET AL., 1995; KHANDURI Y SHARMA, 2002).

En relación a los parámetros meteorológicos, Cupressaceae siguió un patrón similar al de *Fraxinus*, presentando una asociación negativa con la temperatura en todas las fases excepto en la de ascenso, lo cual se debe posiblemente a que al incrementarse la temperatura se presenta una mayor actividad en los órganos reproductivos de las especies que están en su ciclo de floración y por consiguiente liberan una mayor cantidad de polen. La temperatura mínima para que ocurra la antesis y dehiscencia de los microsporangios suele ser de 10° C. (PORSJBERG ET AL., 2003). Khanduri y Sharma (2002) observaron en la especie *Cedrus deodara*, que en climas más cálidos la dehiscencia de los microsporangios se lleva a cabo en dos días, mientras que en climas más fríos tarda más de 3 días en finalizar dicho proceso.

A pesar de que las condiciones climáticas predominantes en la estación principal de Cupressaceae son frías, es el incremento en la temperatura lo que favorece el inicio de la floración.

Respecto a la velocidad del viento, la correlación resultó ser negativa debido a que, como se mencionó anteriormente, los vientos fuertes facilitan la entrada del polen a la atmósfera, sin embargo, también provocan un barrido de los granos de polen dispersándolos lejos de la TETH, la cual no alcanza a succionar el polen con normalidad ante fuertes corrientes de aire (EDMONDS, 1979).

Los vientos del 1er y 4to cuadrante, que provienen del NE y NO respectivamente, se correlacionaron en sentido negativo ($p < 0.001$) con la concentración de polen, mientras que los vientos provenientes del SE y SO se asociaron en todas las fases de manera positiva ($p < 0.001$).

Al ser una especie con alto nivel de alergenidad y a la vez presente en la atmósfera en cantidades muy elevadas (902 gp/m³ como máxima diaria), es importante considerar a los diversos géneros y especies de Cupressaceae en los estudios de alergología, sobre todo para aquellos pacientes cuyos síntomas (asma, conjuntivitis, rinoconjuntivitis, etc.) se presenten entre los meses de noviembre a marzo. Además, es importante considerar estos aspectos al utilizar ejemplares de ésta especie para reforestar zonas urbanas de la ciudad, pues se contribuye indirectamente al aumento en los niveles aeropolínicos de este taxón.

Conclusiones

La etapa de polinación registrada para Cupressaceae comprendió prácticamente todo el periodo de muestreo, teniendo varios picos de noviembre a marzo.

El mes en que se registraron las mayores concentraciones fue enero. Existió un segundo pico de concentración en mayo, el cual probablemente corresponde a las especies del género *Cupressus* cuya floración suele prolongarse hasta abril.

Los granos de polen de este taxón representaron el 24.7% del IPA (42,927 gp), lo que refleja la gran abundancia de este taxón en la vegetación local, ocasionando que las personas sensibles o propensas a la polinosis puedan sufrir severos síntomas en los periodos en que este polen se encuentre en altas concentraciones.

La liberación de polen de este taxón a lo largo del día fue mucho mayor por la tarde y la noche. No obstante, el índice de variación intradiaria refleja que no existen picos estables.

Con respecto a los factores meteorológicos, la temperatura se asoció de manera negativa en todas las fases de floración de Cupressaceae, excepto en la fase de ascenso, en la que el incremento de temperatura favoreció la liberación de los granos de polen.

Los vientos del SE y SO incrementaron la concentración de polen de este grupo polínico en el aire.

5.5. Betulaceae: *Alnus*

Género perteneciente a la familia Betulaceae, representado en la zona de Miguel Hidalgo por dos especies: *Alnus acuminata*, *Alnus jorullensis* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).

Descripción. Árboles monoicos caducifolios, que en su hábitat natural alcanzan hasta 20 m de altura. De copa ancha y cónica, tronco recto con varias ramificaciones y corteza gris o café grisácea, fisurada. Sus hojas son simples, alternas, de obovas a oblongo-ovadas, biserradas, de base cuneada o redondeada, con el haz oscuro y el envés pálido y piloso (figura 34). El periodo de carencia de hojas es breve (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Las flores se disponen en amentos y son unisexuales; los masculinos cilíndricos y de 3-10 cm de longitud, con 3 a 6 flores en a cada bráctea, son leñosos. Los femeninos miden de 1-2 cm, con 2 flores en cada bráctea (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994). Los frutos son pequeños aquenios unialados y leñosos, de color verde al inicio y pardo oscuro al madurar (REICHE, 1963; RZEDOWSKI, 1981; RECIO 1995; TRIGO ET AL., 2008).



Figura 34. Ejemplar de *Alnus* sp., hojas y granos de polen (40 x 10 aumentos).

Distribución. Los bosques de *Alnus* en México son de dos afinidades ecológicas principales: viven a lo largo de arroyos y pequeños ríos o constituyen comunidades sucesionales de encinares y pinares, o bien surgen como consecuencia de la destrucción de otro tipo de bosques. Habitan praderas y forman parte del bosque de galería. Parecen formar parte de series sucesionales de encinares y pinares (RZEDOWSKI, 1981). *Alnus acuminata* y *A. jorullensis* son especies naturales del Valle de México, se distribuyen de manera natural en cañadas como la de Sierra de las Cruces y el Ajusco, y están ampliamente distribuidas en áreas verdes urbanas del sur y suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001).

Son frecuentemente cultivadas para reforestar parques y camellones anchos. Son utilizadas en áreas sin vegetación por su alto potencial en la recuperación de suelos erosionados. Su tiempo de vida es de 50 a 70 años (RODRÍGUEZ Y COHEN, 2003).

Época de floración. Típicamente invernal, puede iniciar desde noviembre hasta marzo (RECIO ET AL., 1996).

Polinización. Típicamente anemófila.

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 34). En vista polar presenta forma pentagonal a heptagonal, en función del número de aberturas; y en vista ecuatorial el grano se aprecia de elíptico a plano convexo. Oblado. Tamaño de pequeño a mediano, con un eje polar de 13 a 18 μm y eje ecuatorial de 23 a 28 μm . Exina tectada, de 2 hasta- 4.5 μm de grosor, con engrosamientos (arcos) de un poro a otro. Superficie finamente rugulada, escábrida o ligeramente equinulada, punteada en los arcos. La intina forma pequeños engrosamientos bajo los poros. Polen de 5 a 7-zonoporado. Poros aspidados de 2 a 3 μm de diámetro (HYDE, 1954; BASSETT ET AL., 1978; ROURE, 1985; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Se ha reportado su alergenidad de moderada a severa en zonas templadas de Europa y de América del Norte, donde se cultiva como ornamental (TRIGO ET AL., 2008). Se conoce su reactividad

cruzada con otras especies de la familia Betulaceae, sugiriéndose la existencia de propiedades alergénicas similares entre los distintos miembros de dicha familia, e incluso un alto grado de similitud alergénica entre Betulaceae y Fagaceae (SPIEKSMAN, 1983).

Resultados

Variación estacional

El polen de *Alnus* se encuentra en la atmósfera de Chapultepec, fundamentalmente desde principios de noviembre hasta finales de julio, aunque en los meses restantes también se presenta esporádicamente pero siempre en concentraciones muy bajas (figura 35).

Los niveles máximos se presentaron en diciembre y enero, y el polen de *Alnus* contribuyó con el 6.8% (2,923 gp) del IPA (42,927 gp) de la zona de estudio.

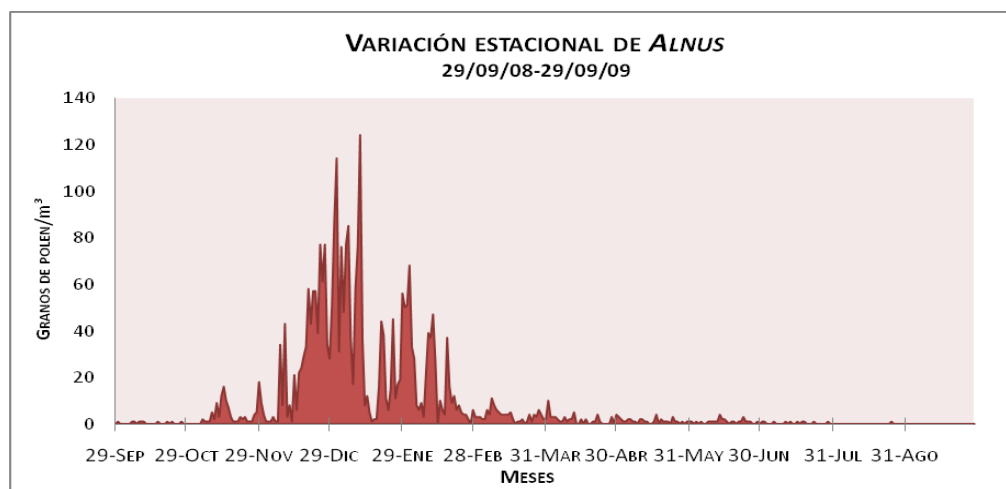


Figura 35. Concentraciones medias diarias del polen de *Alnus* en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El PPP de *Alnus* alcanzó 224 días y comprendió del 5 de noviembre de 2008 al 16 de junio de 2009. El pico máximo se presentó el 11 enero del 2009, con 124 granos de polen /m³ de aire. El periodo pre pico comprendió 68 días y el post pico 157 días.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria de *Alnus* fue de 0.08, lo cual indica, tal como se observa en la figura 36, que no existieron picos estables de concentración a una determinada hora del día, ya que el polen de *Alnus* incidió homogéneamente en la atmósfera durante todo el día, con la excepción de un ligero descenso a las 10 h y un aumento por la noche (22 h) cuando se presentó su pico máximo de concentración.

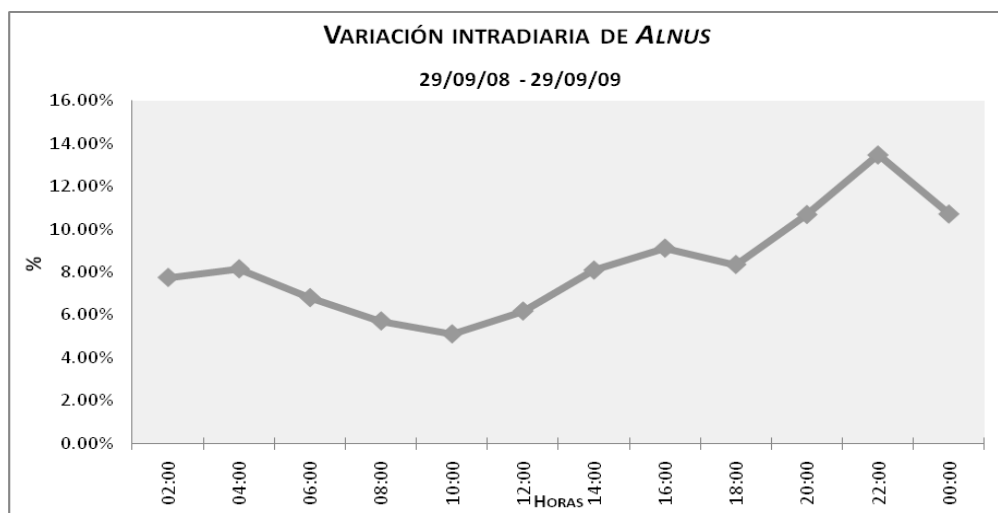


Figura 36. Distribución intradiaria del polen de *Alnus* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

Se puede observar en la tabla 6, que la temperatura media, máxima y mínima correlacionaron negativamente ($p < 0.001$) con el polen de *Alnus* en el PPP, postpico y fase de descenso, mientras que en la fase de ascenso ésta asociación fue positiva con la temperatura media y mínima ($p < 0.001$).

En el caso de la humedad relativa se obtuvieron asociaciones negativas en el prepico ($p < 0.001$) y la fase de ascenso ($p < 0.01$), mientras que la fase de descenso se asoció positivamente ($p < 0.01$). Por su parte, la correlación entre la precipitación y la concentración del polen de *Alnus* fue muy significativa ($p < 0.001$) en sentido negativo para todo el PPP.

Factor Meteorológico	PPP N(224)	PrePico N(68)	Postpico N(157)	F.asc. N(47)	F.máx. N(12)	F.des. N(113)
Temp. Media	-.407***	0,228	-.434***	.403**	-0,401	-.436***
Temp. Máx	-.329 ***	0,224	-.344 ***	0,274	-0,409	-.412 ***
Temp. Min	-.474 ***	0,115	-.520 ***	.323 *	0,051	-.443 ***
H.R	-0,030	-.403***	0,018	-.405 **	0,518	.255 **
Precipitación	-.256***	.	-.219 **	.	.	-0,066
Vel. Media viento	-.355 ***	-0,108	-.277 ***	-0,114	.805 **	-.325***
Vel. Max viento	-.421 ***	-0,116	-.359 ***	-0,131	.834 **	-.425 ***
% Viento 1er Cuadrante	-.230***	-.361 **	-0,096	-.402 **	0,116	0,011
% Viento 2do cuadrante	.137 *	.343 **	-0,029	.451 ***	0,054	-0,065
% Viento 3er cuadrante	0,105	.293 *	-0,027	.331 *	-0,542	-0,131
% Viento 4 cuadrante	-.151 *	-0,168	-0,070	-0,206	0,398	-0,018
% Viento Calmas	.330 ***	0,132	.322 ***	0,161	0,002	.321 **

Tabla 6. Correlación entre la concentración de gp de *Alnus* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Se encontraron asociaciones negativas ($p < 0.001$) con la velocidad del viento en todas las fases excepto en la máxima, en la cual la asociación fue positiva ($p < 0.01$). En cuanto a las correlaciones significativas para la dirección del viento, en el PPP, prepico y fase de ascenso, fueron los vientos provenientes del NE y el NO

los que se asociaron de manera negativa, y los del SE y SO los que presentaron una asociación positiva, al igual que las calmas.

Discusión

La etapa de floración de *Alnus* comprendió los meses de noviembre a junio (RECIO ET AL., 1996), aunque durante el resto del año se presentó en la atmósfera de Chapultepec de manera esporádica y moderada. Los valores máximos se presentaron en diciembre y enero, siendo éste último en el que se registró el pico máximo de concentración. A pesar de ser un género de floración invernal, el inicio de su floración puede prolongarse hasta marzo, lo que explica el porqué se le encuentra en la atmósfera aún en el mes de junio. Estos resultados coinciden con los reportados por Frenguelli et al. (1991) para el centro y noreste de Europa.

Al igual que *Fraxinus* y Cupressaceae, y probablemente debido a que también es una especie de floración invernal, las temperatura media, máxima y mínima se correlacionaron negativamente con los niveles aeropolínicos de este taxón, exceptuando la fase de ascenso en la cual el aumento de temperatura favoreció la liberación del polen, lo cual coincide con lo reportado por Jato et al. (2000) para diferentes ciudades de Europa. Lo anterior se debe a que, como muchos otros árboles de climas templado o frío, los ejemplares de este taxón requieren de condiciones específicas de temperatura para continuar con su crecimiento y polinación. Para prevenir el daño de sus células por congelamiento, estas plantas frenan su desarrollo casi por completo, entrando en un estado de dormancia. El final de la dormancia y el inicio del crecimiento de las inflorescencias masculinas se presentan después de haber pasado por un periodo de bajas temperaturas seguido por otro de temperaturas cálidas (FELKER ET AL., 1983).

Jato et al. (2000) estudiaron este comportamiento en tres ciudades distintas de Europa (de clima cálido, frío e intermedio), en donde siempre se presentó el mismo patrón. Mientras más frías fueron las temperaturas de la primera etapa de este proceso, mayor fue el requerimiento de calor para poder salir de la dormancia y reanudar el desarrollo.

En los lugares donde el clima no es tan extremo, como es el caso de la Ciudad de México, este tipo de árbol no necesita protegerse con estos mecanismos por periodos tan prolongados por lo que se necesita solo un breve periodo de días fríos y otro de días más cálidos para iniciar la floración (JONES, 1992; JATO ET AL., 2000).

En el caso específico de los granos de polen de *Alnus*, el oncus juega un papel importante ya que gracias a ésta estructura el polen puede adaptar su tamaño, disminuyendo en la dormancia por deshidratación y rehidratándose al terminar el periodo adverso, de manera que la dormancia termina y ocurre la antesis (PACINI Y FRANCHI, 1984).

El incremento en la velocidad media del viento juega un papel negativo para la concentración de granos de polen causando un barrido atmosférico. En el prepico (el cual abarcó la fase de ascenso) fue posible observar una asociación positiva con los vientos provenientes del SE y SO, mientras que los vientos del NE y NO no aportaron polen a la atmósfera de Chapultepec. El hecho de que los vientos del sur favorecieran la abundancia de granos de polen de *Alnus* en la atmósfera de Chapultepec, posiblemente se debe a que es en el sur de la ciudad donde este género forma parte de la flora silvestre, además de ser ampliamente utilizado

en avenidas y otras zonas urbanas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994) por lo que es la frecuencia del sur la que tiene más probabilidad de aportar a la atmósfera polen de este taxón. Las calmas se correlacionaron positivamente, posiblemente debido a que permiten una mayor eficiencia de succión por parte del captador (comunicación personal de María del Mar Trigo, 2011), y por otra parte, esto podría indicar que el polen registrado es liberado por masas de vegetación presentes en las cercanías del captador (RODRÍGUEZ ET AL., 2002).

Por otra parte, la humedad relativa influyó negativamente sobre la presencia de polen atmosférico aumentando la densidad de los granos y provocando deposición. Fue posible observar una asociación positiva de éste parámetro con la concentración de polen en la fase de descenso, la cual correspondió a meses cálidos cuya humedad relativa fue muy baja.

La precipitación no arrojó coeficientes de significancia en el caso del prepico y las fases de ascenso y máxima, ya que fueron periodos de sequía. Para el PPP, la precipitación se asoció de forma significativa y negativa, ya que causa un efecto de sedimentación de los granos de polen, similar al provocado por la humedad relativa.

Respecto al comportamiento intradiurno de *Alnus*, se obtuvo un IDI de 0.08 que refleja la inexistencia de picos de liberación estables, sin embargo, se observó una tendencia de aumento en la concentración a las 22:00 h. El bajo valor de IDI obtenido puede ser reflejo de una mayor distancia entre la fuente de producción de polen y el captador (TRIGO ET AL 1997). En este sentido, *Alnus* es un tipo polínico cuya alta producción de granos de polen (cada amento puede producir hasta 4.5 millones de granos de polen) favorecen el transporte a larga distancia (LEWIS ET AL., 1983).

Las concentraciones más bajas se observaron por la mañana (figura 36) cuando la atmósfera era aún fría y húmeda impidiendo que ocurra la antésis (CID, 2007).

El total de polen de *Alnus* en la atmósfera de Chapultepec representó un 6.8% del IPA (42,927 gp), lo que lo coloca en el tercer lugar de abundancia entre todos los tipos polínicos encontrados. Dado que la alergenicidad de este taxón es considerada de moderada a severa (URL 6), y actualmente su extracto provoca reacciones positivas en las pruebas cutáneas en gran cantidad de consultorios del Distrito Federal (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005), en general puede considerarse al polen de este taxón como un alérgeno potencial y debe vigilarse la correcta utilización de este género en las reforestaciones que se hacen en zonas urbanas (PROGAN, 2010).

Conclusiones

Alnus presentó un periodo principal de polinación de 7 meses, comprendidos de noviembre a junio, y cuyos valores más altos se encontraron en el mes de enero. El resto del año apareció en la atmósfera ocasionalmente, en concentraciones bajas.

La distribución intradiaria de los granos de polen de este taxón no presentó picos establecidos, aunque presentó un pico máximo de concentración por la noche.

En general, la temperatura se asoció negativamente con la concentración de polen de *Alnus*, excepto en la fase de ascenso en cuyo caso favoreció la liberación de los granos de polen.

La humedad relativa, la precipitación y la velocidad del viento afectaron negativamente los niveles de concentración de polen atmosférico. Al ser un género abundante al sur de la ciudad, son las frecuencias de viento que provienen de esa dirección las que aportaron mayor cantidad de polen a la atmósfera de Chapultepec.

Al ser un género cuyo polen es abundante en la atmósfera de Chapultepec, y cuya alergenicidad llega ser severa, es importante que el extracto de *Alnus* sea ampliamente utilizado en los diagnósticos de polinosis en la Ciudad de México, más ahora que se le emplea intensivamente en reforestaciones urbanas.

5.6. Poaceae

Familia cosmopolita que comprende alrededor de 10.000 especies, gran número de ellas capaces de crecer en todo tipo de hábitat. Este taxón comprende a los pastos silvestres y a los cultivados, desde los cereales, hasta especies utilizadas como ornamentales.

Una gran cantidad de especies de esta familia forma parte de la vegetación natural de la zona, como son *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 Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 37. Ejemplar de Poaceae y granos de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Hierbas anuales o perennes, rizomatosas o estoloníferas, con frecuencia de tallos erectos, cilíndricos, largos y huecos. Las hojas son alternas, dispuestas en dos filas y diferenciadas en una vaina que abraza al tallo y un limbo generalmente linear-lanceolado y divergente. Inflorescencias de tipo espiga, racimo o panícula de espiguillas. Cada espiguilla con una o numerosas flores y normalmente dos brácteas o glumas en la base. Flores muy modificadas, con el periantio ausente o formado por dos o tres escamas pequeñas. Androceo con uno a tres, a veces seis estambres con filamentos largos y delgados, y anteras versátiles. El ovario es súpero, unicarpelar, rematado por dos o tres estigmas plumosos. Fruto cariósipide, rara vez aquenio, y las semillas tienen endospermo amiláceo (URL 57 Y 58; RECIO, 1995; TRIGO ET AL., 2008)

Distribución. Debido a su versatilidad de crecimiento esta familia ha sido naturalizada en gran parte del globo (BLANCA ET AL., 2009). Crece no sólo en lugares como praderas y pastizales, sino en zonas abandonadas y grietas. Se encuentra desde el nivel del mar hasta las zonas altas de montaña. Dentro de Miguel Hidalgo se le encuentra cultivada en parques, camellones y otros sitios que cuenten con mínima vegetación. En el caso de Chapultepec, distintas especies de gramíneas habitan en los numerosos estratos de vegetación que ahí existen, siendo algunas especies como *Hilaria cenchroides*, *Poa annua*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum tenellum*, *Sporobolus indicus*, *Bromus carinatus* y *Bromus catharticus* nativas del Valle de México (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001).

Época de floración. Es un periodo muy prolongado que puede durar casi todo el año, debido a que numerosas especies florecen sucesivamente, aunque más frecuentemente en primavera (TRIGO ET AL., 2008).

Polinización. Anemófila y con capacidad de autopolinización, sobre todo en los cereales cultivados (TRIGO ET AL., 2008).

Morfología polínica. Heteropolar y radiosimétrico (figura 37). Circular en vista polar y de circular a ligeramente elíptico u ovoide en vista ecuatorial. De esferoidal a prolado-esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano, entre 25 y 40 μm de diámetro, aunque en casos como los cereales cultivados el tamaño es mucho mayor, llegando a los 100 μm . Exina tectada, de 1-2 μm de grosor, engrosándose alrededor de la abertura para formar un anillo. Superficie de granulada a rugulada. Intina normalmente más gruesa que la exina, engrosándose por debajo de la abertura. Polen monoanaporado. Abertura simple de tipo poro, y situada en el polo distal, cubierto por un opérculo (BASSETT ET AL., 1978; RECIO, 1995; TRIGO Y FERNÁNDEZ, 1995; LUDLOW ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Autores como Sáenz (1978), Stanley y Linskens (1974) y otros, han citado a las distintas especies de gramíneas como causantes de polinosis, considerándose su polen como una de las principales causas de alergia en Europa y Norte América, aunque hay que tener en cuenta que dentro de un mismo género las diferentes especies pueden presentar distinta capacidad alergógena. Existen casos de sensibilización cruzada entre especies de la misma familia, así como con algunas de familias diferentes.

El umbral de activación de las gramíneas puede cambiar según la especie en cuestión y el grado de sensibilidad del paciente. Benito y Soto (2001) señalan un umbral de activación de polinosis de 45 gp/m^3 . Por su parte, Ong et al. (1997) mencionan una activación de síntomas moderados de alergia con 25 gp/m^3 , y finalmente en algunos casos donde existe una hipersensibilidad la activación puede presentarse con tan solo 3-5 gp/m^3 (WAISEL ET AL., 2003).

Resultados

Variación estacional

El polen de Poaceae apareció en la atmósfera durante todo el año en concentraciones similares, como se muestra en la figura 38. Para el año estudiado se observa que la primera y última semana de enero, así como los días a mediados de febrero representan los picos más altos de concentración. Con un total anual de 2,242 gp, las gramíneas conformaron el 5.22% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

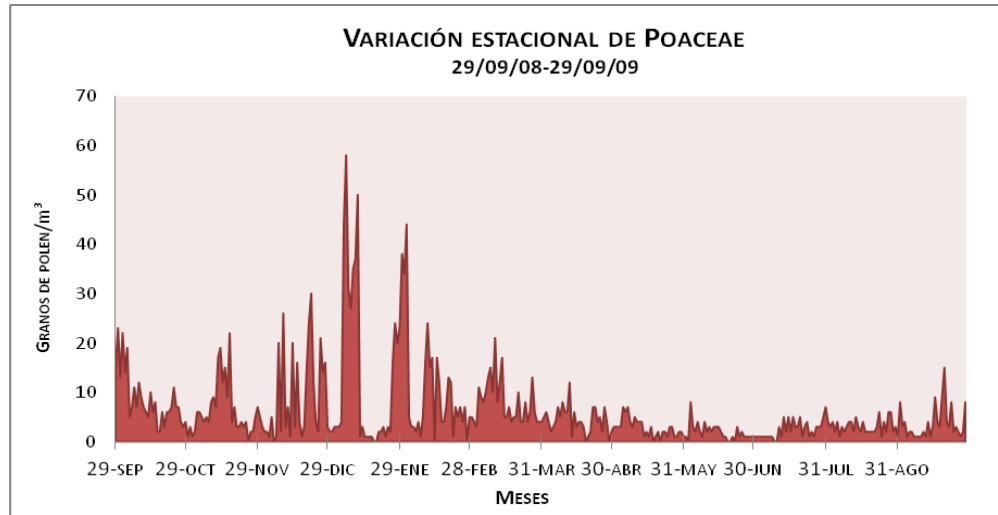


Figura 38. Concentraciones medias diarias del polen de Poaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El periodo principal de polinación de las gramíneas comprendió los 365 días del año estudiado. El Pico máximo se presentó el 6 enero del 2009, con un total de 58 granos de polen /m³ de aire. El periodo pre pico comprendió 100 días y el post pico 267 días.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria (IDI) de Poaceae fue el más bajo registrado para los taxa estudiados en este trabajo (0.05).

Como se muestra en la figura 39, a lo largo de todo el día se registraron cantidades más o menos constantes de polen de Poaceae, y solamente se observó un pequeño aumento en la concentración por la tarde y la noche (16 y 22 h); dichos picos no presentaron diferencias de concentración significativas respecto a los porcentajes que se registraron en las demás horas del día.

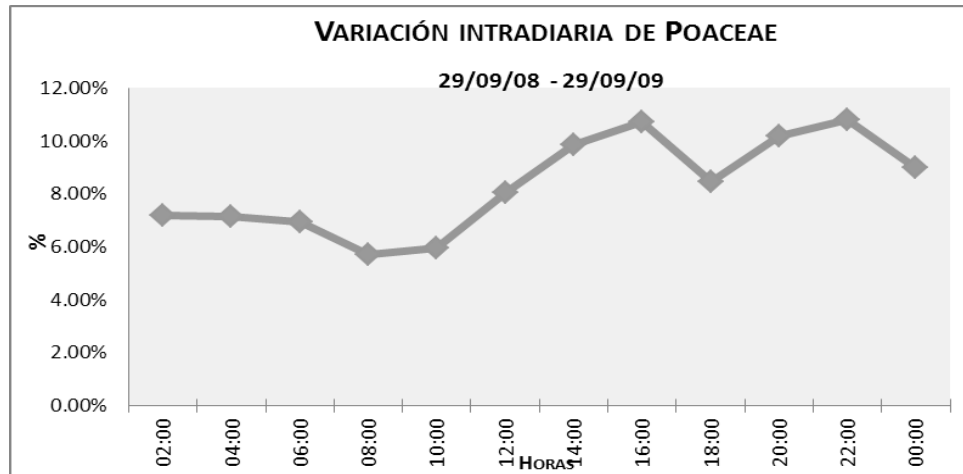


Figura 39. Distribución intradiaria del polen de Poaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

Los factores de temperatura media y máxima se asociaron de manera positiva ($p < 0.001$) en el prepico, postpico, fase de ascenso, fase máxima y de descenso. En el caso de la temperatura mínima su asociación fue negativa ($p < 0.001$) en el PPP y positiva para la fase máxima ($p < 0.01$).

La humedad relativa y la precipitación fueron factores cuya influencia sobre la concentración fue negativa ($p < 0.001$) tanto en el PPP, etapa postpico, fase máxima y fase de descenso (tabla 7).

La velocidad media del viento presentó una asociación positiva ($p < 0.01$) con respecto al PPP completo. Los vientos predominantes del 1er cuadrante (NE) se asociaron negativamente ($p < 0.05$) con el PPP, postpico, fase máxima y de descenso, mientras que el 3er cuadrante (SO) presentó una correlación positiva ($p < 0.01$) para la fase máxima. Las calmas se asociaron positivamente con el PPP y el postpico ($p < 0.05$).

Factor Meteorológico	PPP N(365)	PrePico N(100)	Postpico N(267)	F.asc. N(97)	F.máx. N(68)	F.des. N(191)
Temp. media	-0,046	.338***	0,079	.337***	.427***	.278***
Temp. Máx	0,044	.349***	.162**	.351***	.358**	.260***
Temp. min	-.249***	0,174	-.220***	0,174	.388**	-0,060
H.R	-.344***	-0,118	-.439***	-0,108	-.266*	-.439***
Precipitación	-.387***	0,092	-.428***	0,112	-.310*	-.395***
Vel. Media viento	-0,064	-0,007	-0,009	-0,044	-0,145	.189**
Vel. Max viento	-0,061	0,021	0,004	-0,015	-0,116	.205**
% Viento 1er Cuadrante	-.117*	-0,049	-.144*	-0,075	-.353**	-.159*
% Viento 2do cuadrante	0,037	0,081	0,015	0,113	0,211	0,034
% Viento 3er cuadrante	0,070	0,101	0,084	0,122	.350**	0,078
% Viento 4 cuadrante	-0,026	-0,104	-0,007	-0,125	-0,005	0,019
% Viento Calmas	.109*	-0,011	.130*	0,026	-0,029	0,038

Tabla 7. Correlación entre la concentración de gp de Poaceae y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

Poaceae no presentó una estación principal de floración establecida ya que durante todo el año se le encontró presente en la atmósfera de Chapultepec en concentraciones moderadas pero constantes, lo cual probablemente se debe a que se trata de un taxón multiespecífico (el género comprende gran cantidad de especies), con épocas distintas de floración para cada especie (TRIGO ET AL., 1997; SPIEKSMAN, 1992).

El PPP fue tan prolongado que abarcó los 365 días comprendidos en este estudio, aunque en los meses de enero y febrero el polen de estos taxa alcanzó las concentraciones máximas, y permaneció en niveles altos en toda la etapa primaveral, que correspondió a la floración que se tiene registrada para este tipo polínico. En el estudio realizado por Rocha et al. (2008) en la Ciudad de Monterrey, se registró un PPP de 303 días, casi tan largo como el de Chapultepec.

Con respecto a la variación intradiaria de Poaceae, se observó (figura 39) que el polen se distribuyó uniformemente durante todo el día y no se presentaron picos establecidos de concentración, obteniendo como IDI un valor de 0.05. La multiespecificidad de estos taxa interviene de gran manera en ese hecho al igual que en la estacionalidad, debido a que cada especie posee un comportamiento diferente en cuanto al momento de la dehiscencia de las anteras (RECIO, 1995) por lo que el comportamiento de unas especies puede verse enmascarado por el de otras cuando las condiciones atmosféricas de un día, o de un año, favorecen la polinización de una o varias especies que tenderán a estar sobrerrepresentadas y a marcar la pauta global de los taxa (RODRIGUEZ ET AL., 2002).

No obstante, en el turno vespertino se observaron las concentraciones más altas de polen en la atmósfera, con un pico en la tarde y otro en la noche, coincidiendo con lo reportado por Rodríguez et al. (2002) en la atmósfera de Galicia, España. La existencia de un pico de concentración a las 16 h se debe a un periodo de calor anterior que provoca la sensibilización en las anteras. Pla Dalmau (1961) y Hawke-Maedow (1989) registraron un pico de concentración que siempre tuvo lugar entre las 15 y 16 h, cuando las condiciones climáticas han permitido la liberación del polen y su transportación desde la fuente hasta el captador.

En cuanto a los parámetros meteorológicos, la temperatura fue el factor principal para el comienzo de la estación polínica de las gramíneas, y en este estudio se asoció significativamente y de manera positiva en todas las fases. La temperatura estuvo fuertemente asociada a una baja humedad relativa, lo que probablemente favoreció la desecación de las anteras y la liberación del polen.

En varias ciudades de España se ha observado que la temperatura promedio en la que inicia la polinación es en un intervalo de 10°C a 12°C, aunque los valores más altos se registraron a los 15°C. (FERNÁNDEZ ET AL., 1990; RODRÍGUEZ ET AL., 2002). En el caso de la Ciudad de México, las temperaturas son más altas que en Europa aún cuando se trate del invierno (las temperaturas más bajas en el Distrito Federal suelen ser de 5°C, mientras que en España alcanzan valores menores a 0°C), por lo que no se tienen limitantes en cuanto a los requerimientos de las poáceas para iniciar su polinación.

Tanto la humedad relativa como la precipitación afectaron significativamente a la concentración de polen en el aire, mostrando una asociación negativa con el PPP completo, así como con la fase máxima y de descenso. No obstante, es importante señalar que la importancia de la precipitación en relación con los

niveles aeropolínicos de estos taxa tiene lugar durante el periodo hídrico previo al periodo de polinación. Será la intensidad de las lluvias pre-estacionales la que determine el grado de incidencia que tendrán sus granos de polen en la estación principal. Una época de lluvias escasas provocará un PPP con cantidades diarias de polen bajas y viceversa (GONZÁLEZ ET AL., 1997).

La velocidad de viento fue uno de los factores que más influencia positiva tuvo sobre la cantidad de granos de polen registrada. En este caso, el incremento de la velocidad del viento que tuvo lugar por la tarde influyó positivamente y se puede ver reflejado en la variación intradiaria de las gramíneas. La frecuencia de vientos del NE se correlacionó negativamente en todas las etapas, aportando bajas cantidades de polen a la atmósfera de Chapultepec, mientras que el viento proveniente del SO se asoció de manera positiva con la concentración de Poaceae, lo que indica que del suroeste proviene una gran parte del polen colectado.

El polen de Poaceae representó el 5.22% del IPA de Chapultepec. Dada su capacidad alergógena que va de moderada a severa es importante considerar a esta familia como una de las causas principales de polinosis en Chapultepec. Son diversas las ciudades en el mundo donde las gramíneas son el principal causante de síntomas de alergia (GONZÁLEZ ET AL., 1998). Un gran número de taxa pueden llegar a presentar reacción cruzada con algún tipo de pasto, los recuentos por encima de 50 gp/m³ como media diaria reactivan los síntomas en la mayoría de los pacientes sensibilizados (ROCHA ET AL., 2008), por lo que éste tipo polínico es de gran relevancia en la salud, y éstos factores deben ser tomados en cuenta en los diagnósticos y tratamientos de la polinosis.

Conclusiones

El polen de Poaceae se puede encontrar en la atmósfera de Chapultepec durante todo el año, pero alcanza sus concentraciones mayores en los meses de enero y febrero.

La cantidad de polen que este tipo polínico aportó al IPA fue de 5.22%, y al poseer una alergenicidad severa es uno de los principales causantes de polinosis.

Debido al gran número de especies que comprende esta familia, su comportamiento intradiario no siguió un patrón establecido, aunque las mayores concentraciones se presentaron por la tarde y la noche.

El incremento en la temperatura, así como la velocidad del viento se asociaron positivamente con el incremento en la concentración del polen de Poaceae en la atmósfera, mientras que la precipitación y la humedad relativa tuvieron una influencia negativa sobre su concentración.

El viento del SO aportó la mayor cantidad de granos de polen de poáceas a la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo.

5.7. Pinaceae: *Pinus*

El género *Pinus* pertenece a la familia de las pináceas, distribuida ampliamente en el hemisferio Norte. De las 90 especies que comprende este género, 30 se encuentran en forma natural en el Valle de México (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994). Estas especies son más comunes en condiciones frías y templadas en su mayoría, con excepciones que se adaptan mejor a climas tropicales. Debido al cultivo exitoso de diversas especies de ésta familia por sus piñones, es difícil determinar el origen de gran parte de sus especies (RZEDOWSKI, 1981). Las diversas especies de *Pinus* presentan el mismo tipo polínico (TRIGO ET AL., 2008).

En la zona de Miguel Hidalgo se encuentran numerosos ejemplares de oyamel (*Abies religiosa*) y distintos tipos de pinos de las especies: *Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. greggii*, *P. halepensis*, *P. maximartinezii*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. radiata*, etc.

En los estudios aeropolínicos se incluye en éste tipo polínico al género *Abies*, representado en Chapultepec por el oyamel (*Abies religiosa*), y al género *Cedrus* representado por *Cedrus libani* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).

Descripción. Se trata de árboles monoicos perennifolios, resinosos y de ramificaciones abundantes. Alcanzan hasta 30 m de altura. Copa cónica o piramidal según la especie. Sus hojas son persistentes y aciculares, polimorfas en cuanto a longitud, grosor, color y dispuestas en fascículos sobre braquiblastos (figura 40). Inflorescencias cónicas agrupadas cerca de los extremos de las ramas jóvenes, con escamas dispuestas en espiral y dos sacos polínicos en cada una. Los estróbilos femeninos poseen dos rudimentos seminales, variables en cuanto a morfología y tamaño. Infrutescencias leñosas conocidas como "piñas" y semillas provistas generalmente de un ala más o menos desarrollada.



Figura 40. Ejemplar de *Pinus* sp., hojas y grano de polen (40 x 10 aumentos).

En el caso del género *Abies*, los árboles son de copa cónica o piramidal y las hojas son lineares y dispuestas sobre macroblastos, subdísticas o dispuestas radialmente. Los conos masculinos se agrupan en los extremos de las ramas al igual que en el pino. Los estróbilos son erectos o péndulos, subcilíndricos y se deshacen al madurar. Poseen dos semillas aladas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; RECIO, 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Distribución. Las pináceas están ampliamente distribuidas en México, formando masas puras en las sierras, zonas montañosas y bosques de pino-encino. Los pinares se encuentran en áreas cubiertas de rocas ígneas, tanto antiguas como recientes. Crecen sobre gneis y esquistos, así como sobre margas, areniscas, lutitas y calizas. Son frecuentes las tierras rojas, más o menos arcillosas, derivadas de basaltos, de igual forma se hallan sobre suelos negros y profundos.

Pinus radiata, oriundo del sur de California, crece en climas templados o cálidos, en suelos silíceos y profundos, no se le encuentra en temperaturas muy bajas y requiere bastante humedad (BLANCA ET AL., 2009). *Pinus montezumae* crece en bosques de pino y encino entre los 1400 y 3200 msnm, con precipitaciones entre 900 y 1600 mm y temperaturas de 11 a 18 °C, creciendo en zonas boscosas de las montañas de México. *Pinus ayacahuite* es una de las especies de pino nativo del sureste de México. Se desarrolla mejor en altitudes entre 1000 y 2500 msnm en sitios húmedos. A más de 3000 msnm los pinares son la especie dominante por su capacidad de prosperar a grandes altitudes.

El bosque de *Abies religiosa* (oyamel) se encuentra en el norte y suroeste de México con mayor frecuencia en sitios de gran altitud (2400-3000 msnm) y se extiende hasta América Central. Predomina en sitios con una precipitación anual de 1000 a 1400 mm y temperaturas promedio de 10 a 16° C. A lo largo de su distribución, los oyameles forma rodales puros y a veces, se asocian con especies de *Quercus* sp. y *Pinus* sp. Se encuentran en suelos profundos con alto contenido en materia orgánica y buen drenaje interno y externo (RZEDOWSKI, 1981; TRIGO ET AL., 2008).

Por su adaptabilidad y rapidez de crecimiento, se les encuentra en parques, jardines y avenidas de la Ciudad de México, se les emplea como árboles de alineación y en reforestaciones urbanas y suburbanas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. Aunque la floración es típicamente invernal (RECIO ET AL., 1996), algunas especies de *Pinus* florecen de febrero a junio. El género *Cedrus* presenta una floración que se extiende entre octubre y noviembre. A veces puede presentar otra floración hacia febrero-marzo. *Abies religiosa* presenta una floración cíclica y se completa en dos años. A través de su ámbito de distribución geográfica inicia su floración en diciembre, y la polinización se da en marzo y abril del siguiente año (RZEDOWSKI, 1981).

Polinización. Anemófila.

Morfología polínica. Grano de polen heteropolar, de simetría bilateral y vesiculado, (figura 40). Cuerpo de oblado a oblado-esferoidal, elíptico en vista polar y plano-convexo en vista ecuatorial; vesículas aeríferas de elípticas a subcirculares en vista ecuatorial. Tamaño del cuerpo de mediano a grande en *Pinus*, eje polar de entre 34 y 60 µm y diámetro ecuatorial entre 40 y 70 µm. Tamaño de grande a muy grande en *Abies*, eje

polar de entre 60 y 105 μm , y eje ecuatorial entre 80 y 110 μm . Exina de 2 a 4 μm de grosor (hasta 6 μm en *Abies*) en el polo proximal y de menos de 1 μm en el polo distal. Presenta un adelgazamiento de la exina (leptoma) situada en el polo distal, entre los dos sacos aéreos (monoanaleptomado). Superficie granulada-verrugosa en el corpus y escábrida en los sacos aéreos, los cuales vistos al microscopio óptico aparecen reticulados. Polen monoanaleptomado (ROURE, 1985; RECIO, 1995; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. El polen de diversas especies del género *Pinus* se conoce como de baja alergenidad (STANLEY Y LINSKENS, 1974; SÁENZ, 1978; LEWIS ET AL., 1983; DOMÍNGUEZ ET AL., 1984; FOUNTAIN Y CORNFORD, 1991). Algunos autores han sugerido que, al haber estado el hombre constantemente expuesto a este tipo de polen a lo largo de toda su existencia, quizás haya desarrollado una inmunidad contra los granos de polen de este grupo (WODEHOUSE, 1971, SEGÚN FOUNTAIN Y CORNFORD, 1991).

La baja alergenidad del polen de *Pinus*, radica en el gran tamaño de los granos (poca penetración por el tracto respiratorio), y también a su naturaleza hidrofóbica y bajo contenido proteico (HOWLETT ET AL., 1981, SEGÚN FOUNTAIN Y CORNFORD, 1991).

En un estudio reciente llevado a cabo con polen de *P. radiata*, muy abundante en la atmósfera de Nueva Zelanda, se encontraron proteínas alérgicas y se presentó reactividad cruzada con el polen de una especie de poáceae (*Lolium perenne*), aunque de importancia clínica aún desconocida (FOUNTAIN Y CORNFORD, 1991).

El polen de *Cedrus* presenta una muy baja capacidad alérgica y al igual que *Pinus*, su gran tamaño dificulta la entrada a las vías respiratorias.

Resultados

Variación estacional

El polen de *Pinus* se encontró presente en la atmósfera de Chapultepec durante todo el año en concentraciones bajas, sin embargo, se puede observar en la figura 41, que su periodo de polinación comprendió principalmente de marzo a mayo, presentando los valores máximos en abril.

Los granos de polen de *Pinus* representaron un 2.88% (1,239 gp) del total anual recolectado (42,927 gp).

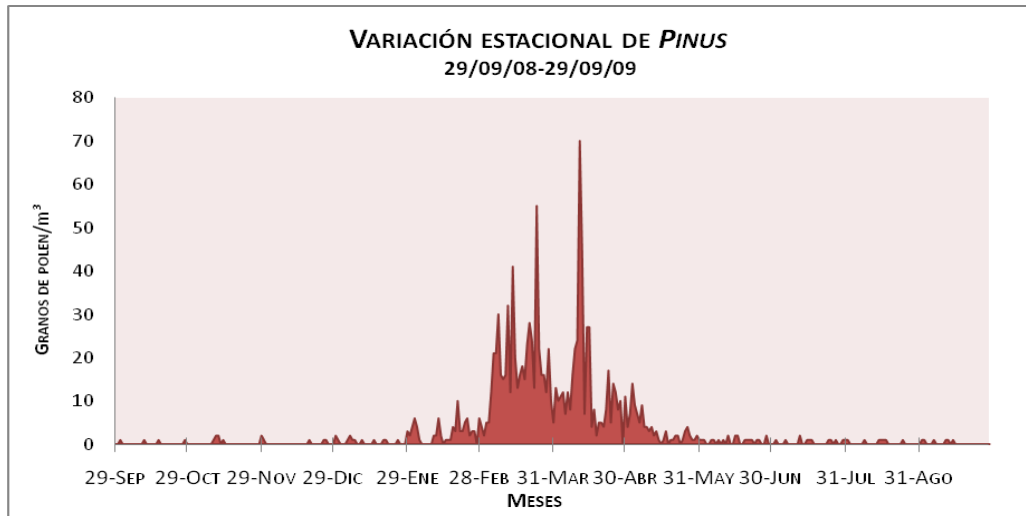


Figura 41. Concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El periodo principal de polinación de *Pinus* comprendió 142 días, del 29 de enero de 2009 al 19 de junio de 2009. El pico máximo se presentó el 11 de abril del 2009, con 70 granos de polen/m³ de aire. El periodo pre pico duró 73 días y el periodo post pico 70 días.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria de *Pinus* fue de 0.09. La presencia de granos de polen de *Pinus* se incrementó ligeramente en las primeras horas de la madrugada, tal como se muestra en la figura 42, disminuyó al amanecer y comenzó a aumentar gradualmente durante el día hasta alcanzar un primer pico a las 14 h y otro a las 20 h. Posteriormente, disminuyó la concentración de polen.

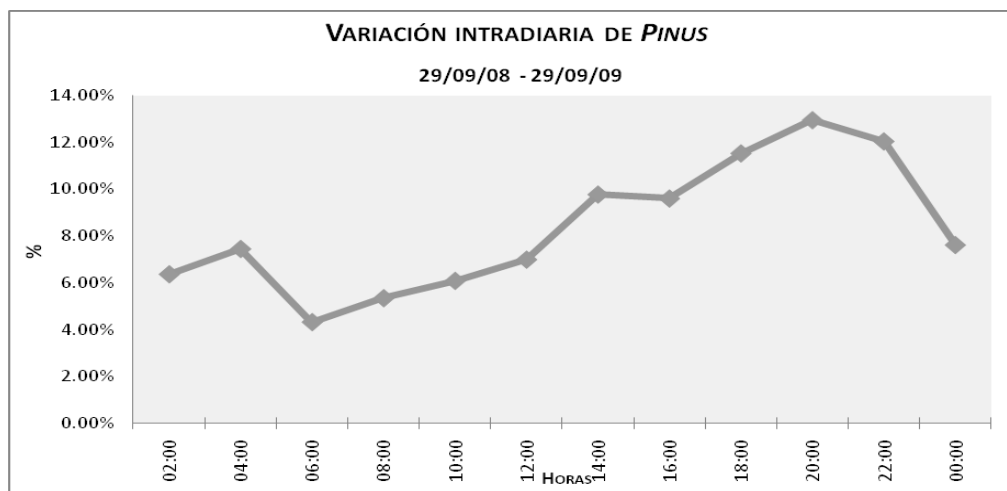


Figura 42. Distribución intradiaria del polen de *Pinus* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

La temperatura media y la máxima se asociaron a distintos niveles de significancia y de forma positiva con la concentración de polen en el PPP, prepico, postpico, fase de ascenso y descenso. La temperatura mínima también se correlacionó positivamente ($p < 0.001$), pero únicamente en el prepico y fase de ascenso, como se muestra en la tabla 8.

Los factores meteorológicos que presentaron asociaciones negativas con respecto a la concentración de polen atmosférico, fueron la precipitación ($p < 0.05$ a $p < 0.01$) y la humedad relativa ($p < 0.001$), tanto en el PPP, postpico y fase de descenso.

La velocidad media y máxima del viento se asociaron positivamente en el prepico ($p < 0.05$ y $p < 0.01$ respectivamente).

En cuanto a la dirección del viento, la frecuencia del 1er cuadrante (NE) se correlacionó negativamente en el PPP ($p < 0.001$), prepico, postpico y fase de descenso, mientras que los vientos del 2do y 3er cuadrante (SE y SO) presentaron coeficientes positivos ($p < 0.001$), con respecto a la concentración de *Pinus*.

Las calmas no se asociaron de manera significativa con la concentración de polen en ninguna fase.

Factor Meteorológico	PPP N(142)	PrePico N(73)	Postpico N(70)	F.asc. N(50)	F.máx. N(24)	F.des. N(70)
Temp. Media	.183*	.483***	.318**	.415**	-0,230	.318**
Temp. Máx	.185*	.330**	.274*	0,214	-0,367	.274*
Temp. Min	0,015	.553***	0,167	.518***	-0,022	0,167
H.R	-.403***	-0,189	-.551***	-0,142	0,369	-.551***
Precipitación	-.248**	0,102	-.287*	0,246	-0,015	-.287*
Vel. Media viento	0,004	.237*	-0,023	0,046	0,298	-0,023
Vel. Max viento	0,080	.344**	0,062	0,154	0,281	0,062
% Viento 1er Cuadrante	-.380***	-.294*	-.451***	-0,203	0,073	-.451***
% Viento 2do cuadrante	.201*	0,110	.377***	-0,001	-0,124	.377***
% Viento 3er cuadrante	.379***	.412***	.388**	0,265	0,003	.388***
% Viento 4 cuadrante	-0,105	0,022	-0,127	0,096	0,022	-0,127
% Viento Calmas	0,111	-0,175	0,176	-0,047	0,098	0,176

Tabla 8. Correlación entre la concentración de gp de *Pinus* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

Los resultados de este estudio fueron muy similares a los obtenidos en la ciudad de Monterrey (ROCHA ET AL., 2008), donde se registran los niveles aeropolínicos más altos en abril y mayo, así como los resultados reportados por Cid (2007) para una zona urbana al noroeste de la Ciudad de México. En esos estudios, como en Chapultepec, se obtuvo un PPP que abarcó los meses de febrero a junio. De igual forma, este PPP corresponde perfectamente al periodo de floración que se conoce para este tipo polínico.

Se ha registrado que algunos géneros como *Cedrus*, inician su floración en octubre (TRIGO ET AL., 2008), por lo que al existir ejemplares de al menos 12 especies diferentes de éste taxón en Chapultepec, el periodo de floración puede llegar a ser muy amplio, abarcando desde el otoño hasta la primavera.

En cuanto al patrón intradiario de concentración polínica, el valor obtenido de IDI (0.09) fue sólo una décima inferior al mínimo para considerar que *Pinus* presente picos estables de concentración. Al ser un taxón bien representado en la zona de estudio, es más probable que presente un patrón relativamente estable, ya que la fuente de producción se encuentra cercana a la TETH (TRIGO ET AL., 1997).

El pico máximo se alcanzó por la noche (20 h) cuando el enfriamiento del aire provocó el descenso de los granos de polen que se encontraban suspendidos en capas más altas de la atmósfera (PEKONEN ET AL., 1994).

Cerca de la media noche, cuando la temperatura tiende a descender, la concentración de polen disminuyó pues la humedad relativa aumentó, lo que no favorece la presencia de polen en la atmósfera.

Con respecto a la relación entre la concentración de polen de *Pinus* y los factores meteorológicos, se observa que las temperaturas tanto media como máxima se asociaron de manera positiva con el PPP, prepico, postpico, fase de ascenso y de descenso. Esto probablemente sea debido a que las pináceas presentan una floración cuyo inicio es al final de invierno y abarca en su mayor parte la estación primaveral, cuando el incremento en la temperatura propicia la liberación de polen por parte de las anteras, ya que el tejido de éstas se deseca ante la luz solar y mayor temperatura (RECIO ET AL., 1996).

Los parámetros meteorológicos de precipitación y humedad relativa se asociaron significativamente con la concentración de polen. Ambos factores influyeron de manera negativa, ya que para que ocurra la anthesis debe haber desecación en las anteras, y por otro lado, si la humedad relativa es alta la densidad de los granos de polen causada por la hidratación contribuye a que éstos precipiten (BENITO-RICA, 2003).

Las velocidades media y máxima del viento mostraron una correlación significativa y positiva para la etapa prepico, debido a que por su gran tamaño los granos de polen de *Pinus* necesitan de fuertes vientos que los transporten, desde la fuente al captador sin que se sedimenten rápidamente una vez que son liberados hacia la atmósfera.

La frecuencia de vientos provenientes del NE se asoció negativamente en el PPP y las demás fases, mientras que la dirección de viento que sí aportó polen a la atmósfera de Chapultepec fue la procedente del SO.

Conclusiones

La etapa de floración de *Pinus* comprendió los meses de enero a junio, alcanzando sus valores máximos en abril.

La distribución horaria de la concentración de este grupo presentó picos moderados observándose los porcentajes de concentración más altos por la noche.

El incremento en la temperatura y en la velocidad del viento influyeron positivamente en la liberación y dispersión de los granos de polen de este taxón, mientras que la humedad relativa y la precipitación afectaron negativamente sus niveles aeropolínicos.

Los vientos provenientes del suroeste aportaron la mayor cantidad de polen de *Pinus* a la atmósfera de Chapultepec.

5.8. Casuarinaceae: *Casuarina*

Único género de la familia de las casuarináceas, integrado por aproximadamente 65 especies originarias de las áreas costeras de Australia, el sureste de Asia e islas del Pacífico. Se le usa frecuentemente como ornamental y para reforestar áreas costeras y tierras degradadas. Se emplea como combustible, en la fabricación de postes y para la obtención de taninos (PARROTA, 1993). La única especie presente en Miguel Hidalgo es *Casuarina equisetifolia* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 43. Ejemplar de *Casuarina equisetifolia*, hojas, fruto y granos de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Se trata de árboles monoicos perennifolios que en su lugar de origen alcanzan hasta 45 m de altura. Su apariencia similar al pino ocasiona que se les conozca como "pinos australianos". Su tronco es recto, la copa cónica irregular. Ramas articuladas, largas y delgadas, colgantes que se mueven el viento, de contorno circular y profundamente estriadas. Su corteza es color marrón gris claro, áspera y arrugada. Lo que se aprecia como hojas son las ramillas colocadas en espiral. Las hojas son escuamiformes o lanceoladas muy diminutas, y dispuestas en verticilos de 8 a 10, formando un collar dentado en las uniones de las ramillas. Inflorescencias masculinas largas y delgadas, situadas en el ápice de las ramas jóvenes. Cada flor masculina está constituida por un sólo estambre exerto, de filamento más largo que la antera. Inflorescencias femeninas elipsoidales y densifloras, dispuestas en el ápice de ramas laterales cortas. Las flores femeninas con un estilo

corto dividido en dos estigmas filiformes largos, rojizos y muy salientes. Infrutescencias globoso-cilíndricas, semejantes a pequeñas piñas. Las semillas son sámaras aladas (NEE, 1983; PARROTA, 1993; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Distribución. Esta especie crece naturalmente en zonas climáticas tropicales húmedas, donde la precipitación anual varía de 500 a 700 mm y existe una temporada de secas de 6 a 8 meses, sin embargo, gracias a su gran adaptación a la sequía (200 mm anuales) y a las condiciones alcalinas de las regiones cálidas, los ejemplares de este género se encuentran ampliamente naturalizados desde el norte hasta sur de América y se les cultiva popularmente en México como ornamentales, en parques, jardines, alineación y reforestación del Valle de México (NEE, 1983; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. En regiones con estaciones secas y lluviosas prolongadas la producción de flores y frutos tiende a ser irregular y ocurre una o dos veces al año (TURNBULL, 1983).

Casuarina cunninghamiana es de floración otoñal (floreciendo de octubre a diciembre), mientras que la especie que se encuentra en la Ciudad de México, *C. equisetifolia*, florece en primavera (NEE, 1983; TRIGO, 1998; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; MUNUERA, 2002).

Polinización. Típicamente anemófila (PARROTA, 1993).

Morfología polínica. Polen isopolar, radiosimétrico y angulaperturado (figura 43). Triangular en vista polar, con lados convexos, y elíptico en vista ecuatorial. Oblado. Tamaño mediano, con un eje polar de 24-27 μm y eje ecuatorial de 28-33 μm . Exina de 1,5-2 μm de grosor, engrosada alrededor del poro. Superficie escábrida. Intina con engrosamiento debajo del poro. Polen trizonoporado, con aberturas simples de tipo poro, dispuestas en la zona ecuatorial y cuyo diámetro varía de 2-3 μm (RECIO, 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. La capacidad alérgica de *Casuarina* ha sido descrita por diversos autores (ZIVIT, 1942; LEWIS, 1983; HALSE, 1984). Su alergenidad ha sido clasificada como baja (URL 9).

Resultados

Variación estacional

El polen de *Casuarina* se encontró en la atmósfera de manera constante durante todo el año, con concentraciones estables y moderadas que solo tendieron a aumentar en los meses de junio y julio, en los cuales se acumuló el 67 % del polen anual registrado para este taxón. Para el año estudiado, los granos de polen de *Casuarina* comprendieron el 2.45% (1,053 gp) del polen anual colectado (42,927 gp). Ver figura 44.

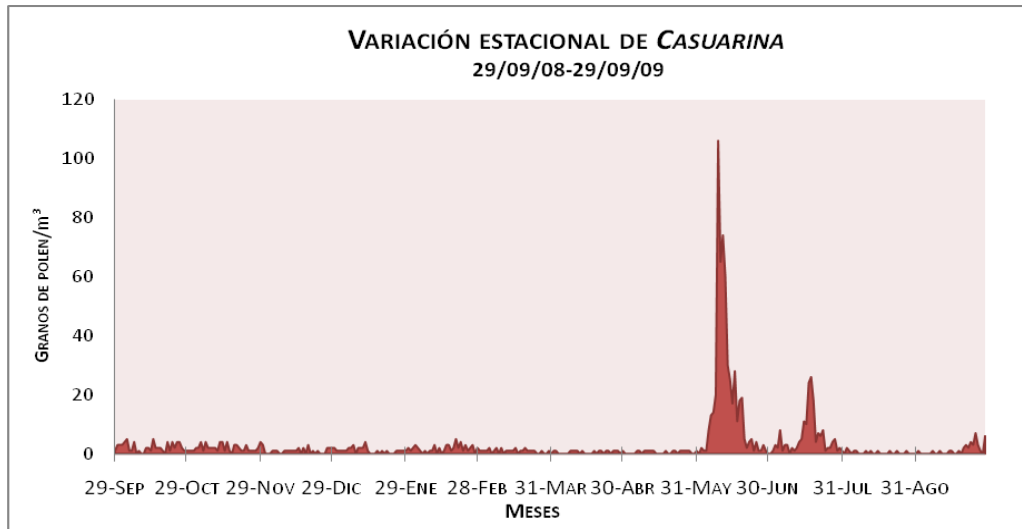


Figura 44. Concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El periodo principal de polinación de *Casuarina* fue considerablemente amplio, con 364 días comprendidos del 29 de septiembre de 2008 al 27 de septiembre de 2009. Durante ese periodo se presentaron dos picos de concentración: el del 9 de junio con 106 granos de polen/m³, y el del 18 de julio con 26 granos/m³ de aire. El periodo pre pico tuvo una duración de 254 días y el post pico duró 111 días.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria de *Casuarina* fue de 0.015. Se observa en la figura 45, que la mayor incidencia del polen de este taxón se presentó en el horario vespertino, siendo entre las 14 y las 20 h que se registró el 60% de su polen en la atmósfera.

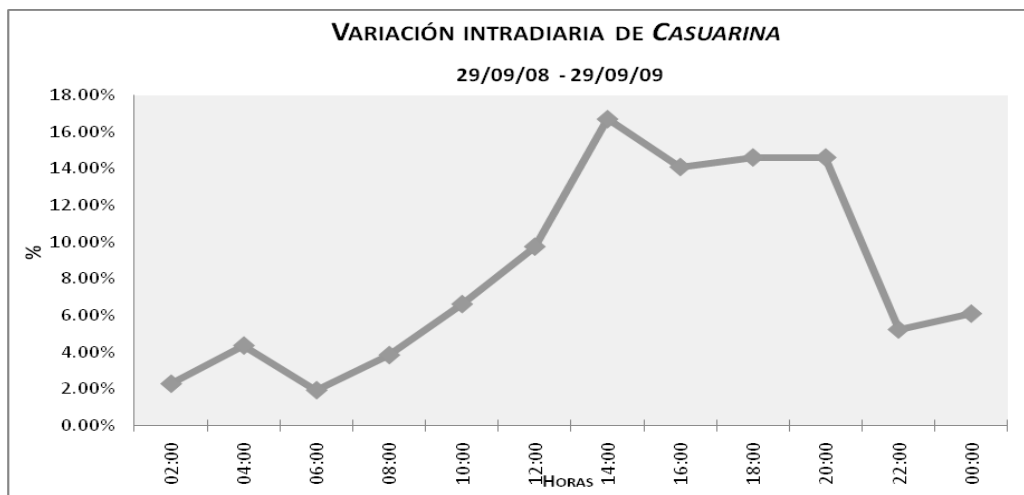


Figura 45. Distribución intradiaria del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

En la tabla 9 se muestran las correlaciones obtenidas entre los parámetros meteorológicos y la concentración de polen de *Casuarina*. En el caso de la temperatura media se encontraron asociaciones positivas con el postpico ($p < 0.001$) y la fase de descenso ($p < 0.01$), y negativas con el prepico y la fase de ascenso ($p < 0.05$).

La temperatura máxima está positivamente correlacionada al postpico ($p < 0.01$) y fase de descenso ($p < 0.05$), y la temperatura mínima con el postpico y la fase máxima.

El prepico se correlacionó positivamente ($p < 0.05$) con la humedad relativa, mientras que el postpico y la fase de descenso se asociaron de manera negativa ($p < 0.001$ y $p < 0.05$, respectivamente).

En relación a la precipitación y la velocidad del viento, no se obtuvieron coeficientes de correlación significativos, para ninguno de los periodos de tiempo analizados, excepto para la velocidad máxima del viento en la fase de descenso, dónde se obtuvo una correlación positiva ($p < 0.05$).

La dirección del viento se asoció positivamente al PPP ($p < 0.05$) en el caso del 1er cuadrante (NE), y negativamente con los vientos del 2do y 3er cuadrante (SE y SO) en el PPP, pre pico y fase de ascenso, con niveles de significancia que van de $p < 0.05$ a $p < 0.01$.

La frecuencia de viento del 4to cuadrante (NO) y las calmas no presentaron correlaciones significativas con ninguna fase.

Factor Meteorológico	PPP N(364)	PrePico N(254)	Postpico N(111)	F.asc. N(243)	F.máx. N(8)	F.des. N(99)
Temp. Media	-0,019	-.128 *	.318***	-.134 *	0,310	.264 **
Temp. Máx	-0,009	-0,120	.281 **	-0,124	0,180	.239 *
Temp. Min	-0,009	-0,119	.230 *	-.129 *	.850 **	0,100
H.R	0,036	.129 *	-.301***	0,113	0,095	-.232 *
Precipitación	0,015	-0,019	-0,130	-0,054	0,396	-0,050
Vel. Media viento	0,061	0,006	0,149	-0,013	-0,144	0,175
Vel. Max viento	0,050	-0,029	0,186	-0,054	0,071	.214 *
% Viento 1er Cuadrante	.127 *	0,118	0,149	0,096	-0,156	0,197
% Viento 2do cuadrante	-.115 *	-.158 *	0,026	-.142 *	-0,518	0,035
% Viento 3er cuadrante	-.142 **	-.180 **	0,002	-.158 *	0,145	0,019
% Viento 4 cuadrante	-0,014	0,073	-0,111	0,043	0,275	-0,063
% Viento Calmas	0,007	0,064	-0,053	0,090	0,464	-0,139

Tabla 9. Correlación entre la concentración de gp de *Casuarina* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión:

El periodo principal de polinación de *Casuarina* obtenido estadísticamente comprendió 364 días, sin embargo, la mayor parte de ese tiempo la incidencia fue esporádica y en cantidades bajas (menos de 10 gp diarios) en la atmósfera. Es en los meses de junio y julio cuando se observó un repentino incremento en la concentración (niveles de hasta 106 gp/m³), llegando a acumularse en ese periodo de tiempo el 67% del polen total anual colectado para este taxón.

El hecho de que este tipo polínico se presentara con tal intensidad en esos meses se debe a *Casuarina equisetifolia*, de floración primaveral y cuyo polen probablemente permaneció en la atmósfera tiempo después de ser arrojado por las anteras. La misma época de floración se presenta para ésta especie en otras ciudades del mundo, como es el caso de Murcia, España (MUNUERA, 2002), cuyo clima árido comparte con la Ciudad de México algunas características como la temperatura media anual (17 °C), lluvias principalmente en verano y otoño e inviernos suaves. Al ser una especie que crece favorablemente en climas tropicales, es esta época del año con clima cálido, humedad relativa alta y precipitaciones abundantes la que favorece su floración. Estos resultados coinciden con lo reportado por Bronillet (1992) y Salazar Coria (1995), quién para el sur de la Ciudad de México registró las mayores cantidades de polen de este taxón en verano, y lo encontró como el tipo polínico dominante en la época de lluvias.

El patrón de variación intradiaria de este taxón reflejó picos estables en los niveles aeropolínicos, encontrándose el pico máximo de concentración a las 14 h y con valores altos hasta las 20 h. Son las condiciones de altas temperaturas y baja humedad presentes en ese intervalo de tiempo las que favorecieron la sensibilización de las anteras para que ocurra la dehiscencia. Salazar Coria (1995) registró un horario similar (vespertino con pico máximo a las 14 h) de concentración para el polen de este taxón. Este patrón de liberación también se debe a que *Casuarina* presenta un sólo género, del cual solamente una especie está representada en Chapultepec. A diferencia de taxa multiespecíficos esta característica le confiere estabilidad a su comportamiento intradiario (TRIGO ET AL., 1997).

La temperatura media afectó de manera negativa al PPP de *Casuarina* si se analiza como conjunto, sin embargo, separándolo en fases se puede observar que durante el postpico y la fase de descenso el incremento de las temperaturas favorece la incidencia del polen en la atmósfera.

Aunque la humedad relativa influyó negativamente en distintas fases, cabe destacar que en el periodo prepico la correlación fue positiva, debido a que en ocasiones después de algunos días con precipitaciones fuertes, la insolación y las temperaturas de los días siguientes aumentaron, favoreciendo la desecación de las anteras y la liberación del polen (RECIO, 1995).

Los parámetros meteorológicos no suponen un problema para *Casuarina*. Su adaptabilidad ha sido medida en distintos estudios (PARROTA, 1993) en los cuales se ha analizado su desarrollo (en 23 sitios de zonas de vida forestal subtropical y tropical muy secas, secas, húmedas y muy húmedas), en donde las tasas de crecimiento de los árboles de este taxón variaron, pero no estuvieron significativamente asociadas con factores climáticos.

Las concentraciones detectadas en la atmósfera de Chapultepec se encontraron relacionadas de manera positiva con la frecuencia de vientos procedentes del NE, mientras que los vientos del SE y SO afectaron negativamente la dispersión de este taxón.

Casuarina representó el 2.45% del IPA de Chapultepec, y aunque no se encontró presente en altas cantidades todo el año es importante señalar que durante el verano, cuando sus granos de polen estuvieron presentes en niveles altos en la atmósfera, no hubo otro tipo polínico que incidiera en las mismas cantidades. Aunque su capacidad alergénica es baja, el hecho de reconocer elevadas concentraciones de su polen en cierta época del año puede representar un riesgo latente y causar sensibilización en la población en los meses en que su concentración aumenta drásticamente.

Por esta razón se considera que este taxón debería ser tomado en cuenta en los estudios alergológicos que se realicen en pacientes con síntomas de polinosis en verano.

Conclusiones:

El comportamiento intradiurno de esta especie fue muy estable, y su pico máximo de concentración se presentó por la tarde cuando la insolación fue mayor y la humedad relativa fue baja.

Aunque los granos de polen de este taxón se encontraron en la atmósfera todo el año, la mayor cantidad de ellos se concentró en los meses de junio y julio, cuyas condiciones climáticas son favorables para este tipo polínico.

Los vientos del NE favorecieron la dispersión del polen de este taxón en el PPP, mientras que los del SE y SO no aportaron polen a la atmósfera de Chapultepec.

Casuarina fue el único tipo polínico presente en elevadas concentraciones durante el verano (junio-julio) por lo que debe tomarse en cuenta para los diagnósticos de polinosis que se realicen en ese periodo del año.

5.9. Myrtaceae

Familia representada por varias especies de mirtos y eucaliptos, cuyo tipo polínico presenta una morfología muy similar. Comprende unos 140 géneros, en su mayoría de origen australiano, los cuales suelen cultivarse con fines ornamentales, combustibles y medicinales (LÓPEZ ET AL., 2005).

En Chapultepec se encuentran diversas especies de eucaliptos: *Eucalyptus* sp., *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cinerea*, *E. globulus*, *E. longifolia*, *E. polyanthemos* y *E. robusta*. También existe registro de ejemplares del género *Psidium* (*P. guajava*), originarios de México y América Central (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).

Descripción. Esta familia comprende desde arbustos hasta árboles monoicos que alcanzan más de 30 m de altura. De rápido crecimiento y follaje perenne. Tronco retorcido, copa extendida o irregular piramidal, corteza lisa y grisácea. Presentan dimorfismo foliar. Sus hojas, que varían entre especies, son frecuentemente enteras, persistentes, opuestas, ovaladas y provistas de glándulas subepidérmicas que segregan aceites esenciales, a veces transformadas en filodios. Flores hermafroditas, dispuestas en inflorescencias variadas, raras veces solitarias (LÓPEZ ET AL., 2005). Pétalos libres (*Myrtus*) o soldados a los sépalos y formando un opérculo que cae en la anthesis (*Eucalyptus*). Androceo con numerosos estambres, más largos que los pétalos y dispuestos en varias series. Gineceo con ovario ínfero. Fruto de tipo baya (*Myrtus*) o cápsula (*Eucalyptus*), con numerosas semillas fértiles (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; RECIO, 1995; LÓPEZ ET AL., 2005; TRIGO ET AL., 2008) (figura 46).



Figura 46. Ejemplar de Myrtaceae, hojas y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Distribución. Esta familia se distribuye comúnmente en lugares cálidos y templados del mundo. Habita en cualquier tipo de suelo, rehuendo las temperaturas extremas. Forman parte de los sotobosques de pinares y encinares, se les encuentra en lugares umbrosos, mostrando preferencia por los suelos silíceos.

Eucalyptus camaldulensis, al igual que otras mirtáceas, tiene una distribución cosmopolita debido a que se le ha empleado tanto para reforestar gracias a su rápido crecimiento, como ornamental en los parques, y jardines, así como para alineación en calles de las ciudades. *E. globulus* también se encuentra ampliamente distribuido en la ciudad y zonas aledañas, se ocupa como planta de ornato y para sombra, a nivel rural se usa para formar cortinas rompevientos y en grupos para secar terrenos muy húmedos, también para la recuperación de suelos erosionados y protección de represas (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2005).

Época de floración. El periodo principal de floración para la mayoría de las mirtáceas es de mayo a junio, en ocasiones prolongándose hasta septiembre, *E. camaldulensis* puede encontrarse en flor a lo largo de casi todo el año, pero fundamentalmente de enero a octubre. *E. robusta* de junio a septiembre, *E. cinerea* florece al final de la primavera, *E. globulus* florece principalmente en otoño (en ocasiones a principio de primavera) y *E. robusta* de invierno a primavera. *Psidium guajava* florece en primavera (RECIO, 1995; LÓPEZ ET AL., 2005; TRIGO ET AL., 2008).

Polinización. Típicamente entomófila, pero también utiliza al viento como agente de dispersión.

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 46). Triangular en vista polar y corte óptico ecuatorial, y elíptico en vista ecuatorial y corte óptico meridiano. Oblado. Tamaño pequeño, con un eje polar de entre 15 y 19 μm y eje ecuatorial de entre 18 y 21 μm . Exina tectada, de 1-1.5 μm de grosor, salvo en las proximidades de los poros donde supera los 2 μm de diámetro, e intina mas delgada que la exina, aunque engrosada por debajo de las aberturas. Superficie psilada en la cercanía de las aberturas, y escábrida en el

resto. Polen tri, ocasionalmente tetra-zonocolporado, sincolporado o parasincolporado. Angulaperturado. Ectoaberturas de tipo colpo, estrechos y dispuestos en la zona ecuatorial, fusionados a nivel de los polos, quedando una laguna polar triangular. Los poros miden de 2 a 3 μm de diámetro. (ROUBIK ET AL., 1991; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Su alergenidad ha sido citada por Lewis et al. (1983), Halse (1984) y Domínguez et al. (1984), entre otros autores. Los casos de alergenidad son pocos, y su capacidad alérgica es baja (SINGH, 1987).

Resultados

Variación estacional

El polen de Myrtaceae se encontró presente en la atmósfera durante todo el año en concentraciones de bajas a moderadas (figura 47). La época de mayor incidencia fue de febrero a mayo, presentando altas y bajas en la concentración y siendo la última semana de febrero la que presentó los valores más altos (26 gp como media diaria).

Los 1,008 gp de Myrtaceae colectados en el periodo estudiado representaron el 2.34% del IPA (42,927 gp) de Chapultepec.

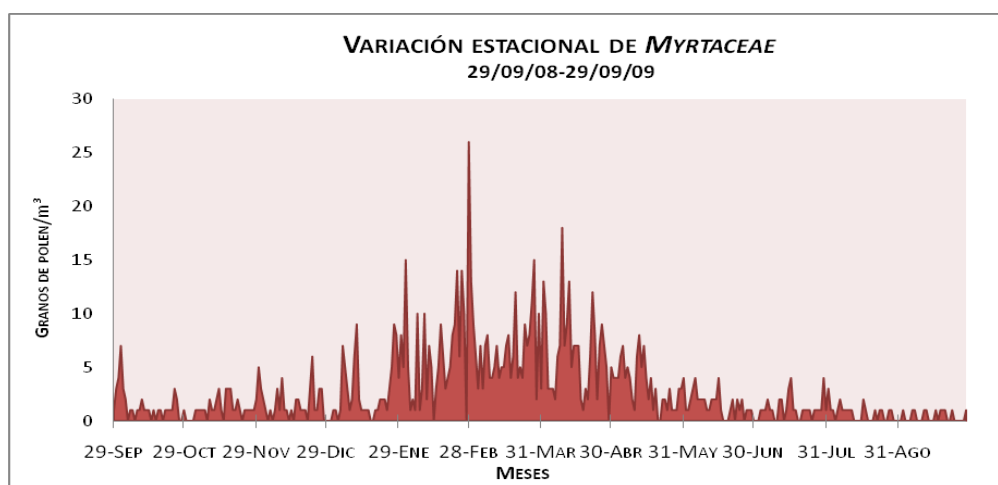


Figura 47. Concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El PPP de la familia Myrtaceae tuvo una duración de 300 días, a partir del 11 de octubre de 2008 hasta el 6 de agosto de 2009. El pico máximo se presentó el 28 de febrero del 2009, con 26 granos de polen / m^3 . El periodo pre pico comprendió 141 días y el post pico 160 días.

Variación intradiaria

Con un IDI de 0.01, se puede observar en la figura 48 que el polen de Myrtaceae presentó un comportamiento intradiario estable con su valor máximo de concentración a las 14 h y continuando en niveles altos hasta las 20 h. Posteriormente se observó un descenso alcanzando el valor mínimo al amanecer.

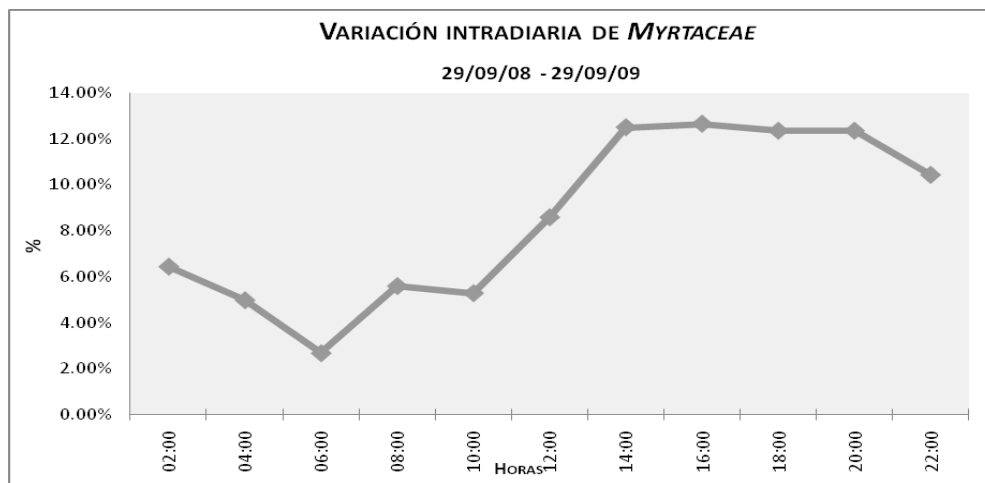


Figura 48. Distribución intradiaria del polen de Myrtaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

El factor meteorológico de temperatura media se asoció positivamente con el PPP ($p < 0.001$), prepico, postpico, la fase de descenso y la de ascenso, tal como se observa en la tabla 10.

La temperatura máxima se correlacionó de manera positiva con el PPP ($p < 0.001$), prepico, fase de ascenso y descenso, mientras que la mínima estuvo asociada negativamente con el postpico ($p < 0.01$).

El factor de la humedad relativa se correlacionó negativamente al PPP ($p < 0.001$), al igual que al prepico, postpico, fase de ascenso y descenso. La precipitación presentó asociaciones negativas ($p < 0.001$) también en relación con el PPP, postpico y fase de descenso.

Se observó una asociación positiva ($p < 0.001$) con la velocidad media del viento en la fase máxima, mientras que la velocidad máxima se relacionó de manera positiva ($p < 0.05$) con el PPP, postpico y fase de descenso, y positiva ($p < 0.001$) con la fase máxima.

En cuanto a la dirección del viento, se obtuvieron correlaciones negativas entre los vientos del 1er cuadrante (NE) y las fases PPP y postpico. El viento del 2do cuadrante (SE) presentó una correlación negativa ($p < 0.05$) con la fase máxima, y el 3er cuadrante (SO) se asoció al PPP, postpico y fase de descenso de manera positiva ($p < 0.001$). En el caso de 4to cuadrante (NO), la única correlación significativa se presentó en la fase de ascenso ($p < 0.05$) y fue negativa.

Las calmas no presentaron asociaciones significativas en ninguna fase.

Factor Meteorológico	PPP N(300)	PrePico N(141)	Postpico N(160)	F.asc. N(137)	F.máx. N(49)	F.des. N(116)
Temp. Media	.279***	.264**	.157*	.251**	0,003	.344***
Temp. Máx	.301***	.313***	0,150	.298***	-0,040	.250**
Temp. Min	0,079	0,045	-.223**	0,058	0,060	0,084
H.R	-.481***	-.336***	-.588***	-.317***	0,014	-.546***
Precipitación	-.206***	-0,122	-.425***	-0,119	0,047	-.312***
Vel. Media viento	0,104	-0,043	0,121	-0,070	.467***	0,178
Vel. Max viento	.146*	-0,040	.172*	-0,065	.451***	.232*
% Viento 1er Cuadrante	-.135*	-0,104	-.217**	-0,123	-0,102	-0,103
% Viento 2do cuadrante	0,092	0,063	0,118	0,105	-.307*	0,145
% Viento 3er cuadrante	.216***	0,120	.296***	0,163	0,133	.203*
% Viento 4 cuadrante	-0,110	-0,131	-0,141	-.181*	0,191	-0,097
% Viento Calmas	0,047	0,107	0,118	0,108	-0,208	0,025

Tabla 10. Correlación entre la concentración de gp de Myrtaceae y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

Durante todo el año el polen de Myrtaceae se presentó en la atmósfera de Chapultepec en concentraciones bajas pero similares. El periodo principal de polinación tuvo una duración de 300 días, no obstante, las concentraciones más elevadas se observaron entre los meses de febrero a mayo. La floración de esta familia varía de acuerdo al género y especie de la que se trate, y dado que en Chapultepec existen al menos 8 especies registradas, es posible inferir que el periodo de floración que se obtuvo comprendió distintos periodos por cada especie, aunque en ocasiones la floración se sincroniza entre especies (comunicación personal Leonor Quiroz, 2011).

Estos resultados coinciden con los reportados por Gattuso et al. (2003) para la Ciudad de Rosario, Argentina, donde el polen de eucalipto incidió en la atmósfera todo el año. Cabe destacar que las estaciones del año en esa región están definidas de forma similar a las de la Ciudad de México.

En total, el polen de estos taxa representó 2.34% del IPA de Chapultepec, y su alergenicidad es considerada de baja a moderada (SINGH, 1987; URL 25 y 26). Es importante considerar que Myrtaceae es una familia de plantas exóticas que se han empleado como ornamentales desde su introducción hasta la actualidad, causando problemas no solo de polinosis sino también desequilibrio ecológico propiciado por algunas especies de plantas pertenecientes a esta familia, y que actúan como invasoras. En México se ha observado el efecto negativo de *E. globulus*, *E. robusta* sobre las especies nativas, favoreciendo la pérdida de la biodiversidad (BOSSARD ET AL.; McDONALD, 1986).

Es posible estimar que gran parte del polen de este grupo recolectado del aire de Chapultepec proviene de especies de eucalipto, ya que la polinización de los mirtos es por medio de insectos y además suelen formar parte del sotobosque, resultándoles más difícil la dispersión del polen a través del aire. (RECIO, 1995).

La variación intradiaria de este taxón presentó un IDI que reflejó la existencia de un pico estable, observándose claramente que la tendencia fue acumular el mayor porcentaje de concentración durante la tarde, cuando los vientos son más fuertes, lo que favorece la dispersión del polen. El pico máximo de polen

liberado a la atmósfera se presentó a las 14 h, cuando la temperatura fue más alta induciendo a las plantas a una mayor actividad en sus órganos reproductores. De igual forma, a ésta hora es cuando se registró la humedad relativa mas baja causando la desecación de las anteras (TRIGO ET AL., 1997; PORSJBERG ET AL., 2003).

En cuanto a la relación con los factores meteorológicos, la temperatura favorece significativamente a la cantidad de polen que se registró en la atmósfera, debido a que se trata de especies que en su mayoría necesitan condiciones cálidas para florecer.

La velocidad del viento influyó positivamente en la dispersión del polen de Myrtaceae, lo cual según han reportado Recio (1995) y Galán et al. (1991) probablemente explica la ausencia de un comportamiento intradiurno estable, ya que durante el día hay diversas fluctuaciones en las corrientes de aire.

Los vientos que provienen del SO favorecieron la presencia de polen de Myrtaceae en la atmósfera de Chapultepec. Por el contrario, las frecuencias de los vientos del NE y NO influyeron negativamente sobre los niveles aeropolínicos.

Conclusiones

Los meses de mayor concentración de polen de Myrtaceae en la atmósfera de Chapultepec fueron los comprendidos entre febrero y mayo.

El polen total de este grupo representó 2.34% del IPA, y debido al tipo de polinización, se estima que la mayor cantidad de éste pertenece a especies de eucalipto.

Los factores meteorológicos que favorecieron la dispersión de este tipo polínico fueron la temperatura, la velocidad del viento y las frecuencias de viento procedente del SO.

5.10. Fagaceae: *Quercus*

El género *Quercus* pertenece a la familia Fagaceae y cuenta con aproximadamente 200 especies en Norteamérica, la región mediterránea y Asia (REICHE, 1963). En México se conocen cerca de 150 especies, siendo la mayoría de éstas, árboles dominantes o codominantes en los bosques y suelen estar complejamente relacionados con los pinares en bosques mixtos a lo largo del país, y en algunos casos con abies (RZEDOWSKI, 1981).



Figura 49. Ejemplar de *Quercus* sp. y grano de polen (40 x 10 aumentos).

En Chapultepec existen dos especies de encino: *Quercus excelsa* y *Q. rugosa*, ésta última nativa de México (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001).

Los encinos suelen emplearse en la restauración de bosques y son bastante explotados a escala local, ya sea para obtención de madera o carbón.

Descripción. Los bosques de encino son comunidades cuya altura varía entre 2 y 30 m. Son árboles o arbustos monoicos, perennifolios o caducifolios. Copa amplia redondeada y sombra densa, crecimiento lento. Corteza con fisuras profundas, color café oscuro. De hojas simples y alternas, enteras, aserradas, lobuladas a pinatipartidas. Flores masculinas en amentos colgantes y las femeninas solitarias dispuestas en un pedúnculo largo y delgado. Los frutos son bellotas largas solitarias o en grupos de 2 ó 3, rodeadas por un tercio por las cápsulas poco profundas y cubiertas de escamas delgadas, agudas, café negrozcas con pedúnculos cortos (Reiche, 1963; Rzedowski 1981; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994) (figura 49).

Distribución. Los encinos están ampliamente distribuidos en las regiones montañosas y de bosque. Su desarrollo se favorece en laderas de cerros, barrancas y cañadas, en terrenos planos y en lugares de secos a muy húmedos. Prosperan en climas Cw de la clasificación Köppen (1948), siendo más abundantes en climas templados fríos y semifríos. Se hallan sobre roca madre, tanto ígnea, sedimentaria y metamórfica, así como en suelos profundos y terrenos aluviales planos. También crecen en orillas de arroyos y tierra permanentemente húmeda. Suelos de reacción acida moderada con abundante hojarasca y materia orgánica, arcilla o arena. En México se les encuentra desde el norte al sur del país, excepto en Yucatán y Quintana Roo. Desde nivel del mar hasta los 3100 m sobre éste, aunque son más comunes entre 1200 y 2800 msnm, y se hallan más concentrados en el centro del país donde forman extensos bosques (RZEDOWSKI, 1981; TRIGO ET AL 1998). En la ciudad se les encuentra en las áreas silvestres y también se les emplea para delimitar linderos en calles y avenidas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. Primavera, aunque según la especie puede comenzar desde finales de febrero hasta principios de junio. *Q. rugosa* florece de octubre a febrero (TRIGO ET AL., 2008).

Polinización. Anemófila, aunque debido a su elevada producción floral y polínica, su polen tiene gran importancia como alimento para las abejas (RECIO ET AL., 1999)

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 49). De circular a su triangular-angulaperturado, con ángulos obtusos, en vista polar y corte óptico ecuatorial; de circular a elíptico en vista ecuatorial y corte óptico meridiano; de subprolado a subsolado. Tamaño de pequeño a mediano, eje polar de 27 a 36 μm y eje ecuatorial de 37 a 40 μm . Exina tectada, de 2 a 4 μm de grosor. Superficie reticulada o granulosa-verrucosa. El grano de polen suele ser trizonocolpado o trizonocolporoidado, según la especie, con ectoaberturas de tipo colpo, largas, estrechas y terminales. La membrana apertural es granulosa (MOORE ET AL., 1991; RECIO ET AL., 1999; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Autores como Lewis et al. (1983). Halse (1984) y Domínguez et al. (1984) han citado el polen de diversas especies de éste género como alergógeno. Su alergenidad está considerada de moderada a severa (URL 36), y es en gran parte consecuencia del elevado polimorfismo que existe entre las proteínas de la pared de diferentes especies de *Quercus.*, así como la reactividad cruzada que presenta con especies de otros géneros como *Betula*, *Castanea*, *Olea* y algunas gramíneas (ICKOVIC Y THIBAUDON, 1991).

Resultados

Variación estacional

El polen de *Quercus* apareció ininterrumpidamente en la atmósfera de Chapultepec desde febrero hasta inicios de junio, presentando varios picos durante ese tiempo. Los valores más altos se registraron en marzo y abril (figura 50).

En algunos otros periodos del año se presentó esporádicamente en concentraciones muy bajas, y prácticamente de septiembre a finales de diciembre no se encontraron granos de polen de este taxón en el aire.

Quercus conformó el 1.8% del IPA de Chapultepec (42,927 gp), con un total anual de 785 gp.

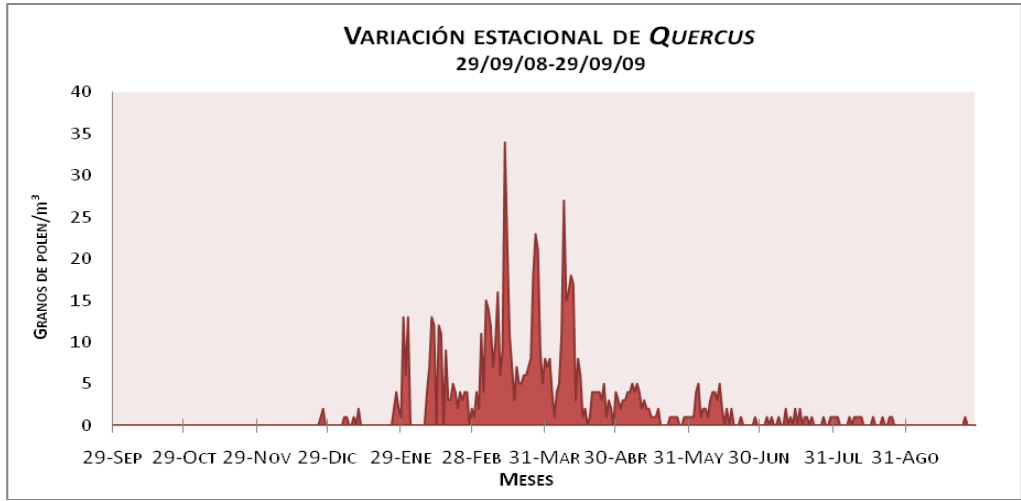


Figura 50. Concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El periodo principal de polinación de *Quercus* comprendió 171 días, del 29 de enero de 2009 al 17 de julio de 2009. El Pico máximo se presentó el 14 de marzo del 2009, con 34 granos de polen/m³ de aire. La etapa pre pico constó de 45 días y el post pico de 126 días.

Variación intradiaria

El índice de Distribución Intradiaria de *Quercus* fue de 0.09. Su incidencia en la atmósfera no siguió un patrón definido ni picos establecidos, aunque si se observa la figura 51 se aprecia una tendencia hacia valores altos (40-50 gp/m³) en las primeras horas de la mañana, disminuyendo hasta llegar a su punto más bajo a las 10 h (19 gp/m³). Posteriormente, aumentó poco a poco durante la tarde hasta alcanzar su nivel máximo a la media noche (88 gp/m³).

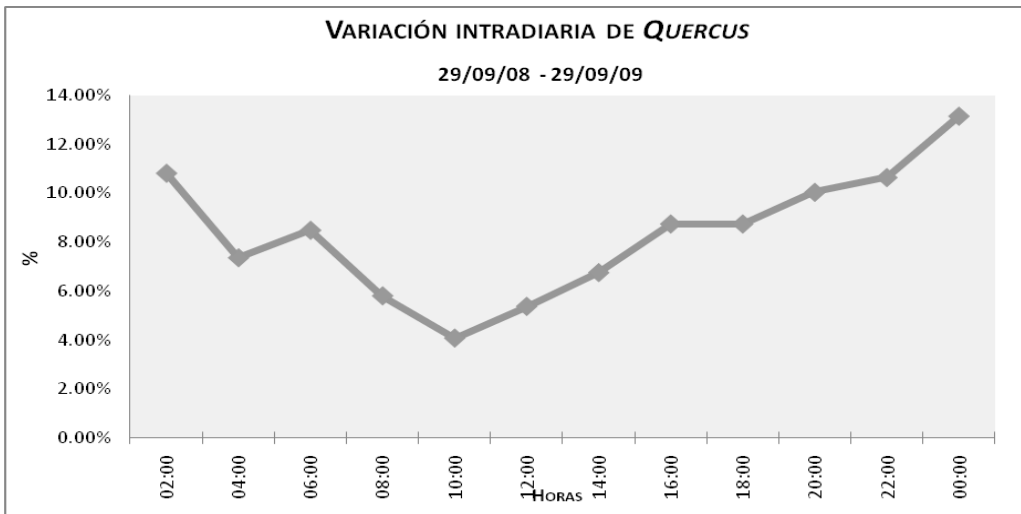


Figura 51. Distribución intradiaria del polen de *Quercus* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

Respecto a las correlaciones estadísticas de Spearman, en la tabla 11 se observa que las temperaturas media, máxima y mínima presentaron valores positivos con relación a la concentración del polen de *Quercus* presente en la atmósfera, con alto nivel de significancia ($p < 0.001$) en el postpico y fase de descenso.

La humedad relativa y la precipitación presentaron asociaciones negativas ($p < 0.001$) tanto en el PPP, como en el postpico y la fase de descenso. Las velocidades del viento, tanto máxima como mínima, se asociaron con el postpico y la fase de descenso de manera positiva.

Factor Meteorológico	PPP N(170)	PrePico N(45)	Postpico N(126)	F.asc. N(44)	F.máx. N(28)	F.des. N(100)
Temp. media	.157*	.412**	.286***	.380*	-0,051	.506***
Temp. Máx	.210**	0,281	.288***	0,286	-0,087	.423***
Temp. min	-.157*	.423**	-0,109	.386**	-0,024	.297**
H.R	-.493***	-0,135	-.601***	-0,138	0,006	-.608***
Precipitación	-.415***	0,035	-.521***	0,049	0,034	-.435***
Vel. Media viento	0,000	-0,207	.177*	-0,209	-0,106	.292**
Vel. Max viento	0,042	-0,112	.229**	-0,124	-0,110	.343***
% Viento 1er Cuadrante	-.251***	-0,232	-.258**	-0,178	-.381*	-0,120
% Viento 2do cuadrante	0,094	0,090	0,116	0,081	0,128	0,089
% Viento 3er cuadrante	.246***	.296*	.302***	0,245	.446*	0,152
% Viento 4 cuadrante	-0,055	0,032	-0,087	0,031	0,046	-0,039
% Viento Calmas	.191*	0,002	0,113	0,038	-0,096	0,062

Tabla 11. Correlación entre la concentración de gp de *Quercus* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

En cuanto a la dirección del viento, el 1er cuadrante (NE) presentó coeficientes de correlación negativos en general y con una $p < 0.001$ en el caso del PPP, mientras que la frecuencia de viento del 3er cuadrante (SO) presentó coeficientes positivos ($p < 0.001$ en el PPP y postpico; $p < 0.05$ en el prepico y fase máxima) al igual que las calmas ($p < 0.05$ en el PPP).

Los cuadrantes que corresponden al SE y NO no se relacionaron de manera significativa con ninguna fase.

Discusión

Quercus se encontró de manera constante en la atmósfera de Chapultepec desde los últimos días de enero hasta julio, teniendo las mayores concentraciones en marzo y abril, por las especies de *Quercus* spp. de las sierras que florecen en ese tiempo. Este periodo correspondió con el reportado para la mayoría de las especies de este género que habitan zonas cercanas al ecuador, ya que en el Norte y Centro de Europa la polinación es más tardía ocurriendo de mayo a junio (SPIEKSMAS, 1991; NILSSON Y SPIEKSMAS, 1992). Es importante mencionar que el mismo periodo de polinación fue obtenido por Cid (2007) en el estudio realizado al noroeste de la Ciudad de México, y por Salazar Coria (1995) en el sur de la misma.

La variación intradiaria no presentó picos estables de concentración, pero se observa una tendencia a acumular el mayor porcentaje entre la media noche y las primeras horas de la mañana, tiempo después del cual la cantidad de polen disminuye y vuelve a aumentar conforme incrementan las temperaturas a lo largo del día, favoreciendo la liberación de polen. Al igual que en el periodo de polinación, estos resultados coinciden con lo reportado por Salazar (1995) en el sur de la ciudad. Asimismo, en otras ciudades como Málaga, Recio et al. (1995 y 1999) registró un patrón de liberación de polen similar. Dicho comportamiento se debe principalmente a la cantidad de especies con patrón intradiario distinto que engloba el género *Quercus*, lo cual propicia que exista una liberación homogénea de polen durante las 24 h y por consiguiente se obtengan valores de IDI pequeños (TRIGO ET AL., 1997).

También es importante considerar el tiempo que transcurre entre el momento en que el polen es liberado de las anteras y colectado por el captador.

La obtención de valores positivos en los coeficientes de correlación asociados a las temperaturas correspondió a la época de floración de *Quercus*, la cual abarcó principalmente el periodo primaveral cuando el clima suele ser más cálido que el resto del año. Por otro lado, los factores que afectaron de manera negativa a los niveles aeropolínicos fueron la humedad relativa y la precipitación, los cuales ocasionan la precipitación de los granos de polen y lavado atmosférico, como se mencionó anteriormente.

El incremento en la velocidad del viento influyó positivamente en la concentración de polen de este taxón en las etapas prepico y fase de descenso, cuando la cantidad de polen liberado es menor y por lo tanto las fluctuaciones de aire le permiten continuar en la atmósfera por más tiempo.

En cuanto a la dirección del viento predominante, las frecuencias del NE influyeron negativamente sobre la concentración polínica, y fueron las provenientes del SO las que aportaron más polen de *Quercus* a la atmósfera de Chapultepec.

El 1.8% del IPA que correspondió al polen de este taxón podría haber sido responsable de problemas severos de polinosis en la población sensible, y dado que presenta reactividad cruzada con especies de otros géneros, como son algunos tipos de gramíneas que están presentes en la atmósfera todo el año (RECIO ET AL., 1999), es un género de plantas que es importante considerar en los estudios alérgicos que se realizan en la Ciudad de México.

Conclusiones

La estación principal de *Quercus* en la atmósfera de Chapultepec abarcó los meses de febrero a junio.

Este taxón presentó un patrón de variación intradiaria muy inestable, aunque existe una tendencia de aumento en su concentración entre la media noche y las primeras horas de la madrugada.

Es un género de gran importancia para la salud dado su potencial alérgico alto, así como por su reactividad cruzada con otros géneros causantes de polinosis graves como las gramíneas y debido a que es uno de los 10 tipos polínicos más frecuentes en la atmósfera de Chapultepec.

Los factores meteorológicos que favorecieron la incidencia del polen de *Quercus* fueron la temperatura, la velocidad del viento y las frecuencias de viento procedentes del SO.

5.11. Urticaceae: *Urtica* y *Parietaria*

Familia de plantas predominantemente herbáceas, que entre sus 45 géneros comprende a *Urtica* y *Parietaria* (LÓPEZ ET AL., 2000), los cuales son los tipos polínicos aerovagantes más frecuentemente encontrados. Esta familia suele distribuirse en regiones tropicales y subtropicales, pocas especies (*Urtica* spp.) aparecen en regiones templadas y frías (BALTAZAR Y, MARTÍ, 2002).

En la zona de estudio no se reporta la existencia de Urticaceae, sin embargo, los datos arrojados por el muestreo indican que se encuentra presente en el aire de la zona de Miguel Hidalgo; se tiene registro de diversas especies de *Urtica* y *Parietaria* nativas del Valle de México (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001).



Figura 52. Ejemplar de Urticaceae, hojas y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Hierbas anuales y perennes, monoicas o dioicas, a veces leñosas en la base, con o sin pelos urticantes. Hojas dentadas y alternas, con frecuencia estipuladas en el caso de *Urtica*, y sin pelos urticantes en *Parietaria*. Las inflorescencias dispuestas en las axilas de las mismas. Dichas inflorescencias constituidas por pocas flores, pudiendo ser femeninas, masculinas o hermafroditas. Periantio con cuatro piezas sepaloideas. Androcéo con cuatro estambres, opuestos a las piezas periantales, explosivos en el caso de *Parietaria*. Ginecéo con un estigma multifido. El fruto es un pequeño aquenio (LÓPEZ ET AL., 2000; TRIGO ET AL., 2008) (figura 52).

Distribución. Estas plantas se presentan particularmente como mala hierba en zonas de escombros y deshabitadas, donde crece en paredes de ladrillos, piedras de casas y construcciones, así como suelos enriquecidos en nitrógeno (RODRÍGUEZ ET AL., 2000). Algunas especies se utilizan en la industria textil o de forma ornamental. En México se encuentran varias especies de *Urtica* en lugares con elevaciones altas (FRIIS, 1993).

Época de floración. Aunque pueden florecer durante todo el año, es común que el periodo de floración comprenda de enero a octubre en *Parietaria*, de febrero a noviembre en especies como *Urtica membranosa*, y

de mayo a julio en *U. dioica*, dependiendo al igual que otras plantas herbáceas, de las temperaturas mínimas y las precipitaciones (URL 60). Las urticáceas pueden presentar dos ciclos, uno largo en primavera y otro mas corto en otoño (BALTAZAR Y MARTÍ, 2002).

Polinización. Anemófila. Los estambres están curvados hacia el interior de la yema floral y cuando maduran se extienden violentamente hacia fuera de la flor, lanzando el polen en forma de una pequeña nube, que es dispersada por el viento (RECIO, 1995; BALTAZAR Y MARTÍ, 2002).

Morfología polínica. Isopolar o apolar, generalmente radiosimétrico (figura 52). Circular en corte óptico. Esferoidal. Tamaño pequeño, de 13 a 20 μm . Exina tectada, tenue, de menos de 1 μm de grosor, aunque en ocasiones alcanza los 2 μm . La superficie tiene una ornamentación microequinulada-granulosa, con gran cantidad de pequeñas espínulas y gránulos densamente distribuidos por toda la superficie del grano de polen. Intina formando unos engrosamientos muy marcados por debajo de las aberturas. La mayoría de las especies de los géneros *Urtica* y *Parietaria* presentan polen trizonoporado (a veces con hasta 4-5 poros). Aberturas simples de tipo poro, de 1,5- 2 μm de diámetro, presentan un anillo y un opérculo que se desprende con facilidad, aunque estas estructuras solo se aprecian con el MEB. (HYDE, 1954; RECIO, 1995; BALTAZAR Y MARTÍ, 2002; LUDLOW ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Se le considera de alergenidad moderada a severa, siendo menores los síntomas causados por *Urtica* en comparación con *Parietaria* (D'AMATO ET AL., 1991).

Autores como Masullo et al. (1996) han estudiado la reactividad cruzada de *Parietaria* con otras especies, encontrando asociaciones con el polen de gramíneas y *Olea europea*, así como con los ácaros del polvo (*Dermatophgoides farinae* y *D. pteronyssinus*).

Según D'Amato y Spiekma (1992), la patología causada por el polen de *Urticaceae* se manifiesta hasta la juventud y edad adulta, y tiene mayor incidencia en las mujeres que en los hombres. Presenta un umbral de activación de síntomas a partir de 30 gp/m^3 (BALTAZAR Y MARTÍ, 2002).

Resultados

Variación estacional

En la figura 53 se observa que el polen de *Urticaceae* incidió en la atmósfera casi todo el año. Su comportamiento fue irregular, presentando altas y bajas concentraciones. A mediados de febrero alcanzó sus valores más altos. Se le encontró ausente en la atmósfera solo en cortos periodos.

El polen total anual colectado de *Urticaceae* (676 gp) representó el 1.57% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

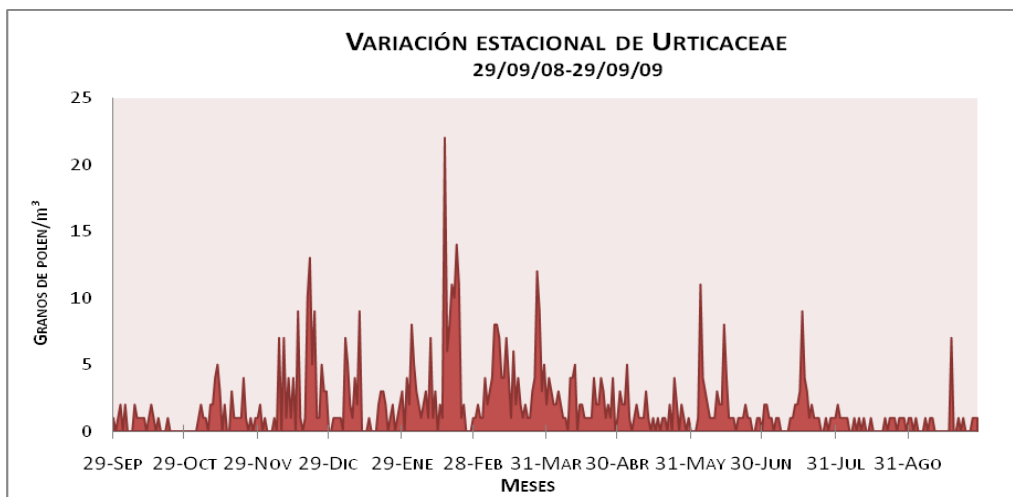


Figura 53. Concentraciones medias diarias del polen de Urticaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El PPP de *Urticaceae* comprendió 318 días del año, del 18 de octubre de 2008 al 31 de agosto de 2009. El pico máximo se presentó el 16 de febrero del 2009, con 22 granos de polen /m³ de aire. El pre pico tuvo una duración de 122 días y el post pico de 197 días.

Variación intradiaria

El Índice de Distribución Intradiaria obtenido para *Urticaceae* fue de 0.08 y tal como se observa en la figura 54., la concentración no presentó picos estables, pero tiende a incrementarse poco a poco desde las 8 h hasta las 14 h, cuando se presentó el pico máximo de incidencia en la atmósfera (56 gp/m³). Durante la tarde, se mantuvo una concentración similar (30-40 gp/m³) y a las 10 h se observó un descenso.

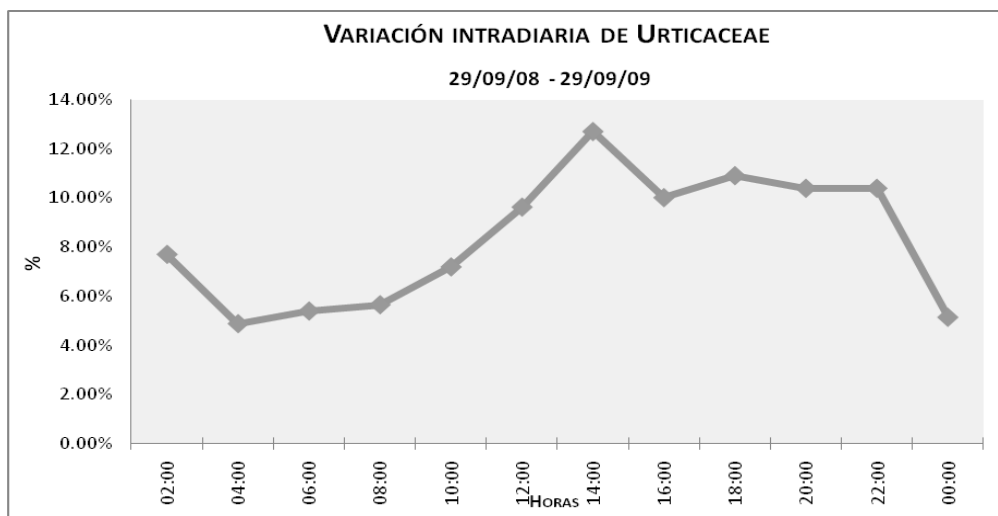


Figura 54. Distribución intradiaria del polen de Urticaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

En cuanto a los factores meteorológicos, las temperaturas media y máxima se asociaron positivamente con la concentración de polen en el PPP, pre pico, postpico, fase de ascenso y fase de descenso (tabla 12), y la mayor parte de estas asociaciones fueron significativas.

La asociación con la humedad relativa fue negativa ($p < 0.001$) en todos los periodos de tiempo analizados, al igual que la precipitación, excepto que para éste último factor se obtuvo un coeficiente positivo ($p < 0.05$) en la fase máxima.

La velocidad del viento se correlacionó negativamente ($p < 0.05$) con el prepico y fase de ascenso, al igual que la velocidad máxima. En el caso de ésta última también se observó una asociación positiva en la fase de descenso ($p < 0.05$).

Factor Meteorológico	PPP N(318)	PrePico N(122)	Postpico N(197)	F.asc. N(118)	F.máx. N(60)	F.des. N(142)
Temp. Media	.147**	0,170	.166*	0,162	0,161	.309***
Temp. Máx	.171**	.235**	.149*	.236*	-0,020	.252**
Temp. Min	-0,031	-0,099	-.183*	-0,127	.336**	0,064
H.R	-.356***	-.312***	-.377***	-.342***	0,220	-.353***
Precipitación	-.140*	-.197*	-.217**	-.200*	.314*	-0,099
Vel. Media viento	-0,060	-.200*	-0,017	-.223*	-0,113	0,165
Vel. Max viento	-0,020	-.181*	0,028	-.205*	-0,058	.204*
% Viento 1er Cuadrante	-.186***	-.234**	-.164*	-.270**	-.350**	0,016
% Viento 2do cuadrante	.193***	.346***	0,092	.367***	0,071	0,039
% Viento 3er cuadrante	.229***	.304***	.165*	.333***	0,248	0,044
% Viento 4 cuadrante	-.179***	-.294***	-0,131	-.298***	-0,066	-0,051
% Viento Calmas	0,098	0,125	0,125	0,137	0,068	-0,027

Tabla 12. Correlación entre la concentración de gp de Urticaceae y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Con respecto a la dirección del viento, aquellos procedentes del 1er y 4to cuadrante (NE y NO) estuvieron asociados negativamente ($p < 0.001$) con el PPP, prepico, postpico y fase máxima, mientras que los vientos del 2do y 3er cuadrante (SE y SO) arrojaron coeficientes de correlación positivos (en su mayoría con una significancia $p < 0.001$), para los mismos periodos de tiempo.

Discusión

El polen de Urticaceae presentó un periodo de polinación muy largo, encontrándose en la atmósfera de Chapultepec durante casi todo el año. Los valores de concentración más altos se obtuvieron en el mes de febrero (momento en que inicia la floración de *Urtica*), coincidiendo con los resultados obtenidos por Salazar (1995) al sur de la ciudad. El hecho de que se haya observado una estacionalidad tan prolongada se debe a los distintos periodos de floración de los diversos géneros y especies que se incluyen en este tipo polínico.

Aunque no se tiene conocimiento de ejemplares de Urticaceae dentro de la flora local, Reiche (1963) menciona que en el Valle Central de México se encuentran *Urtica dioica*, *U. subincisa* y *U. urens*, así como *Laportea mexicana*, sin embargo, no menciona la localidad específica. Del género *Parietaria* menciona a

Parietaria pensylvanica, que se ha encontrado en hendiduras de muros y rocas. Debido a que se carece de información que confirme la existencia de Urticaceae en Chapultepec, no es posible confirmar que su presencia en la atmósfera se deba a que forma parte de la flora local, o bien a que los granos de polen están siendo transportados por el aire desde otro punto de la ciudad (probablemente traídos por los vientos del SE y SO que se asociaron positivamente con la concentración de polen de este taxón).

En cuanto al comportamiento intradiurno, Urticaceae no presentó picos estables de concentración, y al igual que *Quercus*, esto se debe probablemente a que es un taxón multiespecífico y la liberación de polen al aire puede variar considerablemente (TRIGO ET AL., 1997). Las mayores concentraciones se presentaron después del medio día, con el pico máximo hacia las 14 h debido a las condiciones atmosféricas ya mencionadas con anterioridad (baja humedad y temperaturas elevadas). Recio (1995) y Rodríguez et al. (2000) reportan este mismo horario como cúspide de concentración en la variación intradiaria de Urticaceae para la atmósfera de Málaga y Vigo respectivamente, y de igual manera observaron homogeneidad en la distribución del polen a lo largo del día.

Uno de los factores meteorológicos que favorece los niveles aeropolínicos de este taxón es la temperatura, cuyo incremento se ve asociado a una mayor cantidad de polen en la atmósfera. Este mismo fenómeno lo reportó Salazar (1994) en el sur de la Ciudad de México, y ha sido observado en varias ciudades europeas como Trieste, Italia y Málaga (GONZÁLEZ MINERO ET AL., 1998; RIZZI ET AL., 2004; TRIGO ET AL., 1996). Para ambas ciudades, las horas de insolación también influyen sobre el incremento de las concentraciones de Urticaceae, y podría servir para explicar su patrón intradiurno, sin embargo en este estudio no se contó con esa información por lo que no fue posible comprobar dicha relación.

La humedad relativa tuvo un efecto negativo sobre la concentración de Urticaceae durante todas las fases, debido a que ocasiona la hidratación de los granos de polen y la posterior deposición (BENITO-RICA, 2003).

Las precipitaciones presentaron correlaciones negativas durante todo el PPP, sin embargo, al analizar por separado la fase máxima se encontró una asociación significativa y positiva, lo cual corresponde al comportamiento que presentan usualmente las malezas cuyo inicio e intensidad de la floración depende de las temperaturas mínimas inferiores a cinco grados y las precipitaciones del mes de febrero (BALTAZAR Y MARTÍ, 2002). Éste factor es de gran importancia para las malezas, ya que éstas carecen de mecanismos que les ayuden a combatir la sequía (como raíces largas), sin embargo, en el caso específico de Urticaceae, cuya alta resistencia a la sequía, carácter nitrófilo (asociado a ambientes antropogenizados como son lotes baldíos, huertas, jardines mal cuidados, etc.) y susceptibilidad a obtener suplementos extra por el agua de riego de jardines, la dependencia de este grupo a la lluvia no es tan marcada como en otras plantas herbáceas (GONZÁLEZ ET AL., 1997).

Los vientos procedentes del NE y NO influyen de manera negativa en los niveles aeropolínicos, mientras que del SE y SO se observa un aporte significativo en la cantidad de polen captado. En cuanto a la velocidad de viento, parece que éste no es un factor determinante ya que no se presentaron valores significativos con tendencia clara.

En cuanto a la alergenidad de las urticáceas, el umbral de activación de síntomas tiende a activarse con 30 gp/m³ de aire, y aunque en este año de estudio el pico máximo de Urticaceae fue de 22 gp/m³ de aire, es importante considerar a este tipo polínico dentro de las pruebas cutáneas que se realizan para el diagnóstico

de alergias, ya que en otras zonas donde si se tiene registrada la existencia de esta planta el número de granos de polen diarios puede ser mucho más alto en épocas que favorecen su proliferación. Además, el tamaño pequeño de estos granos de polen les permite permanecer en la atmósfera durante un tiempo prolongado y ser transportados de una zona a otra (BALTAZAR Y MARTÍ, 2002), ocasionando serios problemas de polinosis no solo a los habitantes de lugares bien representados con urticáceas, sino a la población de la Ciudad de México en general.

En la zona de Chapultepec los granos de polen de Urticaceae representaron el 1.57% del IPA, por lo que es importante conocer a detalle los factores que favorecen la liberación y dispersión del polen de este grupo, en los lugares de donde proviene el polen que parece llegar con el viento.

Conclusiones

Durante todo el año se encontraron granos de polen de Urticaceae en la atmósfera de Chapultepec, con los valores máximos en febrero.

El comportamiento intradiario de este taxón sugiere que el momento de mayor incidencia es después del medio día, cuando la temperatura y la insolación están en su punto máximo.

El incremento en la temperatura, así como los vientos del SE y SO fueron los parámetros meteorológicos que influyeron positivamente sobre los niveles aeropolínicos de este taxón.

Este tipo polínico no se encuentra representado en la flora local, por lo que probablemente es transportado desde otros puntos de la ciudad, como puede ser el sur (debido a la asociación positiva que se encontró con esa frecuencia de viento).

Debido a su potencial alergénico y su amplia estacionalidad, el polen Urticaceae debe ser considerado en el diagnóstico y tratamiento de los casos de polinosis que se presenten durante todo el año en el Distrito Federal, y es de gran importancia conocer su distribución y patrón de liberación.

5.12. Ulmaceae: *Ulmus*

Perteneciente a la familia Ulmaceae, *Ulmus* es un género que agrupa entre 20 y 45 especies de olmos, muchos de ellos cultivados por su sombra para parques y jardines y como árboles de alineación en las calles (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2000).

En Chapultepec únicamente se encontraron dos especies: *Ulmus americana* y *U. parvifolia*, la primera nativa de Norteamérica y la segunda de origen asiático (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; TRIGO ET AL., 2008).



Figura 55. Ejemplar de *Ulmus* sp., hojas y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Se trata de árboles, raramente arbustos, monoicos semidecíduos, de hasta 40 m de altura, con tronco grueso al igual que la corteza, la cual es grisácea y figurada longitudinalmente. Copa abierta, amplia y redondeada, con ramas robustas y horizontales. Hojas caducas, simples, alternas, pecioladas, de forma elíptica a ovada, base asimétrica y margen aserrado o dentado. Flores pequeñas, unisexuales o hermafroditas y capaces de autopolinizarse, agrupadas en glómérulos axilares, sobre ramillas de la estación anterior. Corola ausente, cáliz campanulado, con 4 a 5 lóbulos, dividido debajo de la mitad, tiene tantos estambres como lóbulos tiene el cáliz, filamentos rectos, ovario súpero con una cavidad, un óvulo y dos estilos. El fruto es una sámara aplastada, ovoide, verde durante el desarrollo, después seco y color marrón, rodeado de un ala ancha membranosa. Madura a las pocas semanas de florecer (figura 55) (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2000).

Distribución. Se desarrollan preferentemente en tierras profundas, fértiles y húmedas, habitando en márgenes de ríos y arroyos o formando parte de bosques mixtos, de ribera y de galería. *U. americana* puede soportar temperaturas invernales extremas. Los olmos son de rápido crecimiento y toleran la contaminación urbana. Se les utiliza en la alineación de calles y avenidas, así como ornamentales en jardines y parques (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2000).

Época de floración. *Ulmus parvifolia* florece en la Ciudad de México de agosto a septiembre. Los olmos no fructifican en la ciudad (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Polinización. Anemófila.

Morfología polínica. Apolar y radiosimétrico (figura 55). De subcircular a subpentagonal en vista polar y corte óptico ecuatorial; elíptico en vista ecuatorial y corte óptico meridiano; de oblado a oblado-esferoidal. Tamaño mediano, entre 24 y 30 μm . Exina de 1 a 1,5 μm de grosor en la mesoporia y de hasta 2,5 μm en los

alrededores de los poros, en donde forma anillo. Superficie rugulada, con elementos supratactales de tipo gránulos o espínulas. Intina engrosada por debajo de los poros para formar oncus (HYDE, 1954). Polen pentazonoporado, a veces de 4 a 7-porado. Los poros, ligeramente aspidados en ocasiones, se sitúan en la zona ecuatorial. (JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. La alergenidad de los granos de polen de *Ulmus* es considerada como moderada, sin embargo, en Estados Unidos se ha observado mediante pruebas cutáneas una alergenidad moderadamente alta en algunas especies de olmo (LEWIS ET AL., 1983).

Resultados

Variación estacional

El polen de *Ulmus* incidió en la atmósfera de Chapultepec desde principios de noviembre hasta finales de marzo. Alcanzó las concentraciones máximas durante la primera semana de enero y el resto del año apareció de forma esporádica en distintas épocas (figura 56).

Representó el 1.46% del IPA de la zona (42,927 gp), con un total anual de 627 granos de polen /m³.

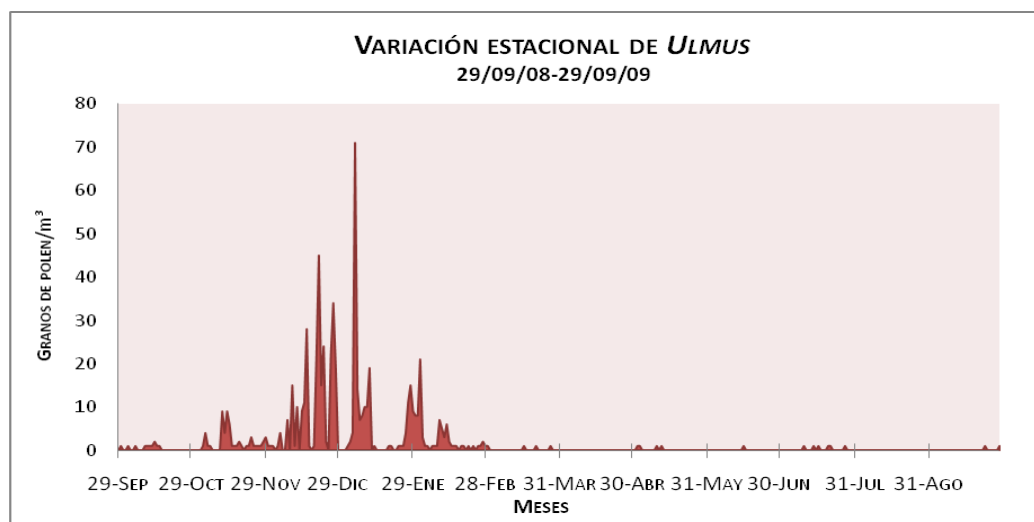


Figura 56. Concentraciones medias diarias del polen de *Ulmus* en la atmósfera de Chapultepec.

Periodo Principal de Polinación

El PPP de *Ulmus* comprendió del 4 de noviembre de 2008 al 20 de marzo de 2009. Su duración es de 170 días. El Pico máximo se presentó el 5 de enero del 2009, con 71 granos de polen /m³ de aire. El periodo pre pico tuvo una duración de 45 días y el post pico de 126 días.

Variación intradiaria

El polen *Ulmus* presentó un Índice bajo de Distribución Intradiaria (0.06). En la figura 57 se observan picos muy poco acusados en distintos momentos del día, como son las primeras horas de la madrugada, a medio día y por la noche. Durante la mañana (4-10 h) su incidencia se caracterizó por valores bajos y constantes.

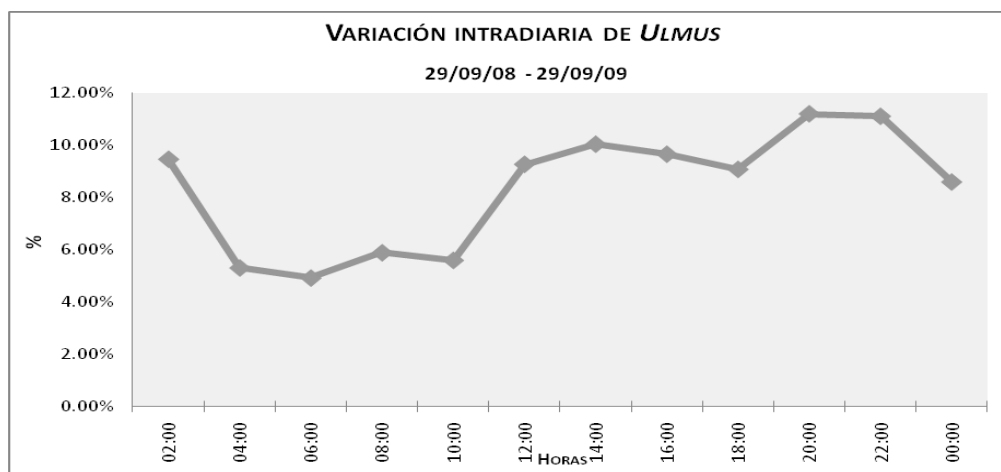


Figura 57. Distribución intradiaria del polen de *Ulmus* en la atmósfera de Chapultepec.

Correlación con los datos meteorológicos

Respecto a las correlaciones estadísticas, las temperaturas media y mínima no presentaron valores de correlación significativos, y únicamente se obtuvieron asociaciones significativas ($p < 0.05$) con la temperatura máxima en relación al prepico y la fase máxima de concentración de *Ulmus*, ambas positivas.

Los factores de precipitación y humedad relativa se asociaron negativamente ($p < 0.01$) con la concentración de este taxón.

Las correlaciones obtenidas con la velocidad del viento, ya sea media o máxima, fueron en su mayoría negativas y sólo algunas de ellas significativas ($p < 0.001$ en el caso del PPP).

En cuanto a la dirección del viento predominante, las frecuencias de los vientos del 1er y 4to cuadrante (NE y NO) presentaron valores negativos de manera general, mientras que los vientos procedentes del 2do y 3er cuadrante (SE y SO) se asociaron positivamente en todas las fases analizadas.

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos para los distintos parámetros meteorológicos respecto a la concentración de polen.

Factor Meteorológico	PPP N(170)	PrePico N(45)	Postpico N(126)	F.asc. N(44)	F.máx. N(28)	F.des. N(100)
Temp. media	0,054	0,180	0,027	0,155	0,397	0,030
Temp. Máx	0,136	.317*	0,102	0,266	.583*	0,113
Temp. Min	-0,083	-0,017	-0,061	0,002	-0,157	-0,074
H.R	-.208*	-.372**	-0,158	-.310*	-.604**	-0,156
Precipitación	-.264**	.	-.315**	.	.	-.310**
Vel. Media viento	-.222**	-0,224	-0,151	-0,222	0,026	-0,150
Vel. Max viento	-.274***	-0,231	-.235*	-0,215	-0,051	-0,224
% Viento 1er Cuadrante	-.231**	-0,208	-0,186	-0,099	-0,222	-0,133
% Viento 2do cuadrante	.265**	.266*	0,227	0,158	0,177	0,203
% Viento 3er cuadrante	.347***	.363**	.307**	0,195	0,466	.286*
% Viento 4 cuadrante	-.226**	-.250*	-0,196	-0,093	-0,449	-0,217
% Viento Calmas	0,061	0,038	0,106	0,054	0,072	0,098

Tabla 13. Correlación entre la concentración de gp de *Ulmus* y los parámetros meteorológicos. (*) La correlación es significativa al nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa al nivel $p < 0.01$. (***) La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Discusión

El periodo principal de polinación de *Ulmus* inició a finales del otoño (noviembre) y finalizó cuando comenzó la primavera (marzo), abarcando toda la época invernal.

Ulmus americana puede soportar temperaturas invernales extremas, por lo que fue posible observar que las mayores concentraciones se presentaron en enero, uno de los meses más fríos del año (9.2° C).

El incremento de la temperatura ejerció muy poca influencia sobre la polinación de este taxón; se ha observado que en las ciudades donde el frío no es tan extremo los olmos rara vez llegan a florecer (RECIO, 1995).

La precipitación, la humedad relativa y la velocidad del viento fueron los factores meteorológicos que afectan negativamente los niveles aeropolínicos de este género. Los vientos provenientes del NE y NO se relacionaron negativamente con la concentración de *Ulmus*, mientras que los vientos procedentes del SE y SO aportaron polen a la atmósfera de Chapultepec.

Fue posible observar un patrón de variación intradiaria poco estable, con altibajos durante las 24 horas del día, ya que el polen se distribuyó de manera homogénea y no se encontraron diferencias considerables en las horas registradas.

Los ligeros incrementos en los niveles aeropolínicos se presentaron por la tarde (14 h) y por la noche (20 h), debido a que es por la tarde cuando se registraron las temperaturas más altas y la humedad relativa tiende a disminuir. Además, debido a la circulación de vientos convergentes originados por la isla de calor (la cual genera una convergencia del aire superficial hacia el centro del área urbana) los vientos dentro de la ciudad son más fuertes por la tarde-noche, favoreciéndose la liberación y transporte de los granos de polen (JÁUREGUI, 1991).

El polen de este taxón aportó el 1.46% del IPA de Chapultepec. Su carácter invernal impide una intensa floración en un clima templado como el del Distrito Federal, sin embargo, la concentración en que se presentó

es más alta que algunas de las reportadas en ciudades con problemas graves de polinosis, por lo que es importante no dejar de considerar a *Ulmus* en los diagnósticos y tratamientos de los trastornos alérgicos.

Conclusiones

El polen de *Ulmus* se encontró en la atmósfera de Chapultepec de noviembre a marzo, presentando su concentración más alta en enero.

Los vientos del SE y SO aportaron la mayor cantidad de polen atmosférico perteneciente a éste taxón.

Aunque el clima de la Ciudad de México no favorece la polinación intensiva de *Ulmus*, su alergenicidad puede causar graves problemas en la población sensibilizada a su polen.

5.13. Otros tipos polínicos

Los tipos polínicos que se presentan a continuación comprendieron un porcentaje de concentración menor al 1%, con respecto al IPA general (42,927 gp), sin embargo, están bien representados en la atmósfera de Chapultepec y se les considera de importancia debido a la gran capacidad para causar polinosis que algunos poseen.

Las bajas concentraciones registradas solo permiten conocer la época de mayor dispersión polínica, sin embargo, no permiten establecer patrones de comportamiento mas o menos estables (RECIO, 1995).

5.13.1. Oleaceae: *Ligustrum*

El género *Ligustrum* pertenece a la familia de las oleáceas y comprende cerca de 20 especies, algunas de ellas conocidas popularmente como trueno o aligustre.

Endémicas de Japón, India y otros países de Europa, se les utiliza frecuentemente en ambientes urbanos como especies ornamentales (CARIÑANOS ET AL., 2002). En Chapultepec se encuentran *Ligustrum confusum*, *L. japonicum*, *L. vulgare* y *L. lucidum*. Ésta última es una de las cinco especies que conforman el 74.4% del número total de árboles inventariados en Chapultepec (GDF, 2006; INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008; OROZCO, 2007), probablemente debido a que fue extensamente utilizado para reforestar el bosque en las épocas del Porfiriato (OROZCO, 2007).



Figura 58. Ejemplar de *Ligustrum sp.*, hojas, flores y grano de polen (40x10 aumentos).

Descripción: Suelen ser árboles monoicos perennifolios, que alcanzan hasta 10 m de altura. Con ramas dispersas y lenticeladas, copa redondeada u oblonga. Corteza lisa y grisácea, la de las ramas es color gris a café. Hojas simples, opuestas, de forma oval u oblongo-elíptica, ápice obtuso a agudo, base redondeada, margen entero. Contienen una gran cantidad de glucósido oleuropeina. Las flores son blancas, pequeñas y terminan en panículas terminales. El fruto es una drupa semejante a una baya, oblonga, color azul negro (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994) (figura 58).

Distribución: Se les ocupa para hacer setos vivos, y son cultivados ampliamente en la ciudad, tanto en parques y jardines, así como en alineación de avenidas y calles (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración: Ocurre en verano (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Polinización: Principalmente entomófila (CARIÑANOS ET AL., 2002).

Morfología polínica: Isopolar y radiosimétrico (figura 58). De subcircular a circular lobulado en vista polar y de subcircular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. De prolado-esferoidal a oblado-esferoidal. Tamaño mediano, con eje polar de 25-30 μm y eje ecuatorial de 25-32 μm . Exina de 3-4 μm de grosor. Superficie reticulada con lúmenes irregulares y muros lisos. Intina con engrosamiento bajo las aberturas (oncus). El polen de este taxón es trizonocolporado. (HYDE, 1954; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad: Dentro de la familia en que se encuentra este taxón se encuentran géneros altamente alergénicos como *Fraxinus*, con el cual puede haber reactividad cruzada debido a que comparten la proteína Ole e 1 a la cual son sensibles gran cantidad de pacientes (GASTAMINZA ET AL., 2005; BOUSQUET ET AL., 1985; ALCHE Y RODRÍGUEZ, 1997; OBISPO ET AL., 1993).

Resultados

En el año de estudio se capturaron 401 granos de polen de *Ligustrum*, los cuales representan 0.93 % del IPA general de Chapultepec (42,927 gp).

La incidencia de este polen en la atmósfera se registró prácticamente todo el año, pero se puede observar en la figura 59 que los valores máximos se concentraron en los meses de septiembre a diciembre, teniendo el pico máximo con 27 gp/m³ el día 12 de octubre.

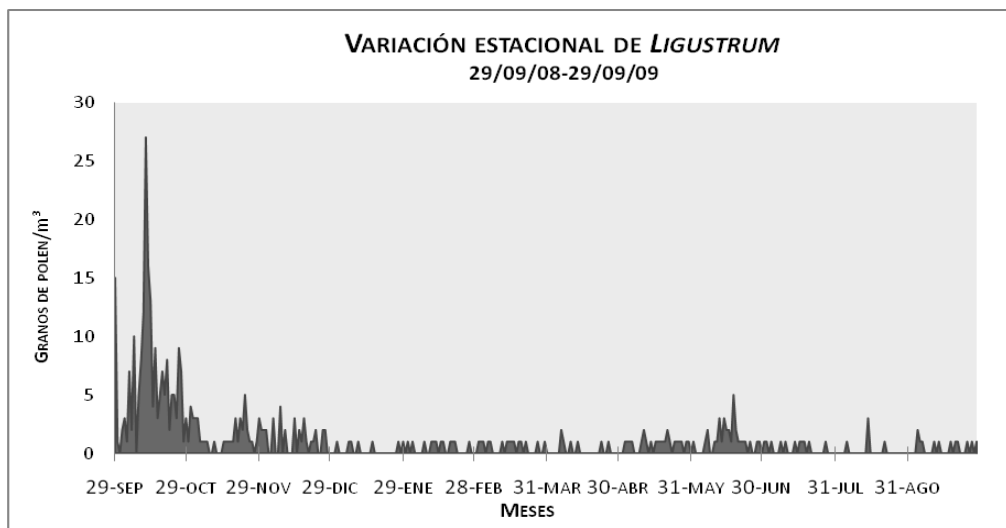


Figura 59. Concentraciones medias diarias del polen de *Ligustrum* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

La floración de este taxón es prácticamente otoñal, presentando las concentraciones más altas de polen atmosférico en octubre.

Debido a su polinización entomófila y al gran tamaño de sus granos de polen, la dispersión de éstos a larga distancia es muy difícil, por lo que rara vez llegan a estar presentes en la atmósfera en cantidades elevadas (TRIGO ET AL., 2008). Pese a lo anterior, en áreas donde *Ligustrum* es tan abundante (como es el caso de Chapultepec) las concentraciones a una altura de 1.5 m pueden ser hasta 100 veces más altas que a unos kilómetros a la redonda (CARIÑANOS ET AL., 2002).

La reactividad cruzada que este tipo polínico presenta con otras oleáceas puede representar un serio problema de salud para los habitantes de la zona de estudio, ya que las floraciones de las diferentes especies pueden traslaparse. *Ligustrum* se encuentra presente principalmente de septiembre a diciembre, sin embargo, cuando su periodo de polinación principal está finalizando, otras especies alergénicas con la que comparte la proteína Ole e 1 podrían estar iniciando su floración, como es el caso de *Fraxinus*, cuya polinación ocurre principalmente de noviembre a febrero, por lo que el tiempo en que las personas sensibles quedan expuestas a este tipo de alergen se amplía.

Aún cuando los niveles aeropolínicos de *Fraxinus* van en decremento, *Ligustrum* se encuentra frecuentemente en la atmósfera de Chapultepec prácticamente todo el año, ocasionando posiblemente que la polinosis causada por el alérgeno Ole e 1 prevalezca.

Este tipo de alérgeno tiene la facultad de que después de al menos un mes de exposición al polen, el umbral de concentración para que los síntomas de la polinosis aparezcan baja a cantidades mínimas. Un ejemplo evidente ocurre con el polen de *Betula*, cuyo umbral de activación de síntomas inicia con 80 gp/m³ y va disminuyendo hasta causar serios problemas de salud con tan solo 30 gp/m³, e incluso dicha cantidad puede ser aun menor si se trata de especies que compartan el mismo tipo de alérgenos como son *Alnus* o *Corylus* (CONNEL, 1969; VIK ET AL., 1991 Y DETANDT ET AL., 1996).

Conclusiones

El carácter entomófilo de *Ligustrum* provoca que las concentraciones atmosféricas de sus granos de polen no sean elevadas durante casi todo el año, excepto en el mes de octubre cuando alcanza su pico máximo.

La alergenicidad de este taxón sumada a la reactividad cruzada que existe con otras oleáceas como *Fraxinus* repercuten en la salud de la población, ampliando el periodo en que pueden presentar síntomas al sumarse o traslaparse las épocas de floración de ambos tipos polínicos.

5.13.2. Moraceae: *Morus*

Perteneciente a la familia Moraceae, el género *Morus* se encuentra dentro de la flora de Chapultepec representado por dos especies: *Morus celtidifolia* y *M. nigra* (figura 60) (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).

Descripción: Se trata de árboles y arbustos dioicos caducifolios, provistos de látex generalmente lechoso. Alcanzan los 10 m de altura y presentan copa ovoide esférica. Corteza rugosa, dividida en placas longitudinales, café-grisácea. Hojas simples, alternas, dentadas, palmeadas o pinnadas y con estípulas, sostenidas por un largo peciolo, ápice acuminado y margen aserrado. Especies monoicas o dioicas con flores pequeñas y unisexuales (*Morus celtidifolia*) (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994). El fruto es un sincarpo en el que las piezas del perianto se hacen carnosas y acompañan a los verdaderos frutos, que son pequeñas drupas (LÓPEZ ET AL., 2000).

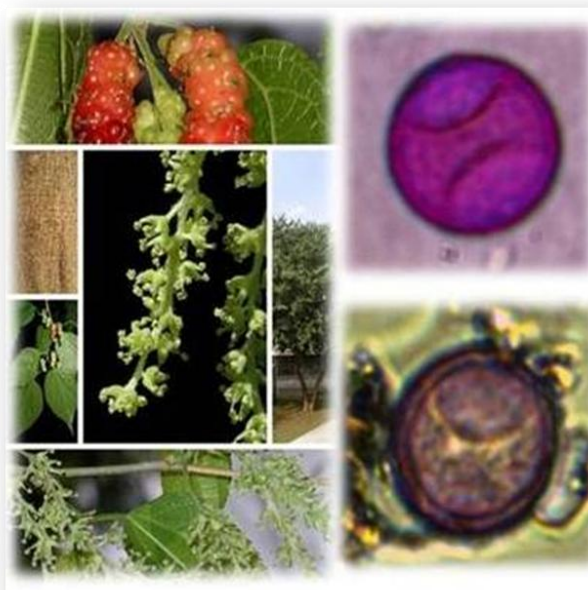


Figura 60. Ejemplar de *Morus sp.* Hojas, flores y grano de polen (40x10 aumentos).

Distribución: Requieren exposición a pleno sol así como suelos fértiles y bien drenados. Necesitan riegos moderados (LÓPEZ ET AL., 2000). Se les utiliza como especie ornamental en jardines privados, y de manera aislada en la ciudad, aunque mayormente distribuidos al sur (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración: La floración de las moráceas se da en primavera, principalmente entre abril y junio, sin embargo, *Morus nigra* florece en invierno (TRIGO ET AL., 2008; LÓPEZ ET AL., 2000). *M. celtidifolia* florece de febrero a marzo (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Polinización: Anemófila (ROCHA ET AL., 2008).

Morfología polínica: Isopolar y radiosimétrico. Esferoidal y de tamaño de pequeño a mediano (eje polar y eje ecuatorial entre 15 y 30 μm). Exina tectada, de menos de 1 μm de grosor. La superficie puede ser escábrida a microequinada. La intina forma onci pronunciados bajo las aberturas. Polen 2-3 zonoporado. Poros de 3 μm de diámetro, con un anillo ligeramente engrosado y un opérculo escábrido, difíciles de apreciar con el microscopio óptico. (HYDE, 1954; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008) (figura 60).

Alergenicidad: Se conoce como severa (URL 24), y existe registro de hipersensibilidad causada por el polen de *Morus alba* (ARMENTIA ET AL., 1993; NAVARRO ET AL., 1997).

Resultados

El polen de *Morus* representó 0.92% del IPA de Chapultepec (42,927 gp) con 395 granos de polen anuales. El periodo de polinación de este taxón fue de 346 días. A finales de septiembre y principios de

octubre hubo altos niveles aeropolínicos, pero fue en el mes de marzo que se encontraron los valores más altos, tal como se muestra en la figura 61.

El pico máximo fue el día 7 de marzo, con una concentración de 18 gp/m³ de aire.

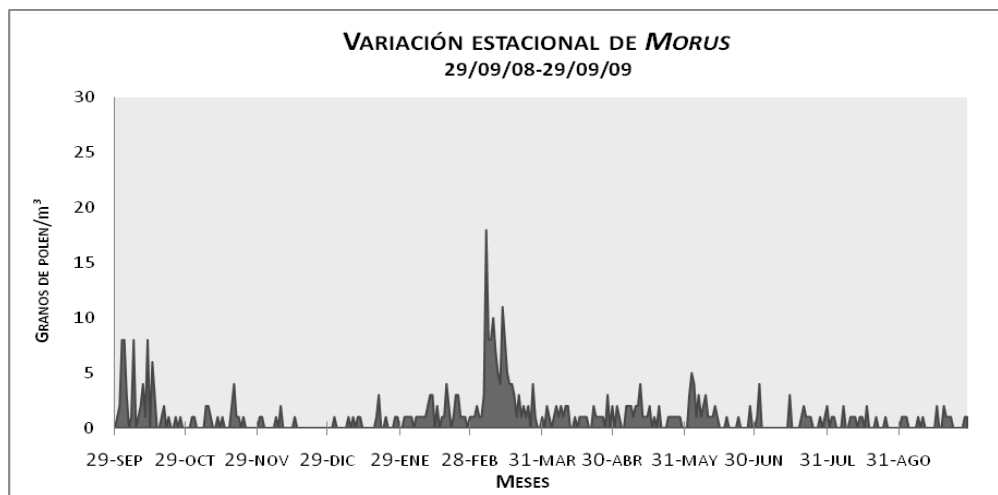


Figura 61. Concentraciones medias diarias del polen de *Morus* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

El pico máximo registrado para este taxón fue en el mes de marzo, correspondiendo al inicio de la primavera cuando las temperaturas se incrementan y por lo tanto la humedad relativa es baja (JÁUREGUI Y HERES, 2008), favoreciéndose la desecación de las anteras y por lo tanto la dehiscencia.

Este taxón incidió en la atmósfera durante todo el año, presentando altibajos en la concentración, de manera que es difícil predecir en qué momento se incrementarán los niveles aeropolínicos. Dado que su alergenicidad es severa, se sugiere que el extracto de *Morus* sea incluido en las pruebas que se realizan en los consultorios, ya que si bien la concentración de polen en el aire de este taxón no es alta todo el año, puede ocasionar diversos síntomas de polinosis en la población sensible.

Conclusiones

El periodo en que se registraron las mayores concentraciones de *Morus* fue en marzo 2009.

La concentración de polen en el aire de este taxón se mantuvo baja todo el año, pero es necesario considerar su alto potencial alergénico y utilizar este extracto para diagnosticar polinosis en casos de personas hipersensibilizadas.

5.13.3. Anacardiaceae: *Schinus*

Schinus es uno de los géneros que integran a la familia Anacardiaceae, es originario de la región andina de Sudamérica y actualmente se encuentra en expansión en México. Las dos especies que forman parte de la flora de Chapultepec son *Schinus molle* y *Schinus terebinthifolius* o pirúl chino (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 62. Ejemplar de *Schinus molle*. Hojas, flores y grano de polen (40x10 aumentos).

Descripción: Se trata de árboles monoicos perennifolios de hasta 15 m de altitud, de tronco robusto, muy ramificado, copa redondeada y corteza fisurada, rugosa y color marrón. Hojas compuestas, alternas y colgantes, ápice acuminado o agudo, base cuneada a obtusa, margen entero o ligeramente serrulado. Flores pequeñas y numerosas, unisexuales. Las masculinas poseen 10 estambres didínamos y gineceo vestigial; las femeninas presentan los estambres reducidos y el ovario globoso, con 3 estilos concrecentes y estigmas capitados (RZEDOWSKI Y RZEDOWSKI, 2001). Fruto picante en forma de drupa, pequeño y carnoso durante su desarrollo, seco y rojo en la madurez y con una sola semilla (figura 62) (URL 61; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; CASTILLO ET AL., 2007).

Distribución: Se les encuentra como parte del bosque pino-encino, matorral xerófilo y selva baja caducifolia. Frecuentemente se les utiliza para reforestaciones urbanas (URL 61). Su distribución es muy abundante en el Distrito Federal, se le encuentra en zonas silvestres perturbadas con vegetación secundaria y a orillas de la carretera. También se les emplea como árboles de ornato (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Etapas de floración: La etapa de floración varía dependiendo de la latitud y la elevación, pero en la Ciudad de México generalmente se presenta en primavera y verano (URL's 39 y 61; MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Polinización: Su polinización es tanto anemófila como entomófila (TORETTA Y BASILIO, 2009).

Morfología polínica: Isopolar y radiosimétrico. Subtriangular en vista polar y corte óptico ecuatorial, angulaperturado; subcircular en vista ecuatorial y corte óptico meridiano, De oblado esferoidal a prolado-esferoidal. Tamaño mediano, con eje polar de 25-32 μ y eje ecuatorial de 25-31 μ . Polen subtectado, con exina de unos 2 μ de grosor. Superficie estriada-reticulada. El polen es trizonocolporado, con ectoaberturas de tipo colpo y endoaberturas de tipo poro, lalongados (OLIVERA ET AL., 1998; ROURE, 1985).

Alergenicidad: Considerada como baja (URL 39).

Resultados

El polen de *Schinus* se encontró en la atmósfera prácticamente todo el año, en cantidades nunca superiores a 6 gp/m^3 como media diaria. El periodo de floración se consideró de 11 meses, con valores máximos en abril y junio (figura 63).

El polen total anual de *Schinus* (385 gp) representó el 0.89% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

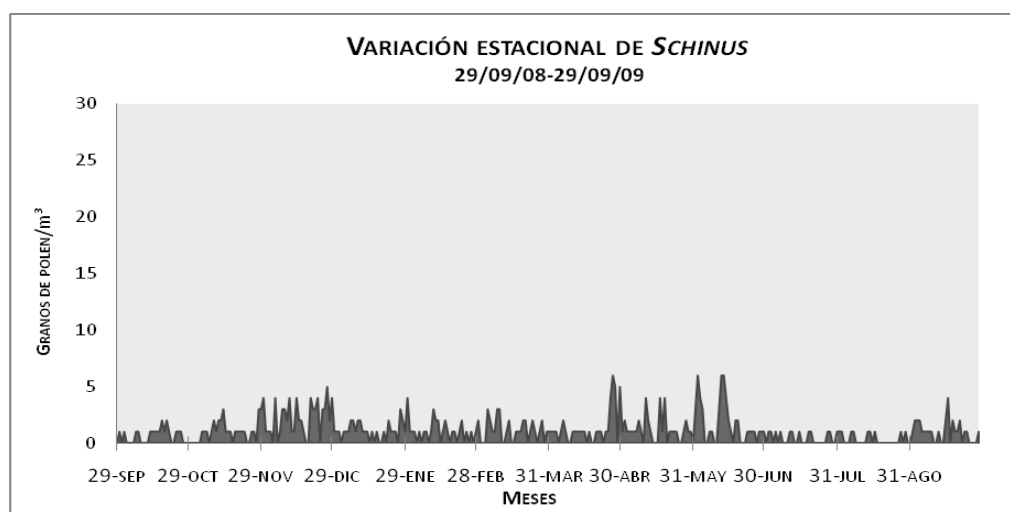


Figura 63. Concentraciones medias diarias del polen de *Schinus* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

El periodo de polinización de *Schinus* fue sumamente extenso, aunque sus mayores concentraciones se encontraron ubicadas dentro de los meses más cálidos del año como fueron abril y junio. Su carácter primaveral se ve favorecido por las temperaturas que en esos meses llegan a alcanzar los 30° C, así como por la humedad relativa que se mantiene en su fase mas baja durante esos meses, favoreciendo la apertura de las anteras (KAPYLA 1984; RANTIO-LEHTIMAKI ET AL., 1991).

El hecho de que el polen de este taxón no alcance los 10 gp/m^3 como media diaria, probablemente se debe a que también ocupa a los insectos como agentes polinizadores (TORETTA Y BASILIO, 2009).

Dado que su capacidad alergénica es baja (URL 39), que no es un género abundante en la zona y su condición es entomófila, no se le considera un tipo polínico de riesgo en esta zona.

Conclusiones

La polinización anfífila de *Schinus* es la principal razón de que su concentración atmosférica sea baja. Este hecho sumado al poco potencial alergénico de sus granos de polen, lo hacen poco riesgoso para la salud de las personas que respiran el aire de Chapultepec.

5.13.4. Asteraceae

Asteraceae es la familia más diversa de Angiospermas e incluye 1700 géneros de distribución cosmopolita (TELLERIA, 2009). Incluye plantas alimenticias, medicinales, ornamentales, industriales y también existen plantas tóxicas. Está ampliamente representada en Chapultepec, con 34 especies reportadas (Anexo 2).

En el periodo de muestreo se identificaron polínicamente cuatro tipo de compuestas pertenecientes a los géneros *Helianthus* y *Senecio*, y a las tribus Anthemideae y Lactuceae.



Figura 64. Ejemplares de Asteraceae. Granos de polen de arriba a abajo de Anthemidae, *Taraxacum* sp. y *Helianthus* sp. (40x10 aumentos).

Descripción. Suele tratarse de plantas herbáceas, rara vez de tipo arbóreo. Erectas, trepadoras o rastreras, algunas producen sustancias aromáticas. Sus hojas 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. Sépalos modificados en forma de pelos, escamas o aristas. Las flores se insertan en un receptáculo común. Androceo con 5 estambres unidos por las anteras, formando un tubo dentro del cual se encuentra el estilo. Gineceo con ovario ínfero, bicarpelar, estilo simple dividido en dos ramas lineares o lanceoladas, presentan en su interior papilas estigmáticas receptoras del polen y al exterior pelos colectores. El fruto es un aquenio (FREIRE-FIERRO, 2004).

Distribución: Debido al gran número de especies incluidas en esta familia, los ambientes en donde pueden crecer las asteráceas son muy variados. Forman parte de la vegetación natural, son cultivadas como ornamentales en jardines, para su uso comercial, y algunas forman parte de la vegetación ruderal (RECIO, 1995).

Polinización. Dentro de la gran variedad de especies que hay en esta familia, la polinización puede ocupar como vectores tanto aves, insectos o al viento, en cuyo caso el polen suele ser seco y liviano para su dispersión (TELLERÍA, 2009).

Época de floración. El periodo de floración es muy amplio y depende del género y la especie, pudiéndose encontrar especímenes en flor en cualquier época. 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).

Morfología polínica. El grano de polen de las compuestas puede ser muy variable. En general, son isopolares y radiosimétricos. De forma subcircular a circular lobulado o ligeramente poligonal en vista polar y circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. De esferoidal a prolado. Tamaño de pequeño a mediano (10-30 μm). Exina tectada o semitectada, de 2 a 7 μm de grosor. Sexina equinada o equinulada (JONES ET AL., 1995). Las espinas miden de 1 a 5 μm de largo, a veces se presentan crestas y lagunas de tamaño muy diverso. En cuanto a las aberturas, generalmente son trizonocolporados, con aberturas compuestas de tipo colpo y poro, pudiendo aparecer a menudo una mesoapertura. (ROUBIK ET AL., 1991; TRIGO ET AL., 2008).

A continuación se describen los 4 tipos polínicos principales que se identificaron. Aquellos que no se llegó a identificar a nivel género, fueron contabilizados como compuestas.

Anthemidea: Isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y vista ecuatorial. Esferoidal. Tamaño de 18 a 39 μm de eje polar y de 19 a 36 μm de diámetro ecuatorial. Exina de hasta 6 μm de grosor, con columelas infratectales gruesas y ramificadas. Superficie cubierta de espinas de hasta 4 μm de longitud. Tricolporado, con aberturas externas tipo colpo, endoaberturas tipo colpo pero dispuestas perpendiculares a la ectoapertura, por lo que la intersección es un poro rectangular (TRIGO ET AL., 2008).

Helianthus sp.: Isopolar y radiosimétrico. Triangular en vista polar y circular en vista ecuatorial. Tamaño de 22 a 45 μm de eje polar y de 24 a 45 μm de diámetro ecuatorial. Exina de 3 μm de grosor, con columelas infratectadas simples y delgadas. Superficie cubierta de espinas de hasta 6 μm de longitud, muy agudas. Tricolporado, aberturas externas de tipo colpo, endoaberturas de tipo colpo pero dispuesto de forma

perpendicular a la ectoabertura por lo que la intersección es un poro rectangular (JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Lactuceae: Isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y poligonal hexagonal en vista ecuatorial. Porado y esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano (eje polar de 21 a 41 μm y eje ecuatorial de 24 a 47 μm de diámetro). Exina tectada, de 4 a 6 μm de grosor. Superficie equinulada, formada por una serie de crestas anastomosadas que diferencian unas 15 lagunas, 3 porales, 6 abporales y 6 paraporales, sobre las crestas aparecen pequeñas espinas de hasta 2 μm , los polos pueden presentar una zona maciza, a modo de casquete, o bien puede constituirse en otras dos lagunas más. Zonocolporado, con ectoaberturas tipo colpo, cortamente elípticas, endoaberturas similares pero dispuestas de forma perpendicular a las anteriores, la intersección es de forma rectangular (MORENO-SOCIAS ET AL., 1994; LUDLOW ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Senecio sp.: Isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y vista ecuatorial. Esferoidal. Tamaño de 20 a 45 μm de eje polar y de 20 a 45 μm de eje ecuatorial. Exina de 3 μm de grosor, sin columelas infratectales dejando un espacio vacío o cávea por debajo del tectum, tectum columelado. Superficie cubierta de espinas de hasta 3 μm de longitud. Tricolporado. Ectoaberturas externas de tipo colpo, endoaberturas de tipo colpo pero dispuestas de forma perpendicular a la ectoabertura, de forma que la intersección es rectangular (TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Su alergenidad es conocida como severa en casi todos los casos, excepto en *Helianthus*, cuyo potencial alergénico es mas bien nulo. Pese a esto, los casos de polinosis suelen estar reducidos a jardineros y personal que trabaja en ciertas áreas de cultivo donde la concentración de polen en el aire es muy elevada (GALÁN, 1995).

Resultados

Se captaron 351 granos de polen de distintas compuestas, que representaron 0.81% del IPA de Chapultepec (42,927 gp). Su etapa de floración fue muy amplia, abarcando casi todo el año, sin embargo, los valores más altos se concentraron en los meses de septiembre a diciembre, con un pico máximo de 12 gp/m³ de aire el día 4 de octubre.

El resto del año la incidencia del polen de Asteraceae fue esporádica habiendo breves periodos de tiempo en que éste tipo de polen se encontró ausente (figura 65).

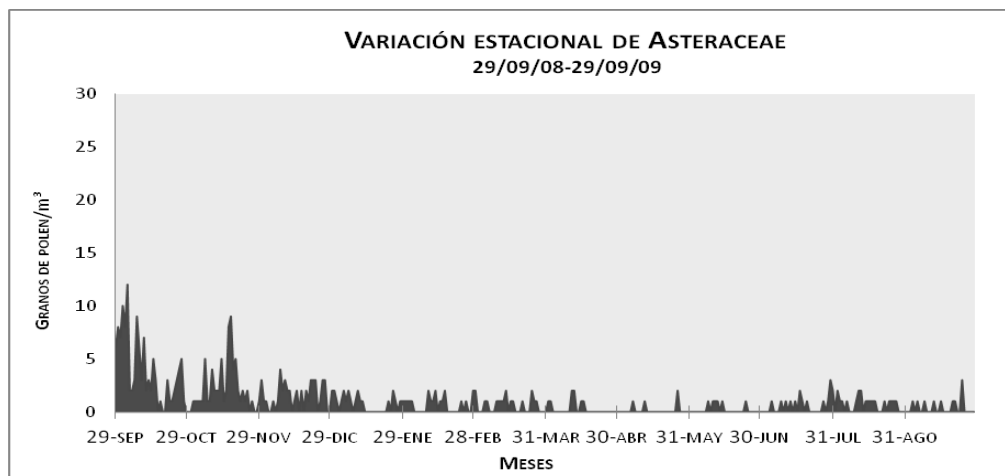


Figura 65. Concentraciones medias diarias del polen de Asteraceae en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

Es difícil determinar la estacionalidad para este taxón debido a su carácter multiespecífico, sin embargo, las concentraciones más altas se presentaron al final de la época de lluvias (septiembre-octubre), con medias diarias que nunca sobrepasaron los 15 granos de polen, debido principalmente a que presenta polinización entomófila, por lo que los granos de polen no son fácilmente transportados por el viento pues son pesados, ricos en cemento polínico y aceites que les permiten aglutinarse y adherirse a los insectos (RECIO, 1995).

La presencia de polen de algunas asteráceas entomófilas como *Helianthus* (cuya concentración suele ser muy baja y los niveles más altos de concentración suelen ser detectados en las fechas de recolección y no en el de floración de la planta) puede deberse a la manipulación humana en la que se liberan al aire grandes cantidades de polen (URL 48). En este caso resultan afectadas las poblaciones aledañas a sitios de siembra donde se puede llegar a liberar una gran cantidad de polen de este taxón en fechas específicas del año, causando probablemente problemas de polinosis que llegan a ser severos (GALÁN ET AL, 1995).

Conclusiones

Los granos de polen correspondientes a distintas especies de asteráceas se encontraron presentes en la atmósfera durante todo el año, siendo difícil definir una época específica debido a la gran cantidad de especies contenidas dentro de esa familia.

Aunque su polinización es entomófila, lo que reduce la probabilidad de ser transportados por el viento y quedar suspendidos en el aire, las asteráceas suelen presentar altos grados de alergenicidad capaces de causar severos trastornos en las personas expuestas a elevadas concentraciones de este tipo polínico.

5.13.5. Asteraceae: *Ambrosia*

El género *Ambrosia* forma parte de la familia Asteraceae, la cual fue mencionada anteriormente. Se hace una distinción debido a que, además de su severa alergenicidad (URL 44; TRIGO ET AL., 2008), el polen de *Ambrosia* es fácilmente distinguible de otras asteráceas lo cual facilita su identificación y de ésta manera es posible llevar un conteo aparte que sea más útil para los estudios sobre polinosis. Esta separación de géneros es ideal y se espera con el tiempo que la correcta identificación de los tipos polínicos de las asteráceas permita cuantificar más géneros por separado para reconocer al agente causal de polinosis específicas.



Figura 66. Ejemplar de *Ambrosia psilostachy*, hojas, flores y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Se trata de 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 psilostachy* es una hierba perenne, y es la única especie de éste género de la que se tiene registro en los inventarios consultados para Chapultepec (figura 66).

Época de floración. Su época de floración está determinada por la latitud y elevación, pero suele ocurrir entre primavera y otoño (URL 44).

Polinización. Anemófila (TRIGO ET AL., 2008).

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 66). Circular lobulado en vista polar y de subcircular a elíptico en vista ecuatorial. De oblado-esferoidal a prolado-esferoidal. Tamaño pequeño, con eje polar de 24 μm y eje ecuatorial de 25 μm . Exina tectada y gruesa (3 μm de grosor) con espinas de 1 a 2 μm de altura. El grano de polen es trizonocolporado. Presenta ectoaberturas de tipo colpo y endoaberturas de tipo poro, redondeadas de margen difuso (BASSET ET AL., 1978; LUDLOW ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Este tipo polínico se ha mencionado como altamente alergógeno tanto en América, Europa y Asia, causando asma y rinitis alérgica en la población sensible).

Presenta reactividad cruzada con *Artemisia* (ROCHA ET AL., 2008).

Resultados

Al igual que las demás compuestas, *Ambrosia* se encontró en la atmósfera esporádicamente durante todo el año sin superar los 8 gp. Este pico máximo de concentración se presentó el día 13 de noviembre.

Con un valor anual de 182 granos de polen, el total anual de este taxón conformó 0.42% del IPA (42,927 gp).

En la figura 67 se puede observar que en los meses de septiembre a diciembre, así como febrero y marzo, se concentra la mayor cantidad de polen de *Ambrosia*.

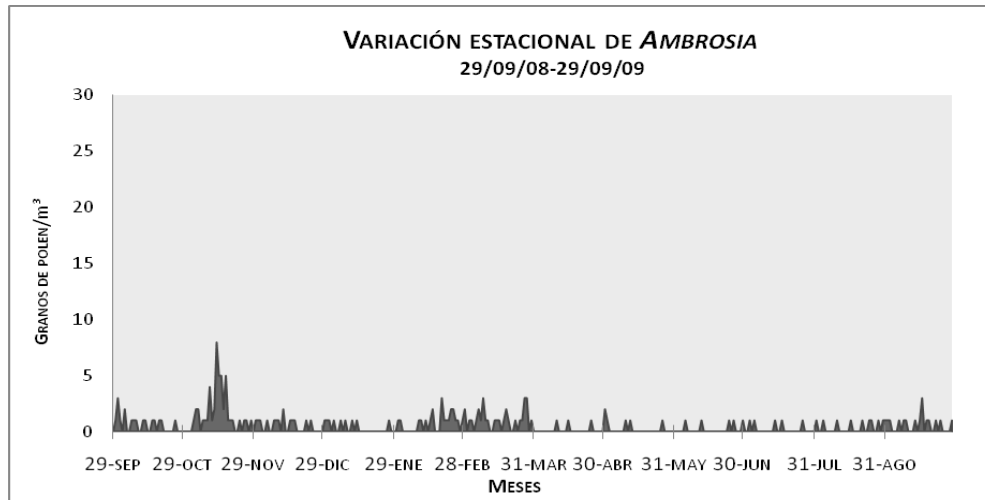


Figura 67. Concentraciones medias diarias del polen de *Ambrosia* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

La incidencia de este tipo polínico en la atmósfera de Chapultepec fue muy poca y se dio de manera esporádica, encontrándose un solo pico máximo en noviembre, aunque la concentración no sobrepasó los 10 gp/m³ de aire como media diaria.

Las diversas especies de *Ambrosia* producen grandes cantidades de polen (TRIGO ET AL., 2008), sin embargo, Spieksma (1989) atribuye a la elevada densidad y la ornamentación de su exina la limitación de su transporte a larga distancia, lo cual podría explicar los bajos niveles aeropolínicos registrados.

A pesar de lo anterior, en personas sensibles, los síntomas de la polinosis pueden llegar a ser severos, por lo que es importante considerar a este taxón en pruebas cutáneas y continuar registrando su comportamiento para establecer a través de los años de estudio, un patrón de distribución polínica estable que permita prevenir a la población afectada.

Conclusiones

Ambrosia se presentó todo el año en la atmósfera de Chapultepec en concentraciones muy bajas. A pesar de utilizar al viento para su polinización, el tipo de ornamentación y densidad de sus granos dificulta su transporte aéreo.

Su nivel de alergenicidad es alto por lo que debe considerarse en los diagnósticos y tratamientos de la polinosis durante todo el año.

5.13.6. Polygonaceae: *Rumex*

Formando parte de la familia Polygonaceae, el género *Rumex* está representado en la vegetación de Chapultepec por dos especies: *Rumex maritimus* y *R. obtusifolius* (lengua de vaca).



Figura 68. Ejemplar de *Rumex obtusifolius* (URL 62) (izquierda) y granos de polen de *Rumex* sp. (40x10 aumentos) (derecha).

Descripción. Son plantas herbáceas, anuales, bienales o perennes, raras veces arbustos, con sistema radical muy desarrollado, con pelos dispersos o lampiñas. 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 (figura 68) (TRIGO ET AL., 2008).

Polinización. Su polinización es anemófila. Requieren de exposición soleada y suelos de fertilidad media y bien drenados (LÓPEZ ET AL., 2000).

Época de floración. La floración de algunas especies es de diciembre a abril (López et al 2000), mientras que otras florecen de marzo hasta agosto (RECIO, 1995).

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 68). 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 μm . Exina tectada de unas 2 μm de grosor y superficie escábrido-reticulada. Intina delgada. Al microscopio óptico se observa el citoplasma con pequeñas vesículas refringentes o granulaciones densamente dispuestas. Polen tri o tetrazonocolporado. Ectoaberturas de tipo colpo, terminales muy estrechos y las endoberturas tipo poro, circulares (BASSET ET AL., 1978; JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Su nivel de alergenidad va de moderado a severo según la especie (URL 54), algunas superando incluso el nivel de polinosis que causan las gramíneas, aunque se considera que esto puede deberse a que la época de floración de ambos tipos polínicos sucede al mismo tiempo (LEWIS ET AL., 1983; TRIGO ET AL., 2008).

Resultados

La estación principal de *Rumex* tuvo una duración de 97 días desde noviembre hasta principios de febrero (figura 69).

El 16 de diciembre se presentó el pico máximo con una concentración de 25 gp/m^3 . En el tiempo restante la incidencia de este taxón fue sumamente baja y muy esporádica. El polen total anual de *Rumex* (302 gp) constituyó el 0.7% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

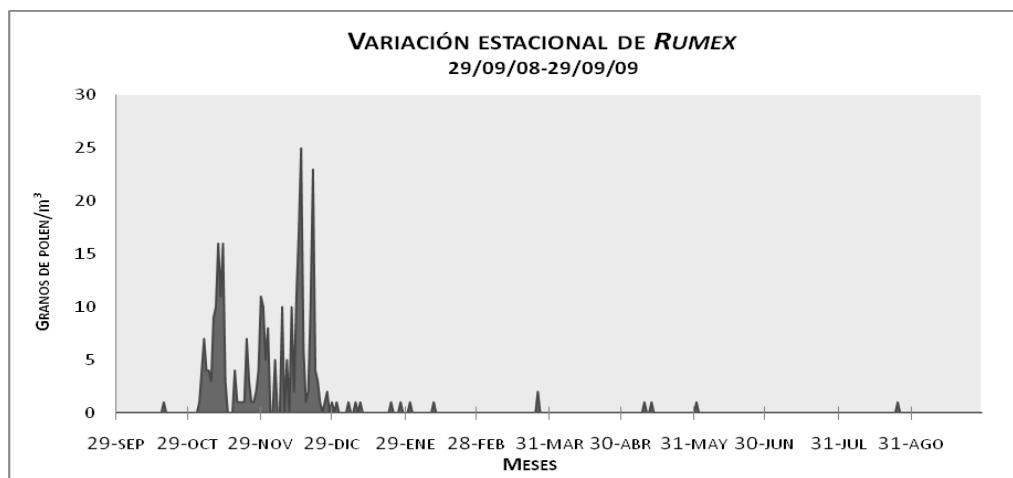


Figura 69. Concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

El polen de este taxón se encontró en la atmósfera fundamentalmente en la época invernal, nunca en concentraciones mayores a 25 gp/m³ de aire como media diaria.

Las concentraciones de *Rumex*, por su carácter herbáceo, están estrechamente relacionadas con el régimen de lluvias previo a la polinización. Esto se traduce en periodos de polinización principal en los que las concentraciones diarias serán muy bajas en los años de sequía y en concentraciones variables (bajas, intermedias y moderadas) en los años con épocas de lluvia previa intensa (GONZÁLEZ ET AL., 1997).

Esta relación entre los niveles aeropolínicos y el factor precipitación tiene una gran importancia para los pacientes sensibles a los granos de polen de *Rumex*, ya que al conocer la intensidad de las precipitaciones previas a la época de floración se pueden predecir los síntomas y prevenirlos.

Conclusiones

Rumex incidió en la atmósfera de Chapultepec principalmente en la época invernal, y la intensidad de su incidencia estuvo determinada por la época de lluvias que le antecede a su floración.

Es un importante causante de polinosis entre la población sensible, por lo que estudiar su comportamiento a detalle, predecir su incidencia en la atmósfera e incluir extractos de las distintas especies que conforman esta familia es de gran importancia en el tratamiento de los trastornos alérgicos.

5.13.7. Amaranthaceae - Chenopodiaceae

Numerosos géneros de ambas familias comparten características botánicas y un tipo polínico similar, por lo que en los estudios aeropalínológicos se les trata conjuntamente.

Dentro de la flora de Chapultepec se encuentran por parte de la familia Chenopodiaceae a la especie *Chenopodium ambrosioides*, y por parte de la familia Amaranthaceae a las especies *Amaranthus hybridus*, *Iresine celosia* e *I. heterophylla* (aunque en éstas dos últimas el polen puede llegar a presentar ciertas variaciones).

Descripción. A la mayor parte de estas especies se les conoce como malezas o “malas hierbas”. Suelen ser herbáceas o arbustivas. Su duración es anual o perenne viviendo 3 años o más. Las plantas de la familia Amaranthaceae suelen tener hojas simples, opuestas o alternas, con márgenes enteros o toscamente dentados y sin estípulas. En la mayoría de los casos pueden ser agrupaciones tanto basales como terminales de hojas. Las flores son solitarias o agrupadas en racimos, espiguillas o panículas, pueden ser unisexuales o hermafroditas. Perianto sepaloideo con 3 a 5 piezas. Los estambres, en números de 1 a 5, se disponen opuestos a los tépalos. Ovario súpero. El fruto suele ser seco, ya sea una nuez o una cápsula circumcisa, raramente una baya. Los ejemplares de la familia Chenopodiaceae son plantas glabras, pubescentes o

harinosas con pelos vesiculares. Las hojas son simples, alternas u opuestas. Las flores son hermafroditas o unisexuales, generalmente con brácteas, solitarias o reunidas en glomérulos densos dispuestos en una inflorescencia espiciforme o paniculiforme. El perianto, ausente o formado por hasta 5 piezas, es normalmente acrescente en el fruto; sus piezas son más o menos connadas. El androceo está formado por 1 a 5 estambres dispuestos de forma opuesta a los segmentos del perianto. El gineceo tiene un ovario súpero, más raramente semiínfero, unilocular, con un primordio solitario y basal. El fruto es normalmente un aquenio, con semillas comprimidas en el plano horizontal o vertical (LÓPEZ ET AL., 2000; ALFAYA Y MARQUÉS, 2002; TRIGO ET AL., 2008).



Figura 70. Ejemplar de *Amaranthus hybridus* a la izquierda y arriba a la derecha ejemplar de *Chenopodium ambrosioides*. Grano de polen (40x10 aumentos).

Distribución. Algunas especies de la familia Amaranthaceae se utilizan ornamentalmente como *Amaranthus caudatus*, otras como alimento (*A. gageticus*) y algunas especies de Chenopodiaceae para reforestar zonas áridas y salinas.

Las especies de la familia Amaranthaceae pueden desarrollarse en gran cantidad de hábitats, ya sean zonas áridas, en ambientes difíciles por hallarse en arenas, caliza, sal o yeso. Otras crecen en bosques tropicales perturbados y muy pocas son marinas (SÁNCHEZ-DEL PINO ET AL., 1999). Requieren de exposición soleada, y algunas especies no toleran el frío (temperaturas por debajo de 10-12 °C). Su distribución es muy amplia, creciendo en suelos salinos y secos, así como nitrificados o halófilos en el caso de Chenopodiaceae (LÓPEZ ET AL., 2000).

Época de floración. La floración corresponde a la época de verano tardía, de junio a octubre (GATUSSO ET AL., 2003).

Polinización: Anemófila (RECIO ET AL., 1998).

Morfología polínica. Apolar y radiosimétrico. Circular en corte óptico, esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano según la especie (10-30 μm). Tectado. Exina de 2 a 3 μm de grosor, pueden tener superficie equinulada, escábrida o rugulada (figura 70). Grano de polen polipantoporado. Aberturas de tipo poro, repartidas por toda la superficie del grano de polen, con membrana apertural granulosa y en ocasiones acompañados de un anillo. El número de microporos repartidos por toda la superficie puede oscilar de 15 a 100, y suelen tener un diámetro de 2 a 3 μm (BASSET ET AL., 1978; JONES ET AL., 1995; RECIO ET AL., 1998; LUDLOW ET AL., 2003).

Alergenicidad. Este tipo polínico es considerado de alergenidad moderada. Se considera que puede provocar síntomas en los pacientes sensibles con concentraciones muy bajas, a partir de 10-15 gp/m^3 (ALFAYA Y MARQUÉS, 2002). Entre las diferentes especies que componen ambas familias existe reactividad cruzada, aunque también se ha registrado la reactividad cruzada que se presenta entre extractos de *Olea europea* y *Chenopodium álbum* (FLORIDO ET AL., 2000).

Resultados

En conjunto, las familia Amaranthaceae y Chenopodiaceae conformaron el 0.64% del IPA de la zona (42,927 gp), con una concentración de polen total anual de 276 gp.

Se observa en la figura 71 que el periodo de polinación fue sumamente extenso, teniendo una duración de 360 días. Los niveles diarios sólo sobrepasaron los 5 gp/m^3 en los meses de septiembre y octubre y el pico máximo se presentó a finales del verano (3 de octubre con 10 gp/m^3).

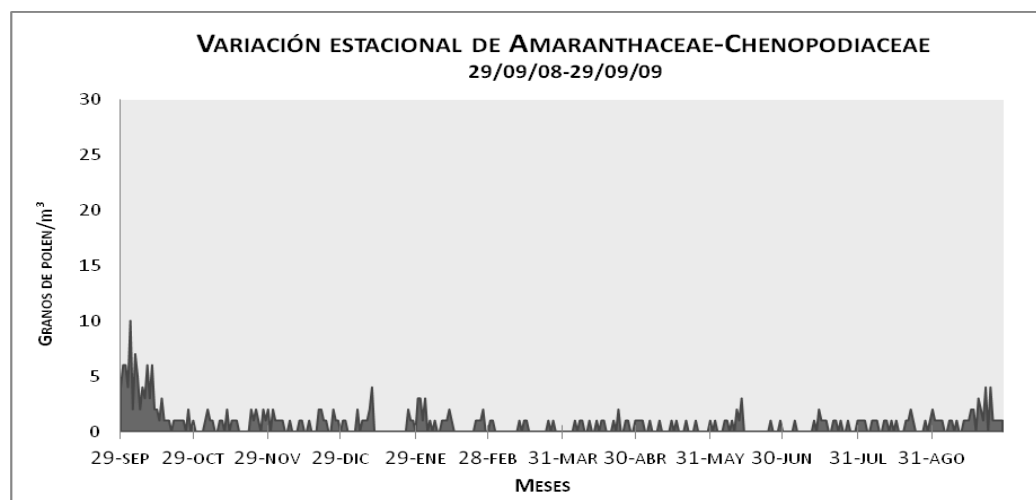


Figura 71. Concentraciones medias diarias del polen de Amaranthaceae - Chenopodiaceae en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

El polen del grupo Amaranthaceae-Chenopodiaceae estuvo presente todo el año en cantidades constantes, sin embargo, fue en el periodo de secas (octubre a mayo) cuando se encontraron los valores más

altos de concentración. Lo anterior coincide con los resultados de Alfaya y Marqués (2002), quienes reportaron aumentos en los niveles aeropolínicos de este tipo polínico en años de mayor sequía. Esta situación es favorecida por la gran resistencia que presenta este tipo polínico a las sequías y suelos salinizados (FEO ET AL., 1998; GONZÁLEZ ET AL., 1997), y aunque en la zona de Chapultepec los niveles aeropolínicos diarios no sobrepasan los 5 gp/m³ diarios, es importante considerar que el clima es un factor cambiante y de presentarse las condiciones más favorables para el crecimiento de este grupo de herbáceas la concentración de polen puede aumentar y convertirse en un problema de salud, tal como lo es para zonas con menor pluviosidad, como son los países desérticos como Kuwait, Israel, o algunas ciudades europeas como Elche y Toledo, España, donde las chenopodiáceas son las principales causantes de polinosis (FEO ET AL., 1998; ALFAYA Y MARQUÉS, 2002).

Al igual que otras malezas y algunas gramíneas, la incidencia de este tipo polínico en la atmósfera puede ser influenciada positivamente por las precipitaciones acumuladas hasta dos meses anteriores a la estación principal, por lo que la época de sequía que sucede a temporadas intensas de lluvias se caracterizará por presentar concentraciones polínicas diarias más altas (RECIO ET AL., 1998).

Aunque los niveles aeropolínicos de estas dos familias no alcanzan nunca valores altos, se sabe que pueden causar síntomas en los pacientes sensibles con concentraciones tan bajas como 10-15 gp/m³ (ROCHA ET AL., 2008). Aunado a esto, la reactividad cruzada que presentan con algunas especies de oleáceas es un punto importante a considerar, puesto que éstas últimas están bien representadas en la zona (*Fraxinus* y *Ligustrum*).

Conclusiones

Las chenopodiáceas se encontraron en la atmósfera durante todo el año, presentando las mayores concentraciones en la temporada de sequía.

La incidencia de este tipo polínico en la atmósfera, está fuertemente determinada por la intensidad de las lluvias previas a la estación principal de polinación.

Sus niveles de concentración polínica no alcanzaron el mínimo diario para causar polinosis a la población de Chapultepec, sin embargo, al presentar reactividad cruzada con las oleáceas, las cuales son numerosas en la zona y causan graves trastornos alérgicos en la población sensible, deben ser consideradas en los diagnósticos y tratamientos de la polinosis.

5.13.8. Salicaceae: *Populus*

Populus es uno de los géneros pertenecientes a la familia Salicaceae, y está constituido por árboles vigorosos de crecimiento rápido y fácil, utilizados en lugares fríos y húmedos ya sea naturalizados, cultivados para producción de madera y como ornamentales en parques, paseos y carreteras (TRIGO ET AL., 2008).

En la zona de Chapultepec se pueden encontrar cuatro especies de álamos: *Populus alba*, *Populus deltoides*, *Populus nigra*, y *Populus X canadensis* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 72. Ejemplar de *Populus deltoides*, hojas, flores y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Es un género de árboles monoicos o dioicos, caducifolios, que pueden alcanzar gran altura (30 m). Copa de irregular redondeada a piramidal, corteza agrietada frecuentemente, aunque en *Populus deltoides* es delgada y lisa. Hojas simples, alternas, largamente pecioladas, deltoideas, subelípticas u ovado-romboidales, a veces lobuladas, con margen entero o serrado, dentado. Las flores nacen en amentos pistilados y estaminados separados, los amentos estaminados son densamente floreados. Los frutos se presentan en racimos formados por cápsulas cónicas sostenidas por pedicelos largos; al abrirse dejan salir poco a poco las semillas pequeñas y provistas de pelos algodonosos en el ápice para trasladarse por medio del viento (figura 72) (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Distribución: *Populus alba* requiere suelos frescos, húmedos, fértiles y soporta bien climas cálidos. *P. nigra* vive en cualquier tipo de terreno, excepto los salinos, requiere humedad de suelo y renovación de agua. Tolera sequedad durante largo tiempo, toleran fríos moderados y fuertes temperaturas (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).

Época de floración. Típicamente invernal (RECIO ET AL., 1996). *P. canadensis* y *P. nigra* florecen de febrero a marzo y diseminan el polen hasta mayo (LÓPEZ ET AL., 2003). *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 (LÓPEZ ET AL., 2003).

Morfología polínica. Apolar y radiosimétrico. Circular en corte óptico. Esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano (entre 22 a 31 μm de diámetro). Exina de 1 a 1.5 μm de grosor. Superficie finamente perforado –

reticulada, con muros más anchos que los lúmenes, apareciendo espínulas de muy pequeño tamaño como elementos supratactales. Intina más gruesa que la exina, apreciándose un espacio entre ambas cuando se observa con el microscopio óptico. Citoplasma granular fino (figura 72). Polen inaperturado (JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Se han producido infinidad de hibridaciones con el fin de mejorar ciertas condiciones de éste género, por lo que la identificación de las especies se ha vuelto difícil (LÓPEZ ET AL., 2003).

Alergenicidad. Michel et al. (1978), Domínguez et al. (1984) y otros autores han citado la alergenidad de *Populus*. Se considera que puede causar síntomas de nivel moderado en personas sensibles (URL 33-35). Existe reactividad cruzada entre *Populus* y *Salix* (LEWIS ET AL., 1983).

Resultados

Durante el periodo estudiado se colectaron 183 gp, los cuales representaron el 0.42% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

Las concentraciones medias diarias de *Populus* no sobrepasaron nunca los 5 gp, el cual es el valor de su pico máximo y el cual se presentó el 27 de diciembre de 2008. Su polen incidió en la atmósfera durante todo el año de manera intermitente, con concentraciones de 1 gp/m³ de aire como media diaria (figura 73).

El periodo principal de polinación comprendió desde el 9 de octubre del 2008 hasta el 16 de septiembre del 2009.

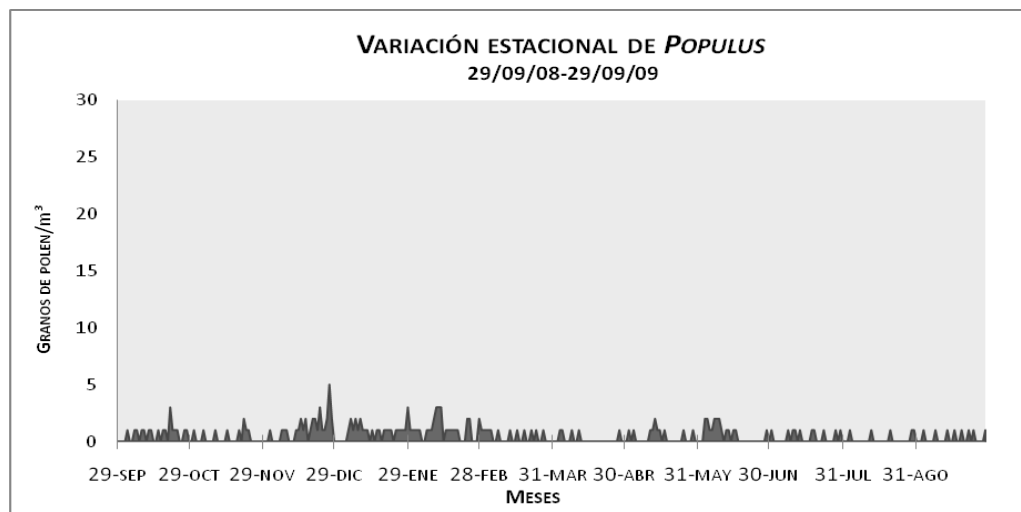


Figura 73. Concentraciones medias diarias del polen de *Populus* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

El PPP de *Populus* tuvo una duración muy prolongada (octubre – septiembre), su incidencia fue constante y siempre en concentraciones menores a 5 gp/m³ de aire, excepto en el día pico (27 de diciembre) cuándo alcanzó ese valor, y cuya fecha correspondió a la época invernal en que se presenta la floración de estas especies, como lo reportó López et al. (2003).

La alergenicidad de este tipo polínico es moderada (URL 33-35), por lo que no se considera que sus granos de polen puedan representar un problema severo de polinosis en la población. Sin embargo, al existir reactividad cruzada con *Salix* (LEWIS ET AL., 1983), otro género de la misma familia, pueden aumentar las posibilidades de que las personas sensibles al tipo de alérgenos que presentan estas plantas reaccionen positivamente en épocas en que ambos taxa están presentes en la atmósfera.

Conclusiones

El polen de *Populus* se encontró en la atmósfera de Chapultepec durante todo el año, presentando sus valores máximos en la época invernal.

La reactividad cruzada que presenta con el polen de *Salix* le confiere un mayor potencial alergénico, aunque su capacidad para causar polinosis es moderada. Por lo tanto, aunque se encuentra en cantidades bajas en la atmósfera, los extractos de *Populus* y *Salix* deben emplearse en las pruebas cutáneas que se realicen en la Ciudad de México.

5.13.9. Rosaceae

La familia Rosaceae está integrada aproximadamente por 125 géneros que incluyen a la mayoría de las especies frutales que se consumen en la actualidad, así como un gran número de especies ornamentales. Su distribución es cosmopolita aunque la mayoría se encuentra en las regiones templadas y subtropicales del hemisferio Norte (LÓPEZ ET AL., 2003).

En la zona de Chapultepec se encuentran registradas las siguientes especies: *Cotoneaster pannosa*, *Crataegus mexicana*, *Eriobotrya japonica*, *Fragaria mexicana*, *Prunus armeniac*, *P. cerasifera*, *P. domestica*, *P. persica*, *P. serotina* spp. *capuli*, *Pyracantha koidzumii* y *Pyrus communis* (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 74. Arriba a la izquierda ejemplar de *Prunus persica*, abajo rosa común. A la derecha granos de polen de *Prunus ceracifera* (40 x 10 aumentos).

Descripción. Se trata de árboles, arbustos o hierbas, que pueden ser monoicos, caducifolios o perennifolios. Las flores que poseen suelen ser sencillas pero con gran producción de polen que atrae a un gran número de insectos, por lo que su polinización es predominantemente entomófila. Presentan inflorescencias y frutos variados, éstos últimos secos o carnosos, generalmente acompañados por el cáliz persistente, en drupa, pomo, folículo, o en un número indefinido de aquenios o drupas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994) (figura 74).

Época de floración. Florecen principalmente desde el inicio de la primavera hasta inicios del verano (LÓPEZ ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008). *Prunus persica* florece de marzo a mayo, *Eriobotrya japonica* florece de agosto a noviembre y *Crataegus mexicana* florece de enero a marzo (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico (figura 74). De subcircular a subtriangular en vista polar y subelíptico o elíptico en vista ecuatorial. De subprolado a prolado. Tamaño mediano, eje polar de 16-40 μm y eje ecuatorial de 19 a 50 μm . Exina de 1.5 a 3 μm de grosor. Superficie que puede ser: estriada, con las estrías dispuestas de forma irregular, independientes o en pequeños grupos (tipo *Crataegus*), débilmente rugulada y perforada (tipo *Rubus*) o estriada, con las estrías dispuestas longitudinalmente como en *Prunus*. Polen trizonocolporado, con ectoaberturas de tipo colpo, terminales, y endoaberturas de tipo poro alargadas. (JONES ET AL., 1995; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. El nivel de alergenidad por inhalación de polen conocido para Rosaceae es bajo, aunque la ingesta de muchos de sus frutos es causante de síntomas alérgicos (LEWIS ET AL., 1983; LÁZARO ET AL., 1999). Los pacientes sensibles reconocen alergenios en las rosáceas, los cuales presentan reactividad cruzada con los granos de polen de *Lolium perenne*, *Artemisia vulgaris* y *Betula verrucosa* (RIVAS, 1994).

Resultados

El polen de este taxón representó 0.17% del IPA (42,927 gp), con 73 granos de polen colectados en el año estudiado.

En la figura 75 puede observarse que su periodo de polinación comprendió del 10 de febrero al 13 de junio, intervalo en que las mayores concentraciones se presentaron en febrero y marzo, observándose el valor más alto el día 28 de febrero con 8 gp/m³. Dentro de este mismo periodo existieron muchos días consecutivos en que la incidencia de Rosaceae en la atmósfera fue nula.

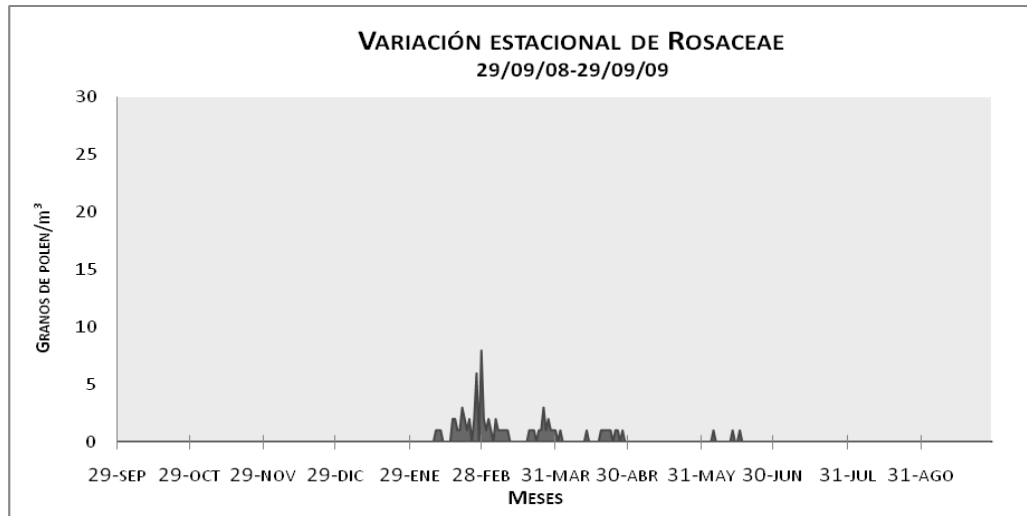


Figura 75. Concentraciones medias diarias del polen de *Rosaceae* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

La incidencia de polen de *Rosaceae* en la atmósfera de Chapultepec fue muy baja y se presentó de manera esporádica, sobre todo en los meses de febrero a junio, pero sin sobrepasar los 10 gp/m³ de aire como media diaria. Esto se debe probablemente a la polinización entomófila que presenta (TRIGO ET AL., 2008), por lo que la dispersión de sus granos de polen través del viento es muy escasa.

Su alergenidad también es considerada como baja (LEWIS ET AL., 1983), por lo que no se considera que pueda ocasionar trastornos alérgicos graves en la población. No obstante, esta familia comprende especies que causan alergia pero a través de la ingesta de sus frutos (LEWIS ET AL., 1983).

Conclusiones

El polen de *Rosaceae* incidió en la atmósfera entre los meses de febrero a junio, con niveles polínicos muy bajos debido a su carácter entomófilo. No se considera que pueda representar un problema de salud importante en la población sensible, dada su baja alergenidad y baja concentración presente en la atmósfera.

5.13.10. Salicaceae: *Salix*

El género *Salix* pertenece a la familia de las salicáceas y comprende alrededor de 300 especies, predominantemente originarias de regiones frías y templadas del hemisferio Norte.

En Chapultepec se pueden observar ejemplares de *Salix bonplandiana*, *S. paradoxa* y *Salix* sp. (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 76. Ejemplar de *Salix* sp., hojas y grano de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Árboles, arbustos o pequeñas matas, monoicos o dioicos, caducifolios. Corteza lisa, agrietada en ejemplares longevos, de color café oscuro a negrozco. Hojas alternas, simples, estrechamente lanceoladas a oblongas, o ampliamente lineares, enteras y aserradas. Las flores poseen 1 o 2 pequeños nectarios en la base y se disponen de forma verticilada o espiralada, las masculinas con 2 estambres; las femeninas con ovario aovado-cónico, sentado o pedicelado, lampiño o peloso. El fruto es una cápsula corta, color amarillento o rojizo claro, semillas numerosas con mucho vello (figura 76) (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2003).

Distribución. Los sauces habitan zonas húmedas (son riparios), crecen rápidamente y tienen facilidad de enraizamiento. Se cultivan como ornamentales, son típicos del paisaje lacustre del surtes de la ciudad; forman una barrera natural contra los vientos, y se les emplea también para alineación de calles y avenidas (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; LÓPEZ ET AL., 2003).

Época de floración. Las distintas especies presentan etapas de floración distintas, aunque casi todas comprendidas en el periodo enero-junio (LÓPEZ ET AL., 2003).

Polinización: Entomófila.

Morfología polínica. Isopolar y radiosimétrico. Circular lobulado en vista polar, con las aberturas dispuestas entre los lóbulos (sinuaperturado), y de elíptico a subcircular en vista ecuatorial. De prolado a oblado-esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano, con un eje polar de 13 a 24 μm de longitud y eje ecuatorial de 16 a 28 μm . Exina semitectada, de 1 a 2 μm de grosor. Superficie reticulada, con lúmenes de

distinto tamaño que disminuyen hasta casi desaparecer en los bordes de las aberturas, formando un margo (figura 76). Grano de polen trizonocolporado, a veces trizonocolpado (BASSET ET AL., 1978; JONES ET AL., 1995; LUDLOW ET AL., 2003; TRIGO ET AL., 2008).

Alergenicidad. Al igual que *Populus*, la identificación de este taxón es problemática debido a la facilidad con que se hibridan las especies. Presentan reactividad cruzada debido a probables alérgenos compartidos por ambos géneros, así como con fagales. Su alergenidad es severa (LEWIS ET AL; URL 38).

Resultados

El polen de este taxón representó 0.11% del IPA de Chapultepec (42,927 gp), sumando un total de 48 granos de polen colectados.

La etapa de floración resultó bastante extensa pero en realidad su representación en la atmósfera fue esporádica y las concentraciones fueron muy bajas (figura 77). Su periodo principal comprendió del 9 de noviembre al 27 de septiembre y el pico máximo se presentó el 4 de julio con 6 gp/m³.

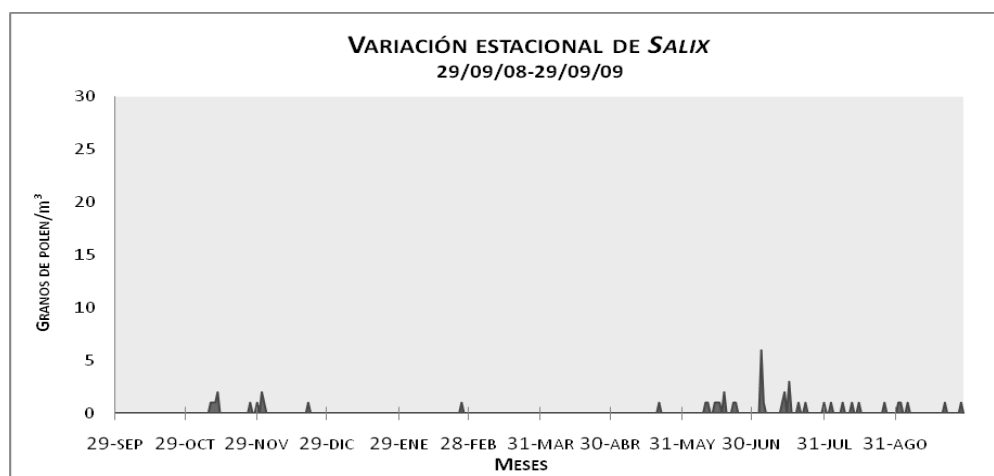


Figura 77. Concentraciones medias diarias del polen de *Salix* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión

Aunque se realizó un estimado de PPP, es difícil determinar una estación principal, debido a las bajas concentraciones y a lo espaciada que se presentó su incidencia en la atmósfera de Chapultepec.

Las bajas concentraciones se deben probablemente a que estos granos de polen son ricos en sustancias grasas y tienden a mantenerse unidos debido al tipo de polinización (entomófila) que presenta este taxón (RECIO, 1995).

A pesar de que los síntomas que se presentan en personas sensibles llegan a ser severos (LEWIS ET AL; URL 38), los niveles aeropolínicos que se registraron para la atmósfera de Chapultepec fueron tan bajos

(menores a 10 gp/m³) que no se considera que éste género represente un problema de salud para la población. No obstante, considerando la reactividad cruzada que existe con *Populus* ambos géneros deben ser considerados en diagnósticos y tratamientos realizados en pacientes alérgicos, sobre todo en épocas en que las floraciones de ambos se traslapan, aumentando la posibilidad de ocasionar polinosis.

Conclusiones

El carácter entomófilo de *Salix* ocasiona que se encuentren muy pocos granos de polen en el aire, por lo que no se pueden establecer patrones de polinación estables.

Debido a la baja frecuencia de este taxón en la atmósfera, no se cree que pueda ser causante de polinosis grave en la población, sin embargo, se debe tener en cuenta en las pruebas cutáneas debido a la reactividad cruzada que presenta con *Populus*.

5.13.11. Rutaceae: *Citrus*

Género procedente de Asia y que pertenece a la familia Rutaceae. Contiene cerca de 60 especies, cultivadas frecuentemente tanto por sus frutos, obtención de esencias y de manera ornamental (TRIGO ET AL., 2008).

Se encuentra representado en Chapultepec por tres especies: *Citrus limon*, *C. sinensis* y *Citrus* sp. (INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).



Figura 78. *Citrus limon*, hoja, flor, fruto y granos de polen (40 x 10 aumentos).

Descripción. Son árboles generalmente monoicos y perennifolios, de altura media, tronco retorcido, copa esférica y corteza café, grisácea o verdosa. Las ramas suelen ser espinosas, las hojas simples, alternas, pecioladas. Flores actinomorfas, hermafroditas, blancas, olorosas y dispuestas en cimas terminales. Corola con pétalos libres y androcéo con estambres soldados por la base. Ginecéo con 5 o más carpelos y ovario súpero rematado por un estilo con estigma capitado. Fruto tipo hesperidio (figura 78) (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994; TRIGO ET AL., 2008).

Descripción. Se les utiliza poco como árboles ornamentales, se aprecia más sus frutos comestibles. Dentro de la ciudad se les encuentra en los parques antiguos y en casas particulares (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Época de floración. La floración es escalonada, iniciando en marzo y prolongándose en ocasiones hasta mayo de acuerdo a las variaciones climáticas (TRIGO ET AL., 2008). *Citrus limon* florece entre abril y mayo (MARTÍNEZ Y CHACALO, 1994).

Polinización. Entomófila

Morfología polínica. Grano de polen isopolar, con simetría radial; circular-elíptico en vista ecuatorial; cuadrangular o circular-lobulado en vista polar (figura 78). De oblado-esferoidal a subprolado. Tamaño de pequeño a mediano, eje polar entre 23 y 27 μm y eje ecuatorial entre 17 y 32 μm . Exina de 1.5 a 2 μm de grosor, y de 2-3 μm en la mesocolpia, con sexina y nexina del mismo grosor salvo en la zona ecuatorial donde la nexina es más gruesa al formar costillas y vestíbulo. Superficie reticulada o foveolada. Los granos de polen de éste género son 4-5 zonocolporados, con ectoaberturas de tipo colpo, terminales. Endoaberturas tipo poro, lalongadas y situadas en la zona ecuatorial (JONES ET AL., 1995; ANDRÉS ET AL., 2001).

Alergenicidad. Su alergenidad es de bajo potencial, siendo raros los casos en los que provoca polinosis y frecuentemente ocurre en personas que trabajan en cultivos de alguna o varias especies de *Citrus* o aquellas que viven en las inmediaciones (LEWIS ET AL., 1983).

Resultados:

En el periodo de estudio se colectaron 46 granos de polen de *Citrus*, los cuales representan 0.1% del IPA de Chapultepec (42,927 gp).

El periodo principal de polinación de *Citrus* comprendió del 4 de octubre del 2008 al 16 de julio del 2009. Los días 30 de noviembre y el 2 de diciembre presentaron el valor máximo de concentración con 4 gp/m³ de aire cada uno (figura 79). La presencia de este taxón en la atmósfera fue muy esporádica y durante largos periodos de tiempo estuvo ausente, siendo los meses de mayo a octubre los que acumularon las menores cantidades de éste tipo polínico durante el año.

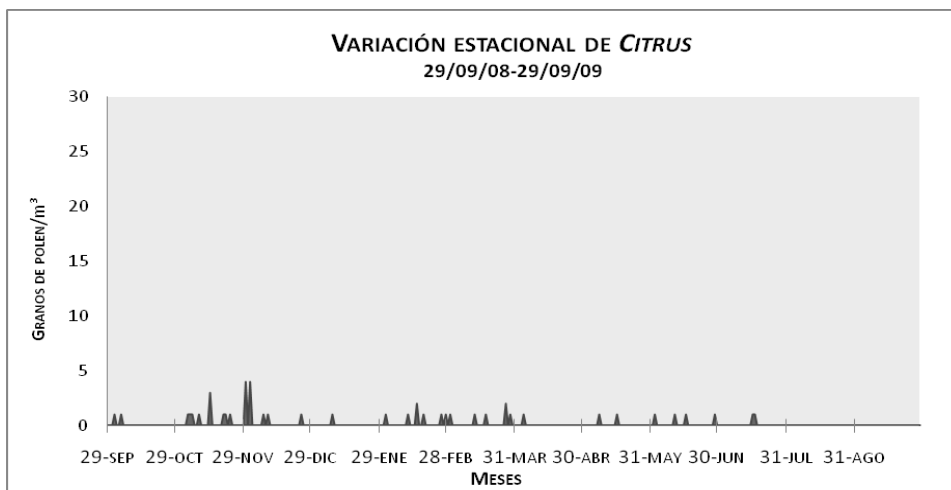


Figura 79. Concentraciones medias diarias del polen de *Citrus* en la atmósfera de Chapultepec.

Discusión:

Se encontró polen de *Citrus* en la atmósfera de Chapultepec de manera esporádica desde octubre hasta julio, presentando las concentraciones máximas en noviembre y diciembre con 4 gp/m³ de aire como pico en ambos meses.

El tipo de polinización que presenta este taxón es entomófila, lo que explica porqué los niveles aeropolínicos se mantienen tan bajos durante todo el año, aún en épocas en que las plantas se encuentran en floración y liberan grandes cantidades de polen.

Los problemas de polinosis que pueden surgir por la presencia de este tipo polínico en la atmósfera son mínimos, y dada la baja alergenicidad de éste taxón no se cree que pueda representar un problema de salud salvo en las personas que trabajan en lugares donde *Citrus* se cultiva masivamente o aquellas que viven cerca de dichos sitios.

Conclusiones:

La concentración de polen atmosférico de *Citrus* fue tan baja que no pudo establecerse una estación principal.

El polen de este género no es un posible causante de polinosis en la población de Chapultepec, debido a su baja concentración en la atmósfera.

5.14. Tipos polínicos de menor concentración en la atmósfera de Chapultepec

Adicionalmente a los taxa mencionados con anterioridad, se observó la presencia de otros tipos polínicos que fueron clasificados como de menor relevancia, debido a la falta de elementos para establecer una etapa de floración o porque además de esto, están ausentes en la flora local y su presencia en la atmósfera es sumamente baja.

En la tabla 14 se muestran los valores máximos de concentración para cada tipo, así como el día pico y el mes con la concentración total mayor del año en que se registraron. De igual forma, se muestra el tipo de polinización característica de cada tipo polínico, la cual resultó ser anemófila en 13 taxa (*Acer*, *Buddleia*, *Carpinus*, *Carya*, *Corylus*, *Fagus*, *Ginkgo biloba*, *Juglans*, *Platanus*, *Ricinus*, *Artemisia*, *Cannabis*, *Mercurialis* y *Plantago*), entomófila en 7 (*Acacia*, *Liquidambar*, *Tamarix*, *Tilia*, *Solanaceae*, *Daphne* y *Echium*) y finalmente anfífila en 3 tipos polínicos que poseen ambos tipos de polinización (*Olea*, *Palmae* y *Ephedra*).

Dentro de los cinco tipos polínicos más abundantes de esta categoría, *Echium* obtuvo el total anual más alto, con 97 gp anuales, seguido por *Corylus* (86 gp), *Artemisia* (82 gp), *Ginkgo biloba* (71 gp) y *Ricinus* (60 gp).

Respecto a los taxa menos abundantes en la atmósfera de Chapultepec, cuya presencia no sobrepasó los 5 gp, es importante señalar que de siete taxa tres ocupan a los insectos como polinizador: *Solanaceae* (5 gp), *Acer* (4 gp) y *Daphne* (3 gp).

TAXÓN	FAMILIA	DÍA PICO	G.P/M ³	MES PICO	G.P/M ³	TOTAL ANUAL	% IPA	POLINIZACIÓN
ÁRBOLES								
<i>Acacia</i> *	Fabaceae	Varios	1	Mar	4	11	0.026%	Entomófila
<i>Acer</i> *	Aceraceae	Varios	1	Oct/May/Jun	1	4	0.009%	Anemófila
<i>Buddleia</i> *	Loganiaceae	20-sep	2	Mar	5	30	0.070%	Anemófila
<i>Carpinus</i>	Betulaceae	3 oct y 14 nov	1	Oct/Nov	1	2	0.005%	Anemófila
<i>Carya</i>	Juglandaceae	15-nov	3	Nov	12	21	0.049%	Anemófila
<i>Corylus</i>	Betulaceae	17-feb	12	Mar	51	86	0.200%	Anemófila
<i>Fagus</i>	Fagaceae	24 y 27 ago	3	Ago	12	33	0.077%	Anemófila
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgoaceae	02-oct	8	Nov	24	71	0.165%	Anemófila
<i>Juglans</i>	Juglandaceae	Varios	1	Dic	2	5	0.012%	Anemófila
<i>Liquidambar</i> *	Hammamelidaceae	01-mar	2	Feb	8	29	0.068%	Entomófila
<i>Olea</i>	Fagaceae	31-ene	5	Ene	15	37	0.086%	Anfífila
<i>Palmae</i> *	Palmae	Varios	1	Jun	3	8	0.019%	Anfífila
<i>Platanus</i> *	Platanaceae	05-dic	2	Dic	4	5	0.012%	Anemófila
<i>Ricinus</i>	Euphorbiaceae	23-dic	4	Nov	15	60	0.140%	Anemófila
<i>Tamarix</i>	Tamaricaceae	Varios	1	Jun	7	18	0.042%	Entomófila
<i>Tilia</i>	Malvaceae	Varios	1	Mar	9	19	0.044%	Entomófila
MALEZAS								
Solanaceae*	Solanaceae	Varios	1	Abr	2	5	0.012%	Entomófila
<i>Artemisia</i>	Asteraceae	01-oct	15	Oct	22	82	0.191%	Anemófila
<i>Cannabis</i>	Cannabaceae	19 y 25 oct	1	Oct	2	3	0.007%	Anemófila
<i>Daphne</i>	Thymelaeaceae	6 y 14 oct	1	Oct	2	3	0.007%	Entomófila
<i>Echium</i>	Boraginaceae	15-dic	6	Dic	39	97	0.226%	Entomófila
<i>Ephedra</i>	Ephedraceae	13-nov	2	Nov	10	18	0.042%	Anfífila
<i>Mercurialis</i>	Euphorbiaceae	Varios	1	Dic/Feb	4	13	0.030%	Anemófila
<i>Plantago</i>	Plantaginaceae	13 Oct/26 Dic/8 Mar/	2	Nov/Mar	14	71	0.165%	Anemófila

*Tipos polínicos presentes en la flora de Chapultepec.

Tabla 14. Niveles aeropolínicos y tipo de polinización (LEWIS, 1986; TRIGO ET AL., 2008) de los tipos polínicos de baja concentración en la atmósfera o ausencia en la flora representativa de Chapultepec.

Discusión de la sección de los tipos polínicos de menor concentración

Los 24 tipos polínicos contemplados en este apartado se presentaron en la atmósfera de manera esporádica y en cantidades muy bajas que nunca superaron los 15 gp/m³ de media diaria de concentración. La mayor parte de ellos ocupan al viento como polinizador principal, algunos requieren de insectos y una minoría presenta ambos tipos de polinización.

Respecto a los taxa que presentaron los valores totales más altos, (*Echium*, *Corylus*, *Artemisia*, *Plantago*, *Ginkgo biloba*, *Ricinus* y *Olea*), *Echium* fue el más abundante (97 gp anuales) pese a su carácter de entomófilo. Esto puede deberse a que sus granos de polen son de tamaño pequeño, y a que algunas especies como *Echium plantagineum* poseen estambres exertos que producen cierto grado de anemofilia (TRIGO ET AL., 2008). Los seis tipos polínicos restantes (*Corylus*, *Artemisia*, *Plantago*, *Ginkgo biloba*, *Ricinus* y *Olea*) que presentaron las concentraciones anuales más altas son de polinización anemófila, lo cual explica su presencia en la atmósfera debido a que las plantas que presentan esta característica suelen producir mayor cantidad de polen y éste tiende a ser más pequeño facilitándose su transporte aéreo.

Cabe destacar que ninguno de los taxa mencionados está representado en la flora local, lo cual indica que probablemente se trata de especies foráneas que llegan a través de los vientos provenientes de otras zonas de la Ciudad de México.

En cuanto a los siete tipos polínicos menos abundantes en la atmósfera de Chapultepec, *Acacia*, *Acer*, *Liquidambar*, *Palmae*, *Platanus* y *Solanaceae* forman parte de la vegetación local, sin embargo, a excepción de *Acer* y *Platanus*, estos taxa comprenden plantas cuya polinización es entomófila o en todo caso anfífila, lo cual dificultó encontrar grandes cantidades de su polen en el aire (su incidencia no sobrepasó los 5 gp).

Para gran parte de los tipos polínicos que se trataron en este apartado fue imposible determinar un periodo de polinación, no solo por la cantidad tan baja de polen que se encontró en el aire, sino porque presentaron los mismos valores máximos en distintas épocas del año (en la mayoría de los casos dicho pico fue 1 grano de polen), de modo que no se puede considerar que tengan un pico máximo de concentración en ningún momento del año.

En este sentido, 8 tipos polínicos presentaron más de tres días con el mismo valor máximo de concentración (1 gp). En casos como el de *Acacia*, los tres días con los valores más altos ocurrieron en el mes de marzo, mientras que otros géneros se comportaron como *Acer*, el cual presentó tres picos iguales en los meses de octubre, mayo y junio. Este último comportamiento impidió establecer una época de floración precisa y dificultó la tarea de analizar los factores que podrían estar determinando su incidencia en la atmósfera

En cuanto a la época del año en que los distintos taxa incidieron en la atmósfera con sus valores máximos, 15 de los 24 tipos polínicos (11 tipos de árboles y 7 tipos de malezas) presentaron sus mayores concentraciones en los meses de marzo, octubre, noviembre y diciembre. Estos meses estuvieron asociados a vientos provenientes del NE y NO, por lo que posiblemente son estas frecuencias de viento las que aportaron a la atmósfera de Chapultepec la mayor cantidad de granos de polen de taxa que no forman parte de la vegetación de la zona.

Finalmente, cabe destacar que aunque la mayor parte de estos tipos polínicos presentaron concentraciones muy bajas en la atmósfera y su nivel de alergenicidad es moderada, algunos de ellos como *Artemisia*, cuya alergenicidad es conocida como severa y puede llegar a ser un causante importante de polinosis si se reciben vientos procedentes de algún sitio con vegetación de este tipo. Tan solo 4 o 5 gp/m³ pueden causar polinosis severas en pacientes sensibles a esta planta (WAISEL ET AL., 2003).

Para el año de muestreo, el mes que presentó mayores concentraciones de polen perteneciente a este taxón fue octubre, periodo en el que los vientos predominantes vinieron del NE y NO. Al no formar *Artemisia* parte de la flora local de Chapultepec, es de suponer que dicho polen procede de la zona norte de la ciudad.

Al igual que *Artemisia*, el polen del género *Carya* está considerado como de alta alergenicidad (URL 8), y su umbral de activación de síntomas es de 10-20 gp/m³, por lo que hay que considerar que aunque no está representado en la flora de la zona, se le encontró en la atmósfera, y fueron los vientos del NE Y NO los que predominaron en el periodo de tiempo en que se colectaron los granos de polen de este taxón. En este y otros casos de taxa con comportamiento similar, hay que tomar en cuenta que los niveles aeropolínicos pueden variar año tras año, tanto por la frecuencia de viento que los transporta hasta la zona de estudio, como por los factores meteorológicos que influyen sobre las concentraciones de polen atmosférico.

Es importante monitorear las fluctuaciones en las concentraciones de los taxa contemplados en este apartado, así como las condiciones ambientales que afectan las posibles fuentes productoras de polen de donde podrían provenir los granos de polen registrados en Chapultepec.

Conclusiones de la sección de los tipos polínicos de menor incidencia

En la atmósfera de Chapultepec incidieron esporádicamente granos de polen de diferentes especies, cuya concentración media diaria no superó los 15 gp/m³.

Los taxa que presentaron los valores anuales más altos fueron *Echium*, *Corylus*, *Artemisia*, *Plantago*, *Ginkgo biloba*., *Ricinus* y *Olea*), siendo *Echium* el más abundante (97 gp anuales) pese a su carácter de entomófilo. Esto puede deberse a que sus granos de polen son de tamaño pequeño, y a que algunas especies como *Echium plantagineum* L. poseen estambres exertos que producen cierto grado de anemofilia.

La polinización entomófila caracteriza a muchos de los taxa que se encontraron en bajas concentraciones.

Tan solo una pequeña parte de estos tipos polínicos se encuentran dentro de la flora local, por lo que se asume que el resto pudo ser transportado por el viento desde otro sitio hasta el captador de Chapultepec.

Los niveles aeropolínicos más altos de dichos taxa se registraron en los meses de marzo, octubre, noviembre y diciembre, en los cuales las frecuencias de viento predominante fueron las del noreste y noroeste de la ciudad.

6. DISCUSIÓN GENERAL

6.1. Variación estacional

Durante el año de estudio (2008-2009) se obtuvo un IPA de 42,927 granos de polen en la atmósfera de Chapultepec, los cuales se distribuyeron heterogéneamente como se muestra en la figura 80, en la cual puede observarse que los meses con los niveles de concentración más altos en orden de abundancia fueron enero, febrero y diciembre, los cuales en conjunto representaron el 72% del total anual.

Este periodo invernal con altas cantidades de polen atmosférico fue sucedido por un descenso a través de la primavera y el verano (de marzo a septiembre), hasta llegar a los niveles más bajos al iniciar el otoño, cuando se presentaron las precipitaciones más intensas (septiembre 2009).

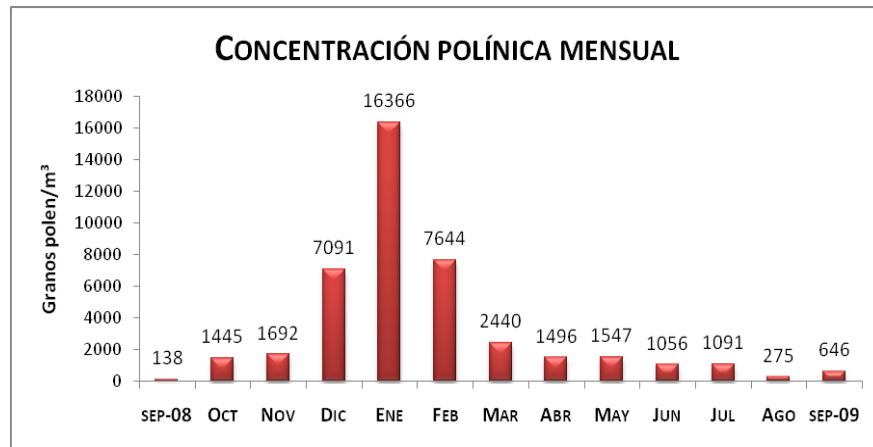


Figura 80. Variación estacional de polen total anual colectado en la atmósfera de Chapultepec en el periodo 29/09/08-29/09/09.

La mayor cantidad de polen colectado provino del estrato arbóreo, con un 90% del total anual (figura 81). Los taxa que mas granos de polen aportaron a la atmósfera de Chapultepec presentan polinización anemófila, y en orden de abundancia fueron: *Fraxinus*, *Cupressaceae*, *Alnus*, *Pinus*, *Casuarina*, *Myrtaceae*, *Quercus* y *Ulmus*. Este resultado coincide con lo reportado por Osorio- Quiroz (2009) y por Velázquez- Sánchez (1995) en la ciudad de Oaxaca, así como con los resultados de Salazar Coria (1995) para el sur de la Ciudad de México.

Los pastos y las malezas aportaron cada uno el 5% del total anual, existiendo una diferencia muy pequeña a favor de la concentración polínica de las poáceas.

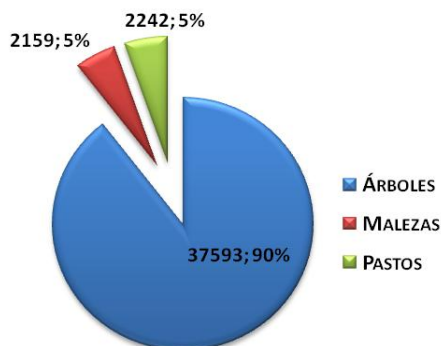


Figura 81. Porcentaje de concentración total anual por tipo polínico (árboles, malezas y pastos).

En la figura 82 se muestra la variación estacional anual por cada estrato vegetal, con el objetivo de señalar mediante la comparación de estas gráficas y la presentada anteriormente para el total anual de Chapultepec (figura 26), cómo es que la estacionalidad del estrato arbóreo es la que determina más la estacionalidad anual del polen colectado en la atmósfera de Chapultepec.

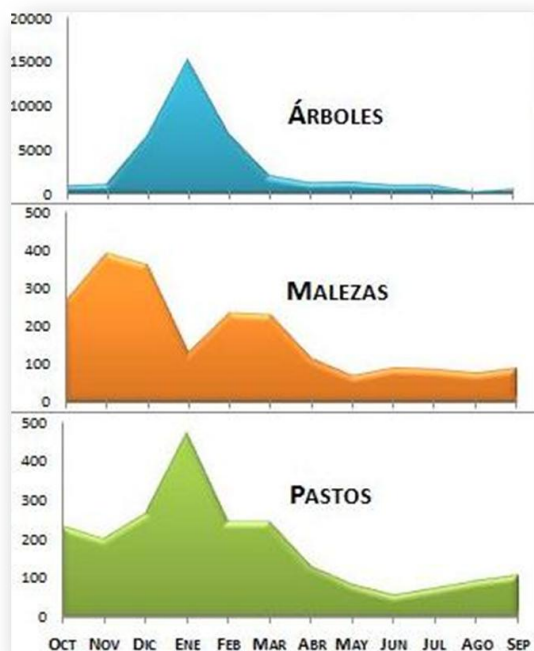


Figura 82. Concentraciones mensuales de granos de polen de árboles, malezas y pastos en la atmósfera de Chapultepec.

En la tabla 15 se presentan las concentraciones mensuales que se registraron para cada tipo polínico, así como el total mensual que correspondió a los árboles, malezas y pastos en conjunto.

T. polínico	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ÁRBOLES	55	876	1016	6505	15205	6804	2043	1218	1300	940	974	161	496	37593
<i>Acacia</i>	0	0	0	0	0	2	4	3	1	0	1	0	0	11
<i>Acer</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	4
<i>Alnus</i>	1	9	122	911	1188	455	107	54	37	28	10	1	0	2923
<i>Buddleia</i>	0	3	0	2	3	1	5	4	1	3	1	2	4	29
<i>Carpinus</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Carya tipo</i>	0	1	12	1	0	0	3	2	0	2	0	0	0	21
<i>Casuarina</i>	4	64	63	27	33	49	27	16	16	539	167	11	37	1053
<i>Citrus</i>	0	2	14	7	1	7	6	1	2	4	2	0	0	46
<i>Corylus</i>	0	0	0	0	1	22	51	3	2	4	2	1	0	86
Cupressaceae	21	408	445	1174	5238	2575	380	187	839	59	101	34	338	11799
<i>Fagus</i>	1	0	6	4	2	1	0	0	0	1	6	12	0	33
<i>Fraxinus</i>	1	30	93	3898	8276	3114	163	61	21	36	534	9	23	16259
<i>Ginkgo biloba</i>	0	13	24	3	4	7	13	1	4	0	1	0	1	71
<i>Juglans</i>	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	5
<i>Ligustrum</i>	16	187	43	31	8	11	15	7	23	32	11	5	12	401
<i>Liquidambar</i>	0	3	3	2	0	8	3	1	2	1	1	5	0	29
<i>Morus</i>	1	61	19	5	13	37	120	30	32	32	18	13	14	395
Myrtaceae	4	38	41	43	93	184	205	189	102	43	34	21	11	1008

T. polínico	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
<i>Olea</i>	0	0	0	4	15	13	2	2	0	0	1	0	0	37
<i>Palmae</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	1	1	0	8
<i>Pinus</i>	0	4	9	6	19	74	560	423	101	20	12	7	6	1241
<i>Platanus</i>	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Populus</i>	0	19	8	31	29	29	12	5	11	18	10	5	8	185
<i>Quercus</i>	0	0	0	3	33	115	316	188	58	44	16	11	1	785
<i>Ricinus</i>	4	5	15	7	3	7	2	0	1	0	4	7	5	60
<i>Salix</i>	0	0	7	4	0	1	0	0	1	9	16	5	5	48
<i>Schinus</i>	1	17	34	64	35	25	34	39	36	51	12	9	28	385
<i>Tamarix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	5	2	1	18
<i>Tilia</i>	0	0	0	0	3	2	9	2	1	2	0	0	0	19
<i>Ulmus</i>	1	10	56	272	207	64	4	0	4	1	6	0	2	627
MALEZAS	34	263	389	358	130	233	228	114	69	90	86	76	89	2159
<i>Ambrosia</i>	1	16	48	15	8	20	30	3	6	5	5	10	15	182
<i>Artemisia</i>	0	22	8	1	5	0	9	5	6	6	5	5	10	82
<i>Cannabis</i> tipo	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Cheno- Amar	10	77	23	22	21	17	7	13	10	12	12	19	33	276
Asteraceae	14	105	69	45	21	16	17	8	4	6	16	20	10	351
<i>Daphne</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
<i>Echium</i>	8	12	39	19	6	2	2	4	1	0	2	2	0	97
<i>Ephedra</i>	0	0	10	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	18
<i>Mercurialis</i>	0	0	3	4	0	4	1	0	1	0	0	0	0	13
<i>Plantago</i>	0	9	14	9	2	9	14	6	0	2	2	1	3	71
Rosaceae	0	0	0	0	0	33	27	10	0	3	0	0	0	73
<i>Rumex</i>	0	1	135	153	6	1	2	0	2	1	0	1	0	302
Solanaceae	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	5
Urticaceae	1	17	40	88	57	127	118	63	39	55	43	18	17	683
PASTOS	38	233	200	264	471	244	244	130	84	57	75	94	108	2242
Poaceae	38	233	200	264	471	244	244	130	84	57	75	94	108	2242

Tabla 15. Concentración mensual y total de todos los tipos polínicos identificados en la atmósfera de Chapultepec.

Los árboles y pastos presentaron su pico máximo en enero, mientras que las malezas lo presentaron en noviembre. Los tipos polínicos menos abundantes en la atmósfera correspondieron en general a taxa cuya polinización es entomófila (OSORIO Y QUIROZ, 2009) como los géneros *Myrtus*, *Liquidambar*, *Ligustrum*, *Schinus*, *Salix*, *Citrus* y las familias Asteraceae y Rosaceae.

Septiembre del 2008 fue un mes cuya concentración de granos de polen en el aire aparentó ser baja, pero hay que tomar en cuenta que fue el inicio del muestreo y que sólo se tiene registro de 2 días, por lo que compararlo con otros meses del año resulta poco objetivo. Septiembre del 2009 es un mejor ejemplo para hablar sobre el espectro polínico de ese mes, ya que se tienen 29 días registrados. En ese periodo las concentraciones de polen fueron muy bajas (646 gp), no se presentaron picos de concentración de ningún tipo polínico y además, fue el mes con mayor precipitación del año, por lo que gran parte del polen que se haya liberado o se encontrara suspendido en la atmósfera fue probablemente depositado por la lluvia. Los únicos tipos polínicos claramente representados en ese mes fueron las familias Poaceae y Urticaceae, ambas con una floración usualmente favorecida por periodos previos de precipitación intensa (GUIDOS Y ALMEIDA., 2005).

En octubre se presentaron los picos máximos de 5 malezas diferentes (Amaranthaceae-Chenopodiaceae, Asteraceae, *Artemisia*, *Cannabis* y *Daphne*). En cuanto a los árboles, *Ligustrum* se encontró en su nivel más alto de concentración atmosférica.

Algo similar sucedió en noviembre, cuando se presentó el pico máximo de árboles como *Citrus*, *Ginkgo biloba* y *Ricinus*, así como el pico de *Ambrosia*, *Echium* y *Ephedra* por parte de las malezas.

La concentración de polen atmosférico de diciembre estuvo determinada principalmente por los árboles, ya que *Juglans*, *Platanus*, *Populus*, *Schinus* y *Ulmus* se encontraron en su nivel más alto. Además, es en ese periodo que *Fraxinus* y Cupressaceae, los dos tipos polínicos más abundantes de la atmósfera de Chapultepec, aumentaron drásticamente en su concentración hasta alcanzar sus valores máximos en enero, periodo que se caracterizó por presentar los niveles de polen atmosférico más altos de todo el año, acumulando el 38% del IPA de Chapultepec.

La floración de otros árboles como *Alnus* y *Olea* también contribuyeron al elevado nivel aeropolínico que se presentó en enero. Los pastos también presentaron su pico máximo en ese periodo aportando 3% del polen total mensual colectado.

En febrero, los árboles cuya floración inició en enero permanecieron en niveles aeropolínicos muy altos y se sumó a éstos la floración de *Liquidambar*, aunque su concentración máxima no representó un gran aporte a la atmósfera. La floración de malezas como *Mercurialis*, Rosaceae y Urticaceae también sucedió en este periodo.

Para marzo, la cantidad de granos de polen liberados por *Fraxinus*, Cupressaceae y *Alnus* disminuyó, y aunque en ese mismo periodo florecieron gran cantidad de árboles de *Acacia*, *Buddleia*, *Corylus*, *Morus*, Myrtaceae, *Pinus*, *Quercus* y *Tilia*, además de *Plantago* en el caso de las malezas, se observó una disminución abrupta en la concentración total mensual de los árboles (figura 81).

Abril y mayo presentaron polen principalmente de *Quercus*, Urticaceae, Myrtaceae, *Pinus* y de poáceas.

En junio la concentración polínica de casi todos los taxa permaneció en niveles bajos, y el único registrado en altas cantidades fue *Casuarina*, cuyo pico máximo se presentó en ese periodo y su nivel aeropolínico permaneció alto hasta finales de julio.

Agosto fue el periodo en que se registraron las concentraciones más bajas del año, siendo Cupressaceae, Myrtaceae, Poaceae y Asteraceae los tipos polínicos predominantes en la atmósfera.

La variación en el espectro polínico que se registró en este estudio fue similar a la obtenida por Rocha et al. (2008), quien también registró las concentraciones máximas en el periodo invernal para Monterrey, Nuevo León. De igual forma presenta similitudes con los resultados obtenidos por Salazar Coria (1995) en el sur de la ciudad de México, y por Cid (2007) para dos zonas de la misma urbe, sin embargo, en éste último caso no es posible realizar una comparación total, debido a que su estudio abarcó 6 meses, no tomando en cuenta la mitad del ciclo anual.

Es importante mencionar que aunque se obtuvieron periodos largos de polinación en gran número de los grupos polínicos analizados a detalle, no significa en todos los casos que las plantas estén en floración permanente todo el año. En realidad, son pocas las especies que florecen durante todo el ciclo anual en la ciudad, sin embargo, dentro de ella pueden tener lugar micro hábitats que permitan una floración desfasada

por condiciones climáticas variables (comunicación personal Leonor Quiroz, 2011). Es necesario considerar que los estudios aerobiológicos deben basarse siempre en un buen estudio de la flora local y sus alrededores (GONZÁLEZ ET AL., 1998), de modo que con ayuda de los datos meteorológicos se tenga un mejor entendimiento de los procesos de transporte y dispersión que influyen sobre la incidencia de determinado polen en la atmósfera.

El presente estudio forma parte de un proyecto que pretende hacer permanente y continuo el muestreo atmosférico del polen, tanto en esta zona como en distintas áreas del Distrito Federal, de forma que se obtengan registros diarios y horarios de cada año, hasta poder elaborar calendarios polínicos (5 años mínimo para crear estos posibles escenarios) y crear modelos de predicción precisos que tomen en cuenta aquellos factores que intervienen en el complejo proceso de emisión, difusión y transporte en el aire y deposición del polen. Es indispensable trabajar en conjunto con distintos sectores a los cuales el estudio aerobiológico puede aportar información valiosa, como es el caso del ámbito de la salud, en el cual el nuevo conocimiento generado a partir del análisis de la actividad y potencial alergénico de los diferentes tipos polínicos, proporciona una información de calidad y con gran utilidad para la población.

6.2. Variación intradiaria

De acuerdo a la variación intradiaria de los taxa más relevantes, se observó una tendencia a acumular el mayor porcentaje de polen/m³ de aire durante la segunda mitad del día, lo cual coincide con lo reportado por Bronillet (1992) para el norte del Distrito Federal.

La curva obtenida mediante el análisis de datos fue bastante similar en 9 de los 10 taxa analizados, los cuales presentaron los niveles aeropolínicos más bajos por la mañana (entre las 4 y 10 h) y posteriormente incrementaron su concentración hasta alcanzar su pico máximo entre las 14 y las 22 h. Únicamente el polen de *Quercus* no se comportó de esta manera ya que su pico máximo de concentración se retrasó hasta la media noche. Exceptuando *Quercus*, la concentración de todos los tipos polínicos estudiados presentó una tendencia a disminuir a media noche cuando la temperatura disminuyó y la humedad relativa del aire se incrementó, condiciones que no favorecieron la liberación ni permanencia del polen en la atmósfera.

Los picos máximos presentaron el siguiente orden cronológico: primero se presentó el pico máximo de concentración para Cupressaceae, Urticaceae y *Casuarina* a las 14 h, dos horas después (16 h) el pico de Myrtaceae, a las 20 h el de *Pinus* y *Ulmus*, a las 22 h Poaceae, *Fraxinus* y *Alnus*, y finalmente sucedió el pico máximo de *Quercus* a media noche.

El patrón de variación intradiario depende de distintos parámetros como son las condiciones de temperatura y humedad cerca la fuente de producción, la distancia entre dicha fuente y el captador, así como el número de especies que comprende el taxón que se esté estudiando (KAPYLA, 1984; RANTIO-LEHTIMAKI ET AL., 1991). En este sentido no se ha observado diferencia entre árboles y pastos (TRIGO ET AL., 1997).

De acuerdo al Índice de Variación Intradiaria (IDI) obtenido para cada taxón, así como la homogeneidad o heterogeneidad de la curva (RECIO ET AL., 1995), se agrupó a los tipos polínicos en dos categorías. Por un lado están aquellos con un valor de IDI alto, un patrón intradiario estable y con un pico acusado, como es el caso de Cupressaceae, Myrtaceae, *Alnus*, *Casuarina*, *Fraxinus* y *Pinus*, mientras que por el otro están aquellos cuyo comportamiento fue inestable y presentaron varios picos durante el día, un valor bajo de IDI, y

una distribución homogénea de la concentración polínica durante las 24 h. Los taxa comprendidos en este segundo grupo son Poaceae, Urticaceae, *Quercus* y *Ulmus*.

Los valores de IDI pequeños suelen corresponder a taxa multiespecíficos como Poaceae, Urticaceae y *Quercus*, los cuales engloban a distintas especies cuya dehiscencia de las anteras no se presenta a la misma hora del día (KAPYLA, 1984). A diferencia de los taxa mencionados anteriormente, aquellos que comprenden pocas o una sola especie como el género *Casuarina*, presente en Chapultepec, mostraron picos más pronunciados y comportamiento más estable, lo cual también fue reportado por Trigo et al. (1997) para la atmósfera de Málaga, España. No obstante, algunos taxa multiespecíficos como la familia Cupressaceae suelen arrojar valores de IDI grandes, pero esto es probablemente debido a que las distintas especies que comprende presentan un patrón de liberación de polen similar.

En cuanto a la distancia entre fuente y captador, los IDI bajos se pueden interpretar como un indicio de transporte a cierta distancia (TRIGO ET AL., 1997). Los taxa que probablemente se encuentran más cercanos a la TETH mostraron patrones más estables y con picos bien definidos en comparación con aquellos que están más lejanos. Si la zona de estudio no está bien representada por un taxón, los granos de polen deberán ser transportados desde distancias más lejanas hasta incidir en la atmósfera del lugar, desplazándose el pico hacia las horas en que la frecuencia de viento aportó las nubes de polen hacia el captador (RECIO ET AL., 1999).

En general, se puede notar que la insolación, las temperaturas altas y la baja humedad relativa favorecieron la liberación de polen. Durante las primeras horas de la mañana no hay antésis ya que la atmósfera está fría y húmeda. Aproximadamente a las 9 h se intensifica la desecación de las anteras y éstas se abren liberando los granos de polen a la atmósfera (PLA DALMAU, 1961; HAWKE-MAEDOW, 1989; PEKONEN ET AL., 1994). A las 14 h se registra otro periodo de liberación de polen, ya que la temperatura se incrementa sensibilizando una vez más a las anteras, lo que conlleva a un pico de liberación alrededor de las 16 h como resultado de ese periodo de calor (CID, 2007). Otros fenómenos climáticos como la inversión térmica nocturna también influye sobre el comportamiento intradiurno de las plantas, ya que las noches claras favorecen la irradiación de calor del suelo y de esa manera aumenta la concentración de polen (LEUSCHNER ET AL., 1987 SEGÚN RECIO, 1995; BENITO-RICA, 2003).

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con otros trabajos realizados anteriormente en el Distrito Federal. Cid (2007) reportó para dos zonas de la Ciudad de México, que las concentraciones de polen en las primeras horas del día fueron bajas y posteriormente se observó un incremento notable de las 9 a las 15 h, presentándose los picos máximos en ese intervalo de tiempo. Por otro lado, Salazar Coria (1995) observó la mayor densidad de polen en el aire de 15 a 16 h. Estos periodos vespertinos donde la concentración alcanza su pico máximo en la mayoría de los tipos polínicos analizados, se caracterizan por presentar condiciones meteorológicas tales como incremento de temperatura, baja humedad relativa y altas velocidades de viento, que favorecen la liberación y permanencia del polen suspendido en el aire.

Para determinar comportamientos intradiarios de liberación polínica más estables de manera precisa, es necesario continuar con el muestreo atmosférico de la atmósfera de Chapultepec, así como tener en cuenta la ubicación de los diferentes tipos polínicos dentro de la zona como en toda la ciudad. De esta manera, se podría analizar la distancia a la que se encuentra cada taxón con respecto de la TETH y si el valor de IDI obtenido refleja dicha distancia o solamente es producto de la multiespecificidad de cada género.

6.3. Relación con los parámetros meteorológicos

De acuerdo a los valores obtenidos en las correlaciones estadísticas realizadas, se observó que los parámetros meteorológicos estuvieron estrechamente asociados a los niveles de concentración de polen en la atmósfera. Dichos factores del clima se pueden agrupar en dos grupos: los que influyeron positivamente en la concentración y aquellos que causaron una disminución en ella.

Durante la época de floración, los factores meteorológicos como horas de sol, temperatura, precipitación y humedad determinaron la apertura de las anteras, mientras que el viento determinó principalmente cómo y hacia donde se dispersaron los granos de polen (FRENGUELLI ET AL., 1991; BRICHI ET AL., 1995).

En cuanto a la temperatura, el sentido en que se correlacionaron las concentraciones de los diferentes taxa con el incremento de éste parámetro se asoció estrechamente con la época de floración de cada uno. Es así como los taxa de floración invernal como Cupressaceae, *Fraxinus*, *Alnus* y *Ulmus* mostraron valores negativos con respecto a los incrementos de calor. Sin embargo, en *Fraxinus* y en *Ulmus* se presentó una asociación positiva en la fase máxima, y Cupressaceae y *Alnus* tuvieron este mismo comportamiento en la fase de ascenso. Esto se debe a que a pesar de su condición invernal, el inicio del crecimiento de las inflorescencias masculinas en la mayoría de las plantas requiere un periodo de bajas temperaturas seguido por otro de temperaturas altas (WAREING Y PHILLIPS, 1978; FAUST, 1989). En las zonas donde el frío suele ser muy intenso, tanto las temperaturas bajas necesarias para salir de la dormancia y continuar el desarrollo, así como las temperaturas altas para iniciar la floración se vuelven extremas en comparación de los lugares templados en donde las plantas no necesitan protegerse con estos mecanismos por periodos tan prolongados, por lo que su etapa de floración tiende a prolongarse más (JATO ET AL., 2000). Las regiones de clima templado como la Ciudad de México pertenecen a esa última categoría donde las condiciones climáticas son muy variables respecto a la intensidad de la luz, fotoperiodo, temperatura, precipitación, etc., pero no se presentan valores tan extremos que causen floraciones breves (JATO ET AL., 2000).

En cuanto a los taxa cuyo periodo de polinación abarcó todo el año, y principalmente la primavera o el verano, como Poaceae, Urticaceae, *Casuarina*, Myrtaceae, *Pinus* y *Quercus*, ya sea por un largo periodo de floración o por una suspensión de polen en el aire prolongada, se obtuvieron correlaciones positivas con los incrementos de temperatura, ya que ésta ocasiona una mayor actividad en los órganos reproductivos de las plantas, liberando así una mayor cantidad de polen (PORSJBERG ET AL., 2003), y también facilita su transporte y suspensión en la atmósfera. En la Ciudad de México es frecuente que al amanecer se inicie el calentamiento de la superficie por el sol y la capa de inversión poco a poco se rompa hasta lograr un mezclado vertical entre las capas por debajo de la de inversión y la capa de arriba (BRAVO ET AL., 1991). Al calentarse el aire de la tropósfera se produce turbulencia, provocando que éste se eleve llevando consigo los granos de polen (CID, 2007).

Respecto a la humedad relativa, ésta juega un papel importante en la liberación de los granos de polen debido a que cuando este factor baja se favorece la dehiscencia de las anteras por condiciones de sequía (GREGORY, 1973). De esta manera, se observó que cuando la humedad relativa aumentó influyó de manera negativa en los niveles aeropolínicos de todos los taxa, provocando cambios en forma, tamaño y densidad de los granos de polen debido a la absorción de agua. Al adquirir agua el protoplasto y expandirse, el transporte del grano de polen se hace más lento y aumenta su velocidad de sedimentación. Además, el incremento en el contenido de agua disminuye la liberación de polen de las anteras, ya que desactiva la dehiscencia (JATO ET AL., 2002; BENITO RICA, 2003).

La combinación de temperatura y humedad relativa puede favorecer o no a ciertas especies, siendo en la época de sequía que las plantas más resistentes a la deshidratación serán favorecidas (TRIGO ET AL., 1997).

De manera similar a la humedad, la precipitación fue un factor negativo con respecto a la presencia de polen en la atmósfera, ya que causó lavado atmosférico que hizo descender las concentraciones de polen en el aire, por lo que las correlaciones con este parámetro presentaron valores significativos y negativos en todos los casos, excepto en el periodo de polinación de las poáceas y en la fase máxima de Urticaceae, cuyo comportamiento herbáceo se vio favorecido por la precipitación. En el caso particular de las poáceas existe una estrecha relación entre la intensidad del periodo hídrico previo al periodo de polinación y el grado de incidencia que tendrán sus granos de polen en la atmósfera. Así, una época de lluvia escasa tendrá como consecuencia un PPP posterior con concentraciones bajas, mientras que una época de lluvia intensa da lugar a un PPP con niveles aeropolínicos más elevados (GONZÁLEZ ET AL., 1997).

En relación con la velocidad del viento, se encontró una influencia positiva en taxa como Poaceae, Myrtaceae, *Pinus* y *Quercus*. Después de la antésis el viento se encarga de transportar el polen liberado por las plantas hacia la atmósfera. Si los vientos son bajos durante el periodo de floración la concentración se mantendrá baja. Cuando los vientos exceden los 3 a 4 m/s, se favorece la liberación de polen de las anteras en algunas especies. Sin embargo, el viento no siempre favorece la dispersión puesto que en un segundo patrón observado en este estudio, la influencia del viento resultó negativa para Urticaceae, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Alnus*, y *Ulmus*. Esto se debe a que a pesar de que las altas velocidades de viento favorecen la dispersión del polen (sobre todo en casos como la gran mayoría de las especies de la familia Myrtaceae, cuya polinización es entomófila y la mayor posibilidad de entrar a la atmósfera es mediante fuertes corrientes de viento), la velocidad también favorece la filtración por los obstáculos (por ejemplo, los numerosos edificios de la ciudad) y suele acompañarse de fuertes turbulencias que también disminuyen la dispersión polínica (BENITO RICA, 2003). Si la velocidad del viento alcanza de 10 a 20 m/s durante el periodo de floración, el polen entra a la atmósfera de forma inmediata, sin embargo, también se presenta un fenómeno de dilución o barrido de los granos de polen en la zona de floración (EDMONDS, 1979; SALAZAR, 1995). El potencial de succión de la TETH es por sí mismo otra limitante, debido a que a grandes velocidades de viento su capacidad de succión no es suficiente para atrapar a los granos de polen.

A pesar de que la dirección de viento predominante en la ciudad es la de norte a sur (CID, 2007), las frecuencias de viento que aportaron mayor cantidad de polen a la atmósfera de Chapultepec fueron las de los vientos provenientes del sureste y el suroeste de la ciudad (SE y SO), transportando ambas frecuencias granos de polen de las familias Cupressaceae y Urticaceae, y de los géneros *Fraxinus*, *Alnus*, *Pinus* y *Ulmus*, entre otros. Los vientos del suroeste específicamente, influyeron también en el aumento de la concentración polínica de las familias Poaceae y Myrtaceae, así como del género *Quercus*.

Los vientos del norte presentaron valores negativos en todas las correlaciones, excepto en el caso de *Casuarina*, donde se presentó un ligero aporte de polen a la atmósfera cuando predominaron estas frecuencias (NE y NO), sin embargo, al analizar las fases del PPP de ese taxón por separado, no se presentaron asociaciones significativas por lo que se considera que el viento no es un factor determinante para dicho género. Asimismo, los vientos del norte se asociaron a los meses en que se colectaron diversos tipos de granos de polen que no pertenecen a la flora local de Chapultepec, por lo que posiblemente dicho polen haya sido transportado desde el norte de la ciudad.

En general, se puede notar que el mayor aporte de polen atmosférico viene del sur de la ciudad, cuya vegetación es mucho más densa que la del norte, donde la cubierta vegetal es escasa debido a que se trata principalmente de zonas industriales. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cid (2007) en dos zonas de la Ciudad de México. No obstante, se debe considerar que el grado de influencia de un determinado viento también depende del momento del día en que éste sople (RECIO, 1995), de tal forma que para obtener resultados más precisos habría que tener en cuenta sólo el porcentaje de vientos que sopla en las horas de máxima concentración polínica de cada taxón, porque de otra manera, es posible que las distintas fluctuaciones de viento que se presentan a lo largo del día estén dispersando en distintas direcciones los granos de polen que se liberan a la atmósfera, causando síntomas de polinosis en la población general del Distrito Federal, e incluso en poblaciones aledañas a éste.

De acuerdo con lo reportado por Guidos y Almeida (2005), en la atmósfera de Chapultepec se observó que el polen de malezas y pastos alcanzó su pico máximo de producción durante la temporada de lluvias, aunque son éstas mismas las que ocasionan benéficos lavados atmosféricos, debido a que hidratan a los granos de polen y éstos precipitan al suelo, siendo posteriormente resuspendido si se presentan fuertes vientos, por lo que la población sensible al polen tiene menos riesgo de sufrir síntomas en época de lluvias.

Al resultar tan estrecha la relación entre los parámetros meteorológicos y los niveles aeropolínicos de los taxa estudiados, se reafirma la necesidad de llevar a cabo monitoreos permanentes de la atmósfera de la Delegación Miguel Hidalgo, y uno a uno cada sector de la Ciudad de México, de manera que se construya una base integral de información continuamente actualizada sobre el espectro polínico y su variación de acuerdo a la asociación que presenta con los factores del clima.

6.4. Relación con la polinosis

De acuerdo a los resultados obtenidos, los taxa de mayor relevancia para la salud en orden de abundancia en la atmósfera de Chapultepec fueron *Fraxinus*, *Cupressaceae*, *Urticaceae*, *Alnus*, *Poaceae*, *Quercus*, *Parietaria*, *Ligustrum*, *Rumex*, *Amaranthaceae-Chenopodiaceae*, *Populus* y *Ambrosia*, debido a que sus granos de polen poseen alérgenos que causan polinosis de nivel moderado a severo, en su mayoría se transportan a través del viento y además están bien representados en la flora local.

Los niveles aeropolínicos de los taxa mencionados, sumados a la capacidad alérgica de sus granos de polen y a la propensión genética de las personas sensibles, definen la severidad de los trastornos alérgicos que ésta pueda presentar. Los síntomas que con mayor frecuencia se producen en las personas alérgicas al polen son de tipo respiratorio (puesto que ésta es la vía a través de la cual el individuo entra en contacto con el alérgeno), y entre los más comunes se encuentra la conjuntivitis (picor de ojos, lagrimeo), rinitis (estornudos, taponamiento de nariz, moqueo, picor de nariz), y síntomas respiratorios de vías bajas (tos, asma). En ocasiones también se puede presentar urticaria, hinchazón, etc.

La concentración de polen atmosférico está dada a su vez por la estacionalidad, la variación intradiaria y la incidencia de los factores meteorológicos en el entorno de cada especie. En general, la primavera y el invierno son las épocas más delicadas para los pacientes sensibles, ya que es cuando la mayor parte de los árboles, malezas y pastos liberan gran cantidad de polen (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005).

En cuanto a la vegetación presente en la Delegación Miguel Hidalgo, y extrapolándolo a una posible situación actual para el Distrito Federal, la introducción de especies exóticas es un tema que debe analizarse no sólo desde el ámbito ecológico u ornamental, sino también debe considerarse que al introducir especies con altas probabilidades de causar polinosis se están ampliando las posibilidades para que la población sensible quede expuesta a polen alergénico (WAISEL ET AL., 1991), también se da la oportunidad a que personas que no solían reaccionar alérgicamente al polen de la flora local puedan volverse alérgicos a los granos de polen de las nuevas especies, sobre todo si éstas se introducen a la zona en grandes cantidades. Ejemplo de esto son los numerosos granos de polen de la familia Myrtaceae (como el eucalipto) y del género *Casuarina* colectados en la atmósfera de Chapultepec. Esta zona, al igual que otras en la ciudad, ha sido intensamente reforestada con especies exóticas, que además de resultar en ocasiones invasivas para las especies nativas, poseen alta capacidad alergénica (OSORIO Y QUIROZ, 2009).

Para el ciclo anual estudiado, se registró la intensa floración invernal de uno de los grupos polínicos con mayor potencial alergénico, *Fraxinus*, género que se caracteriza por liberar grandes cantidades de polen, concentrado en su mayoría en los meses de invierno, cuando la precipitación en la zona es prácticamente nula y la posibilidad de que haya un lavado atmosférico que ayude a tener una mejor calidad del aire es muy baja. Hay que tomar en cuenta además que este taxón, así como muchos otros, presenta reactividad cruzada con otras especies (en este caso oleáceas), por lo que aunque en determinado momento los niveles aeropolínicos de un grupo alergógeno estén disminuyendo, si otra especie causante de polinosis con la cuál exista reactividad cruzada está en floración, los pacientes sensibilizados probablemente presentarán síntomas por temporadas más extensas.

La relación de la concentración polínica con los parámetros meteorológicos permite comprender y prever los brotes alérgicos. En la temporada de sequía (noviembre-abril) se encontró una gran abundancia y diversidad de granos de polen, siendo los árboles la fuente principal. Fue esta época seca la que presentó menor humedad relativa y temperaturas altas, factores que favorecen la liberación del polen y una suspensión prolongada del mismo en el medio aéreo, por lo tanto, la posible reacción alérgica de los pacientes sensibles se incrementa en dicho periodo.

Por otra parte, los días con fuertes vientos serán días de riesgo para la gente que sufre de polinosis, pues el incremento en la velocidad de este factor climático suele provocar mayor liberación de polen al aire por parte de las plantas. Contrariamente, los días de lluvia favorecen a las personas alérgicas, ya que como se observó en los resultados obtenidos, las concentraciones polínicas disminuyen en ese periodo debido a que la humedad influye negativamente en la dehiscencia de las plantas y a que los granos de polen se hidratan y tienden a precipitarse (GUIDOS Y ALMEIDA, 2005).

Es importante mencionar que, aunque es probable que un paciente presente más síntomas cuando se encuentre en una zona cuya vegetación sea abundante en la planta a cuyo polen sea alérgico, encontrarse lejos de dicha zona no garantiza que la persona esté libre de problemas de polinosis, puesto que la mayoría de las especies cuyo polen posee capacidad alergénica son anemófilas y por lo tanto, su polen es fácilmente transportado por el aire desde el sitio de liberación hasta grandes distancias, afectando a mayor cantidad de personas, y no sólo a los habitantes locales del sitio donde fue liberado.

Hoy en día existen otros factores, además de la estrecha relación de la concentración polínica en la atmósfera con los parámetros meteorológicos, que exacerban la polinosis. Debe considerarse también el problema actual de calentamiento global, que entre otras consecuencias, está modificando las etapas de

floración de distintas plantas, favoreciendo la prevalencia de las alergias por periodos de tiempo más prolongados, lo cual hace impredecible la presencia de polen en el aire. Además, en las ciudades continentales como el Distrito Federal, la escasa humedad del aire en ciertas épocas del año condiciona la mayor incidencia atmosférica de granos de polen y subsecuentemente la polinosis (FEO ET AL., 1998).

En una gran urbe como la Ciudad de México, es necesario considerar además de los factores propios del grano de polen (tamaño, contenido proteico, tipo de polinización y alergenicidad) y de las condiciones climáticas, también las barreras físicas que existen en el ambiente y que pueden crear islas de contaminación biológicas en las que los granos de polen liberados no siempre logran mezclarse completamente con el flujo de aire (JÁUREGUI, 1991). La urbanización propicia un efecto de "isla de calor", entibiando el aire de la ciudad debido a la obstrucción que representan las obras del hombre a la pérdida de energía térmica por la noche (JÁUREGUI Y HERES, 2008; SARRICOLEA ET AL., 2008), ocasionando que el aire no se renueve y la concentración de partículas suspendidas en él se incremente.

En este sentido, el medio urbano proporciona un medio crítico para el desarrollo de la polinosis, pues a los factores mencionados se suman los productos liberados gracias a las actividades humanas (partículas orgánicas e inorgánicas). Actualmente, se sabe que los síntomas alérgicos empeoran debido a la interacción de aquellos compuestos inorgánicos añadidos a los granos de polen, tales como partículas de diesel (CARIÑANOS ET AL., 2002). Todo esto, en conjunto, representa una amenaza para la salud de la población en general, y más aun, para la de los pacientes alérgicos (TERÁN ET AL., 2009).

Hoy en día se tiene una mayor conciencia del efecto alérgico que el medio ambiente ejerce sobre las personas, y se utilizan de manera generalizada pruebas cutáneas que emplean alérgenos de respuesta inmediata. Los tipos polínicos más utilizados en las pruebas cutáneas en México son *Fraxinus* y *Ligustrum* (LARENAS ET AL., 2009), géneros cuyas especies presentan reactividad cruzada entre sí (BOUSQUET ET AL., 1985; ALCHÉ Y RODRÍGUEZ, 1997; OBISPO ET AL., 1993; GASTAMINZA ET AL., 2005). Otros tipos polínicos de árboles cuyos extractos se utilizan comúnmente en los consultorios son *Quercus*, *Populus*, *Schinus*, *Eucalyptus*, *Alnus*, *Prosopis*, *Mangifera*, *Ulmus*, *Juglans*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Salix*, *Olea* y *Pinus*. En cuanto a las malezas suelen emplearse extractos de *Amaranthus*, *Chenopodium*, *Rumex*, *Plantago*, *Medicago*, *Artemisia*, *Ambrosia* y otras asteráceas en general (LARENAS ET AL., 2009). En el caso particular de *Parietaria*, aunque algunos consultorios utilizan su extracto, al estar el polen de este taxón presente en la atmósfera en bajas cantidades no suele emplearse comúnmente en pruebas cutáneas. Para los pastos, gran cantidad de alergólogos emplean mezclas de poáceas, debido a que hay una fuerte reactividad cruzada entre ellas (BENITO Y SOTO., 2001; WAISEL ET AL., 2003).

De los alérgenos mencionados, casi todos excepto *Prosopis*, *Mangifera* y *Medicago*, corresponden a tipos polínicos bien representados en la atmósfera de Chapultepec, lo cual remarca la importancia de analizar permanentemente la variación en la concentración de los taxa colectados, así como la necesidad de mantener una estrecha comunicación entre el sector científico que realiza estudios aerobiológicos y el sector salud competente en materia de alergias, ya que el número de tipos polínicos empleados de forma habitual en las pruebas cutáneas suele ser menor a la cantidad de taxa encontrados en la atmósfera en cantidades considerables y cuya capacidad alérgica los hace probables causantes de polinosis.

Se recomienda a los alergólogos incluir en las pruebas cutáneas a los tipos polínicos que resultaron ser abundantes en la atmósfera y que poseen características alérgicas (MUNUERA, 2002), así como tomar siempre en consideración el muestreo aerobiológico que se realiza en la zona al momento de diagnosticar y

tratar un trastorno alérgico, para poder analizar un cuadro completo de información integral y actualizada sobre la flora local, espectro polínico, parámetros meteorológicos y avances en el conocimiento de la polinosis.

Haciendo hincapié en este punto, los médicos alergólogos deben mantenerse actualizados sobre los avances tanto en materia de alérgenos como en aquellos referentes a estudios aeropolinológicos, con el fin de seleccionar los extractos polínicos adecuados para las pruebas cutáneas, empleando sólo aquellos presentes en el contenido atmosférico al que está expuesto el paciente (LARENAS ET AL., 2009).

Este estudio es uno de varios que dan inicio al monitoreo aeropolínico constante de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), en su misión por aportar no sólo al sector científico, sino a la población en general, información útil y de fácil interpretación para la prevención de las alergias y su correcto tratamiento, incrementar el conocimiento del comportamiento del polen atmosférico, conocer la fenología de las plantas, analizar los efectos del cambio climático, etc. Se espera que el alcance de la red vaya más allá del Distrito Federal y que con el tiempo incorpore a todas las entidades del país. También se busca la colaboración de distintas instituciones y órganos que actualmente realizan estudios aeropolinológicos, alergológicos o de otra clase, siempre y cuando sirva para llevar a cabo un amplio y preciso estudio aerobiológico, ya que como se comprobó en esta investigación, contar con distintos tipos de datos, como pueden ser los meteorológicos proporcionados por el PEMBU, fue fundamental, aunque un problema que se enfrentó fue el no contar con el registro de las horas de sol para analizar su relación con la concentración polínica, como se hace actualmente en diversos países.

Realizar este tipo de estudios y darles seguimiento permitirá no sólo entender la relación entre la liberación del polen y los factores climáticos, sino también emitir información confiable y útil dirigida a la población afectada por la polinosis y proporcionarles herramientas que les ayuden a prevenir sus síntomas.

7. CONCLUSIONES GENERALES

- En la atmósfera de Chapultepec se encontraron 48 tipos polínicos, entre los cuales los más abundantes fueron *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus*, Poaceae, *Pinus*, *Casuarina*, Myrtaceae, *Quercus*, Urticaceae, *Ulmus*, *Ligustrum*, *Morus*, *Schinus*, Asteraceae, *Rumex*, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Populus*, *Ambrosia*, Rosaceae, *Salix* y *Citrus*.
- Las mayores concentraciones se registraron en el periodo invernal (diciembre-febrero), colectándose el 72% del polen total anual, ese pico máximo de concentración anual se debió principalmente a la floración de la familia Cupressaceae y los géneros *Fraxinus* y *Alnus*.
- Las concentraciones más bajas se registraron durante el otoño, periodo en el que las precipitaciones fueron muy abundantes y prácticamente ninguna especie estuvo en floración.
- La mayor cantidad de polen atmosférico colectado provino del estrato arbóreo con un 90% del total anual, mientras que tanto pastos y malezas representaron cada uno 5% del IPA.
- Se observó en todos los tipos polínicos un patrón de variación intradiaria en el que la liberación de las mayores concentraciones de polen se presentó durante la segunda mitad del día, presentándose los picos máximos entre las 16 y las 22 h.
- Los taxa con un comportamiento intradiario estable fueron las familias Cupressaceae y Myrtaceae, géneros *Alnus*, *Casuarina*, *Fraxinus* y *Pinus*. Los taxa de comportamiento inestable fueron las familias Poaceae y Urticaceae, así como los géneros *Quercus* y *Ulmus*.
- Los parámetros meteorológicos que influyeron positivamente en los niveles aeropolínicos fueron velocidad del viento, temperatura y baja humedad relativa, mientras que el incremento en la humedad y la precipitación causaron un descenso en las concentraciones polínicas.
- La precipitación previa a los periodos de polinación de las familias Poaceae y Urticaceae tuvo un efecto positivo sobre las concentraciones que se presentaron en el momento de su floración.
- El aumento en la velocidad del viento tiene un efecto positivo en taxa de polinización entomófila y en aquellos que se encuentran a grandes distancias del captador, sin embargo, fuertes velocidades de viento provocan un barrido atmosférico de los granos en la zona de floración, sobrepasan la capacidad de succión del captador y favorecen la filtración por los obstáculos.
- Las frecuencias del NE y NO se relacionaron negativamente con la concentración polínica de los taxa de mayor relevancia, debido a que la zona norte de la ciudad es escasa en vegetación.
- Las frecuencias de viento del SE y el SO fueron las que mayor cantidad de polen de diversos taxa aportaron a la atmósfera de Chapultepec, posiblemente debido a que el sur de la ciudad posee vegetación abundante.
- La mayor parte de los taxa que causan polinosis presentan polinización anemófila, contienen sustancias alergénicas, son liberados en grandes cantidades y están bien representados en la zona.

- Los granos de polen del género *Fraxinus* son probablemente la principal causa de los casos de polinosis que se presenten en los habitantes de Chapultepec y en otras zonas de la ciudad a las que el viento los transporte, ya que además de su alta alergenidad, el polen de este taxón es liberado en grandes cantidades. Este grupo polínico representó 37.8% del IPA de la zona y permaneció suspendido en la atmósfera durante un periodo muy extenso.
- Es necesario realizar monitoreos permanentes en esta y otras zonas de la Ciudad de México, para que a futuro se puedan crear modelos de predicción del espectro polínico según el escenario climático que se encuentre vigente o que se desee conocer, y así prevenir los síntomas alérgicos y optimizar los diagnósticos y tratamientos de la polinosis, entre otras utilidades.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcázar P. 1995. *Efecto de la Altura en la localización de los muestreadores aerobiológicos para los estudios sobre polen*. Tesis doctoral. University of Córdoba.
2. Alché JD. y Rodríguez MI. 1997. El polen como vector responsable de las alergias. *Polen* 8:5-23.
3. Alfaya T y Marqués L. 2002. En: *Polinosis: Polen y alergia*. 3.3. *Chenopodiáceas/Amarantáceas*. Valero A. y Cadahia A. (Eds). Mra Ediciones. Barcelona, Pp. 69-78.
4. Andrés C, Luque B y Díez MJ. 2001. Morfología polínica de las especies de cítricos cultivadas en Andalucía Occidental (España). *Acta Botánica Malacitana* 26:69-77.
5. Anero MT, Carabias F, Carretero P et al. 2008. *Polen. Aerobiología y polinosis en Castilla y León*. Junta de Castilla y León. 74 pp.
6. Armentia A, Sánchez R, Gómez L, Barber D y 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.
7. Baltazar MA y Martí E. 2002. En: *Polinosis: Polen y alergia*. 3.1. *Urticáceas*. Valero A. y Cadahia A. (Eds). Mra Ediciones. Barcelona, pp. 45-52.
8. Bárcena M. 1983. El clima de la Ciudad de México. Oficina Tipográfica. Secretaría de Fomento, Servicio Meteorológico Nacional.
9. Bartra J, Mullol J, Del Cuvillo A, Dávila I, Ferrer M, Jáuregui I, Montoro J, Sastre J y Valero A. 2007. Air pollution and allergens. *Investig Allergol Clin Immunol*. 17(2):3-8.
10. Bassett IJ, Crompton CW, y Parmalee JA. 1978. Airborne pollen grains and common fungus spores of Canada. Research Branch Canada Department Agriculture Monograph No. 18., 321 p.
11. Belmonte JS y Roure JM. 2002. Introducción. En: *Polinosis. Polen y alergia*. Valero AL y Cadahia (eds). Universidad Autónoma de Barcelona, pp.7-16.
12. Belmonte JS. 2003. Técnica para la captación e identificación de los granos de polen. *Alergol Inmunol Clin*.18 (3):45-47.
13. Benavides MHM. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. En: *Memoria del Congreso Forestal Mexicano*. Tomo II. Toluca, Estado de México. 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A.C, pp. 966-992.
14. Benavides MHM, López MR y Flores HJ. 2002. Daños a banquetas por arbolado de alineación establecido en cepas en la Delegación Coyoacán, Distrito Federal. *Rev Cien Fo. en Mex*. 27(92): 53-77.
15. Benito-Rica V y Soto J. 2001. Polinosis y Aerobiología del polen en la atmósfera de Santander. *Alergol Inmunol Clin*.16:84-90.
16. Benito-Rica V. 2003. *Aerobiología del polen alergénico y polinosis en Santander. Relación de la agudización del asma bronquial con factores del ambiente exterior*. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria. Departamento de Ciencias médicas y quirúrgicas. 145 pp.

17. Benninghoff WS. 1980. Aerobiology: Status and Prospects. Proceedings of the 1st International Conference on Aerobiology, Munich, República Federal de Alemania, 13-15 August 1978: 1-7. Ed. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
18. Blackley CH. 1873. *Experimental Researches on the Causes and Nature of Catarrhus*. Ed. Assyivus. Londres.
19. Blanca G, Cabezudo B, Cueto M, Fernández López C y Morales Torres C (eds.). 2009. *Flora Vascular de Andalucía Oriental*, 1-4. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
20. Bossard CC, Randall JM y Hoshovsky MC. 2000. Invasive plants of California's wildlands. University of California Press, Berkeley, California, USA, pp. 183-187.
21. Bousquet JB, Guerin H, Hewtti B, Dhivert F y Michel FB. 1985. Allergy in the Mediterranean area II. Cross allergenicity among Urticaceae pollens (*Parietaria* and *Urtica*). *Clin Allergy* 16: 57 – 64.
22. Bravo H, Roy-Ocotla G, Sánchez P y Torres R. 1991. Contaminación atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: evolución histórica y perspectivas. UNAM, México. *Omnia (Rev de la Coor. Gral de Est de Postgrado)* 7(23): 39-47
23. Brichi E, Frenguelli G, Mincigrucci G, Fornaciari M, Ferranti F y Romano B. 1995. Time linkages between pollination onsets of different taxa over a 11- year period in Perugia, Central Italy. *Aerobiología* 11:57-61.
24. Bronillet IT. 1992. *Estudio aeropolínico de la zona norte de la Ciudad de México en un ciclo anual*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 84 pp.
25. Candau P, González-Minero F y Romero F. 1994. Aeropalinology of *Fraxinus* in an urban area of southwestern Spain. *Aerobiología* 10: 47-51.
26. Cariñanos P, Alcázar P, Galán C y Domínguez E. 2002. Privet pollen (*Ligustrum* sp.) as potential cause of polinosis in the city of Cordoba, south-west Spain. *Allergy* 57:92-97.
27. 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.
28. Castillo S, Martínez Y, Sánchez I, Núñez O, Guadarrama P, Romero MA y 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.
29. Chanda S. 1991. Presidential address: Aerobiology -Science in progress. *Grana* 30: 5-8.
30. Cid A. 2007. *Estacionalidad de granos de polen en dos zonas de la Ciudad de México*. Tesis de Licenciatura. UNAM. Instituto de Geología. 92 pp.
31. Cohen SG. 1992. Asthma in antiquity: The Ebers Papyrus. *Allergy Proc.* 13 (3):147-54.
32. Colwell R. 1951. The use of radioactive isotopes in determining spore distribution patterns. *American Journal of Botany* 38:511-523.
33. Connell JT. 1969. Quantitative intranasal pollen challenges. III. The priming effect in allergic rhinitis. *Allergy* 43:33-44.

34. D'Amato G, Rufilli A y Ortolani C. 1991-14. Allergenic significance of *Parietaria* (Pellitory-of-the-wall) pollen. En: D'Amato G, Spieksma FThM y Bonini S. (Eds.). *Allergenic pollen y pollinosis in Europe*, pp. 113-118. Blackwell Scientific Publications.
35. D'Amato G y Spieksma F. 1992. European allergenic pollen types. *Aerobiología* 8: 447-450.
36. Detandt M y Nolard N. 1996. The Belgium pollen phone service immediate and direct information to hay fever sufferers. *Aerobiología* 12:201-203.
37. 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.
38. Dominguez E, Ubera JL y Galán C. 1984. *Polen Alergígeno de Córdoba*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Ronda. Córdoba, España.
39. Dorighello D. 2002. Estudio del comportamiento de la humedad relativa del aire en centros urbanos. *Boletín de la A.G.E.*33:159-170.
40. Durand L y Comtois P. 1989. A comparative study between the Cour and the Burkard samplers. En: Comtois P. (Ed) *Aerobiology, health, environment, a symposium*. Université de Montreal, Montreal. 3-101 pp.
41. Durham OC. 1946. The volumetric incidence of atmospheric allergens. IV. A proposed standard method of gravity sampling, counting, and volumetric interpolation of results. *J. Allergy* 17: 79-86.
42. Echlin P. 1968. Pollen. *Scientific American* 218: 80-90.
43. Edmonds RL. 1979. *Aerobiology*. The Ecological Systems Approach. Dowden, Hutchinson y Ross. Pennsylvania.
44. Edmonds RL y Benninghoff WS. 1973. *Aerobiology: A new discipline for combating diseases, pests, and allergens*. U.S. Component of the International Biological Program (Aerobiology Program).
45. Endress PK. 1998. *Diversity and evolutionary biology of tropical flowers*. Cambridge University, Cambridge, England.
46. Erdtman G. 1952. *Pollen Morphology and Plant Taxonomy. "Angiosperms"*. Almqvist and Wiksell, Stockholm, 539 pp.
47. Erdtman G. 1969. *Handbook of Palynology. Morphology, Taxonomy and Ecology. An introduction to the study of Pollen grains and spores*. Munksgaard, Copenhagen.
48. Estrada F, Martínez A y Fernández A. 2009. Defining climate zones in Mexico City using multivariate analysis. *Atmósfera* 22(2):175-193.
49. Faegri K. 1956. Recent trends in palinology. *Bot Rev* 22:639-644.
50. Faegri K e Iversen J. 1975. *Textbook of pollen Analysis*. Ed.Hafner, New York.
51. Faust M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. New York, John Wiley.
52. Felker FC, Robitaille HA y Hess FD. 1983. Morphological and ultrastructural development and starch accumulation during chilling of sour herry flower buds. *Am J. Bot.* 70(3): 376-386.

53. Feo B, Galindo B, García R, Gómez T, Fernández F, Fernández R y Delicado A. 1998. Granos de polen alergénicos en Ciudad Real: Aerobiología e incidencia clínica. *Rev. Esp. Alergol Inmunol Clin.* 13(2):79-85.
54. Fernandez P, Díaz C y Valle F. 1990. Análisis polínico en la atmósfera de Granada, resultados febrero-junio (años 1989 y 1990). En. *Asociación Palinológica de Lengua Española.* 5:29-38.
55. Flores FJ. 1996. Estudio aerobiológico de la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia* 16:21-26.
56. Florido JF, Quiralte J, Sáenz B y Bartolomé A. 2000. Cross-reactivity between *Olea europea* and *Chenopodium album* pollens. EAACI 2000. Abstract 552.
57. Fountain DW y Cornford CA. 1991. Aerobiology and allergenicity to *Pinus radiata* pollen in New Zealand. *Grana* 30: 71- 75.
58. Freire-Fierro A. 2004. Grossulariaceae. En: G. Harling y Andersson L. *Flora of Ecuador* 73: 41-66.
59. Frenguelli G, Spieksma FTM, Bricchi E, Romano B, Mincigrucci G, Nikkels AH, Dankaart W y Ferranti F. 1991. The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana* 30:196-200.
60. Friis I. 1993. Urticaceae. En Kubitzki K, Rohwer JC y Bittrich V (eds). *The families and genera of vascular plants II, flowering plants - dicotyledones. Magnoliid, hamamelid and caryophyllid families.* Springer-Verlag: Berlin. pp. 612-630.
61. Galán C, Tormo R, Cuevas J, Infante F y Domínguez E. 1991. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the South-west of Spain. *Grana* 30: 201-209.
62. Galán C, Emberlin J, Domínguez E, Bryant RH. y Villamandos F. 1995. A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana* 34:189-198.
63. Galán C, Cariñanos P, Alcázar P y Domínguez E. 2007. *Manual de gestión y calidad de la Red Española de Aerobiología.* Servicio de publicaciones. Universidad de Córdoba. 61 pp.
64. Gastaminza G, Bartolomé B, Bernedo N, Uriel O, Audicana M, Echenagusia MA, Fernández E y Muñoz D. 2005. Alergia al polen de las oleáceas en un lugar donde no hay olivos. *Alerg Inmunol Clin.* 20: 131-138.
65. Gattuso S, Gattuso M, Lusardi M, McCargo J, Scandazi A, Di Sapio O, Arduso L y Crisci C. 2003. Polen aéreo, monitoreo diario volumétrico en la ciudad de Rosario. Parte I: árboles y arbustos. *Arch Alergia Inmunol Clin.* 34:1: 22-27.
66. Gehrig R. y Peeters AG. 2000. Pollen distribution at elevations above 1000 m in Switzerland. - *Aerobiología* 16: 69-74.
67. Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2000. *Manual técnico para el establecimiento y manejo integral de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*, Tomo I. Secretaría del Medio Ambiente - Banco Interamericano de Desarrollo. México, D. F. 236 pp.
68. Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2006a. *Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec.* En: *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 internet: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=406> (28 de junio de 2011).

69. 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 internet: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/informefinal_2a_secc_bch.pdf (28 de junio de 2011).
70. González FJ, Candau P y 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*. 12(6):357-362.
71. González FJ, Iglesias I, Jato, V, Aira MJ, Candau P, Morales J y Tomas C. 1998. Study of the pollen emissions of Urticaceae, Plantaginaceae and Poaceae at five sites in western Spain. *Aerobiol*. 14:117-129.
72. González I, Devesa JA, Ramos S y Rodríguez P. 1998. Granos de polen alergénicos y polinosis en Bajadoz. *Rev. Esp. Alergol Inmunol Clin*. 13:63-69.
73. González O, Fuentes Y, Rodríguez R, Martínez I, Rodríguez P y Pérez V. 2009. Calendario polínico en una región de Ciudad de La Habana. *VacciMonitor* 18(3):1-4.
74. Gregory PH. 1973. *The Microbiology of the Atmosphere*. Ed. Leonard Hill. Plymouth.
75. Guerra F, Daza JC, Miguel R, Moreño C, Galán C, Domínguez E y Sánchez P. Sensitivity to *Cupressus*. Allergenic significance in Córdoba, SPAIN. *J Invest Allergol Clin Immunol*. 2:117-120.
76. Guerrero E. 1997. *Estudio Florístico del Bosque de Chapultepec*. Reporte final de Servicio Social. UAM-Iztapalapa. Depto. Biología.
77. Guidos GA y Almeida VM. 2005. Polinosis y aeroalergenos. *Alergia, asma e inmunología Pediátricas* 2(2):52-55
78. Halse RR. 1984. Nomenclature of allergenic plants. *Ann. Allergy* 53: 291-307.
79. Hawke PR y Maedow ME. 1989. Winter airspora and meteorological conditions in Cape Town, South Africa. *Grana* 28:187-192.
80. Hirst JM. 1952. An automatic volumetric spore trap. *Ann Appl Biol*. 39: 257-65.
81. Hyde HA. 1952. Studies in atmospheric pollen. V.A. daily census of pollen at Cardiff for six years 1943-1948. *New Phytol*. 51:193-281.
82. Hyde HA. 1954. *Oncus*, a new term in pollen morphology. National Museum of Wales, Cardiff. Pp: 255-256.
83. Ickovic MR y Thibaudon M. 1991. Allergenic significance of Fagaceae pollen. En D' Amato G, Spieksma FThM. y Bonini S. (Eds.), *Allergenic pollen and pollinosis in Europe* (Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 98-108.
84. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en cifras. Distrito Federal. Disponible en internet: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=09>.

85. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Cuéntame INEGI. Distrito Federal. Disponible en internet: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/default.aspx?tema=me&e=09>
86. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en cifras. Miguel Hidalgo, Distrito Federal. Disponible en internet: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=09>.
87. INIFAP y PROBOSQUE de Chapultepec. 2008. *Inventario del arbolado de la segunda sección de Chapultepec*. Versión electrónica proporcionada por la dirección general del Bosque de Chapultepec.
88. Isard SA y Gage SH. 2001. *Flow of Life in the Atmosphere: An Airscape Approach to Understanding Invasive Organisms*. East Lansing: Michigan State University Press.
89. Jager S y Mandrioli P. 1993. Airborne Birch and Grass pollen distribution in Europe. *Aerobiología* 10 (2):2-6.
90. Jato V, Frenguelli F, Rodríguez FJ y Aira MJ. 2000. Temperature of *Alnus* pollen in Spain and Italy (1994–1998). *Grana* 39: 240-245.
91. Jato V, Rodríguez FJ, Méndez J y Aira MJ. 2002. Phenological behaviour of *Quercus* in Ourense (NW Spain) and its relationship with the atmospheric pollen season. *Int. J. Biometeorol.* 46: 176 – 184.
92. Jato V, Rodríguez FJ, Dacosta N y Aira MJ. 2004. Heat and chill requirements of *Fraxinus* flowering in Galicia (NW Spain). *Grana* 43:217-223.
93. Jáuregui E. 1974. La isla de lluvia de la Cd.de México. *Rev. Recursos Hidráulicos* 3(2);138-51.
94. Jáuregui E. 1991. El clima urbano y su relación con los contaminantes del aire. En: Gutiérrez Avila, J. Héctor, ed; Corey O., Germán, ed; Romieu, Isabelle, ed. *Curso básico sobre contaminación del aire y riesgos para la salud*. Metepec, Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, pp.50-52.
95. Jáuregui E. 2000. *El clima de la Ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM- Plaza y Valdés. México, 131 pp.
96. Jáuregui E y Luyando E. 1992. Patrones de flujo de aire superficial y su relación con el transporte de contaminantes en el valle de México. *Investigaciones Geográficas*, México, 24:51-78.
97. Jáuregui E y Romales E. 1996. Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *Atmospheric Environment* 20:3363-3389.
98. Jáuregui E y Tejeda A. 1997. Urban-Rural Humidity Contrasts in Mexico City. *International Journal of Climatology* 17:187-196.
99. Jáuregui E y Heres ME. 2008. El clima de un parque periurbano de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, UNAM. *Boletín del Instituto de Geografía* 67:101-112.
100. Johannes R. 2003. History of anaphylaxis. *Allergy Clin Immunol.* 15(4):144-147.
101. Jones G, Bryant V, Hoag M, Jones S y Lingren P. 1995. Pollen of the suothertern United States: With emphasis on melissopalynology and entomopalynology. AASP Contributions series No. 30. 104 pp.

102. Jones HG. 1992. *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. 2nd ed. Cambridge University Press. 428 pp.
103. Kapyla M. 1984. Diurnal variation of tree pollen in the air in Finland. *Grana* 23:167-176.
104. Khanduri VP, Sharma CM. 2002. Pollen production, microsporangium dehiscence and pollen flow in Himalayan Cedar (*Cedrus deodara Roxb. ex D. Don*) *Ann. Bot.* 89: 587-593.
105. Keynan N, Waisel Y, Shomer A, Goren A y Brenner S. 1991. Annual variations of airborne pollen in the Coastal Plain of Israel. *Grana* 30:477-480.
106. Köppen W. 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. Distrito Federal, México. 478 pp.
107. Laguna MM, Guzmán A, Cárdenas B, Blanco S y Campos A. 2009. *Revisión bibliográfica del Impacto del Cambio Climático en la Emisión de Granos de polen y Esporas por fuentes naturales y sus implicaciones en la calidad del aire*. Instituto Nacional de Ecología en colaboración con la UAM.
108. Larenas LD, Arias CA, Guidos FGA y Cid PML. Alérgenos usados en las pruebas cutáneas en México. *Rev Alerg Mex.* 56(2):41-47.
109. Lázaro M, Cuesta J e Igea JM. 1999. Alergia a rosáceas. *Alergol Inmunol Clin.* 4(4):234-240.
110. Lebowitz MD y O'Rourke MK. 1991. The significance of air pollution in aerobiology. *Grana* 30: 31-43.
111. Lewis WH. 1986. Airborne Pollen of the Neotropics, *Grana* 25(1):75-83.
112. Lewis WH, Vinay P y Zenger V. 1983. *Airborne and allergenic pollen of North América*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
113. Linares C. 2007. *Análisis del polen alergógeno en la atmósfera de Granada: Evolución de las concentraciones polínicas, actividad alergénica e incidencia en la población atoopica*. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. 339 pp.
114. Loera J, Isard SA, Irwip ME, Gage S, Lingren P y Raulston J. 1994. Aerobiología: Una nueva área de investigación. *Agronomía Mesoamericana* 5:159-163.
115. Lombardero M, Obispo TM, Calabozo B, Lezaun A, Polo F y Barber D. 2002. Cross-reactivity between olive and other species. Role of Ole e 1 related proteins. *Allergy* 57(71): 29-34.
116. López A, Trigo MM, Argimon de Vilardaga X y 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.
117. López A, Trigo MM, Argimon de Vilardaga X y Sánchez de Lorenzo JM. 2000-2003. *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.
118. López A, Trigo MM, Argimon de Vilardaga X y Sánchez de Lorenzo JM. 2000-2005. *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.
119. Ludlow B, Almeida L y 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.

120. Lusardi M, Scandazi A, McCargo J, Gatusso M, Gatusso S, Di Sapio O, Arduo L. y Crisci C. 2001. Calendario de floración de especies frecuentes en la ciudad de Rosario (Santa Fe), Argentina. *Arch Alergia Immunol Clín.* 32:93-97.
121. Magaña VO y Gay C. 2002. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*, octubre-diciembre. 65: 7-23.
122. Mandrioli P. 1994. Sampling techniques. En: Ariatti G. y C. Galán (eds). *Course of advanced Aerobiology*. Córdoba.
123. Mandrioli P, Comtois P y Levizani V. 1998. *Methods in aerobiology*. Pitagora Editrice. Bologna, 262 pp.
124. Mardones P, Donoso G, Rocha R, Córdova A y Grau M. 2011. Caracterización y registro del polen atmosférico en la ciudad de Temuco. *Rev Chil Enf Respir.* 27: 7-15
125. Márquez J, Seoane JA y Suárez M. 1997. Allergenic and antigenic proteins release in the apertural sporoderm during the activation process in grass pollen grains. *Sex Plant Reprod.* 10:269-278.
126. Masullo M, Mariotta S, Torrelli L, Graziani E, Anticoli S y Mannino F. 1996. Respiratory allergy to *Parietaria* pollen in 348 subjects. *Allergol Immunopathol.* 24(1):3-6.
127. Martínez L y Chacalo A. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana. 531 pp.
128. McDonald IAW, Kruger FJ y Ferrar AA. 1986. *Biological Invasions in Southern Africa*. Cape Town: Oxford University Press. 324 pp.
129. Medina R y Ávila P. 1997. Flora del Valle de Tehuacán – Cuicatlán. Departamento de Botánica. Instituto de biología. Unam
130. Michel FB, Dhivert H, Marty JP, Alquie MC, Cour P y Guerin B. 1978. Pollinoses hivernales. *Rev Fr Allergol.* 18(2):83-88.
131. Molina EMJFF. 1979. *Algunos aspectos del deterioro ambiental en el Bosque de Chapultepec*. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 58 pp.
132. Moore PD, Webb JA y Collinson ME. 1991. *Pollen analysis*. Blackwell scientific Publication.
133. Moreno-Socias E, Mejías JA y Díez MJ. 1994. Morfología Polínica de Lactuceae (Asteraceae) en la Península Ibérica. I. Lactuca L. y géneros relacionados. *Acta Botánica Malacitana.* 19: 103-113.
134. Munuera M. 2002. Interés de los registros aerobiológicos regionales. Originalidades aerobiológicas de la ciudad de Murcia. *Anales de Biología* 24:185-194.
135. Navarro AM, Orta JC, Sánchez MC, Delgado J, Barber D y Lombardero M. 1997. Primary sensitization to *Morus alba*. *Allergy Net.* 52:1144-1145.
136. Nee M. 1983. Casuarinaceae. En: Sosa, V. (ed.). *Flora de Veracruz*. Fascículo 27. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México.
137. Nilsson S. 1992. Aerobiology: An interdisciplinary and limitless science. *Ind J Aerobiol special.* 23-27.

138. Nilsson S y Spiekma FTHM. 1992. *Traveller's Allergy Service Guide*. Palynological laboratory, Swedish Museum of Natural History, Fisons Sweden AB. Stockholm.
139. Obispo TM, Melero JA, Carpizo JA, Carreira J y 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.
140. Odgen E, Raynor G, Hayes J, Lewis D y Haines J. 1974. Manual for sampling airborne pollen. Hafner Press. USA. 182 pp.
141. Olivera L y Fonseca RM. 1998. Flora palinológica de Guerrero. Anacardiaceae. No.7 En: Flora palinológica de Guerrero. Las prensas de ciencias. 66 pp.
142. Ong EK, Taylos PE y Knox RB. 1997. Forecasting the onset of the grass pollen season in Melbourne (Australia). *Aerobiología* 13:271-282.
143. 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.
144. Osorio A y Quiroz L. 2009. Lluvia de polen en la Ciudad de Oaxaca, México. *Polibotánica* 28:161-190.
145. Pacini E y Franchi GG. 1984. "Harmomeghaty": un problema aperto e misconosciuto. *Giorn. Bot. Ital.* 118:271-282.
146. Parrota J. 1993. Casuarina, Australian pine: Casuarinaceae. *Casuarina* family. Forest Service. International Institute of tropical Forestry. 11 pp.
147. Pekonen E y Rantio A. 1994. Variations in airborne pollen antigenic particles caused by meteorological factors. *Allergy* 49:472-477.
148. Pérez ML, Pérez P, Olivares M, Naranjo R, Zamora P y Pasarón P. 2008. "La alergia. ¿Una enfermedad de ricos?". *Revista electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos*. 6(1): 77-81.
149. Perry TO. 1971. Dormancy of trees in winter. *Science* 171:29-36.
150. Peterson B y Saxon A. 1996. Global increases in allergic respiratory disease: The possible roles of Diesel exhaust particles. *Ann Allergy* 77:263-268.
151. Pla Dalmau JM. 1960. *Estudios palinológicos y precisiones morfológicas sobre los granos de polen de quinientas especies botánicas del extremo NE de España*. Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Univ. Barcelona, Barcelona.
152. Pla Dalmau JM. 1961. *Pollen*. Talleres gráficos D.C.D. Gerona, España. 510 pp.
153. Pohl F. 1937. Die Pollenerzeugung der Windbluetler. Eine vergleichende Untersuchung mit Ausblicken auf die Bestäubung der tierbluetigen Gewaechse und die pollenanalytische Waldgeschichte. - In: *Untersuchung zur Morphologie und Biologie des Pollen* VI. - Bhf. Bot. Zentralbl. 56A: 365 - 471.
154. Porsbjerg C, Rasmussen A. y Backer V. 2003. Airborne pollen in Nuuk, Greenland, and the importance of meteorological parameters. *Aerobiología* 19:29-37.
155. Prescott L, Harley J y Klein D. 2004. *Microbiología*. Quinta edición. McGrawhill -Interamericana de España. Madrid, España, pp. 1-18.

156. PROGAN. Programa de Uso Sustentable de Recursos Naturales para la producción primaria, Componente: Producción pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola. 2010. Versión electrónica disponible en: http://www.inifap.gob.mx/inicio/guias/guia_df.pdf.
157. 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.
158. Punt W, Hoen PP, Blackmore S, Nilsson S y Thomas A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. Second and revised edition, 2007. Versión electrónica disponible en: <http://www3.bio.uu.nl/palaeo/glossary/glos-p4.htm>
159. Ramírez AE, Melchor SJ, Martínez E y Lozano S. 1995. Análisis de polen y fungosporas de la atmósfera en el sudoeste de la Ciudad de México, durante el segundo semestre de 1988. *Colección científica, Serie Arqueología INAH* 294:155-169.
160. Rantio A, Helander ML y Pessi AM. 1991. Circadian periodicity of airborne pollen and spores; Significance of sampling height. *Aerobiología* 7:129-135.
161. Raven P. 1999. *Biology of plants*. Sexta edición. Freeman and Company.
162. Recio M. 1995. *Análisis polínico de la atmósfera de Málaga (1991-1994). Relación con los parámetros meteorológicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología Vegetal. 304 pp.
163. Recio M, Trigo MM, Toro FJ. y Cabezudo B. 1996. Caracterización del contenido polínico invernal de la atmósfera de Málaga. *Acta Botánica Malacitana* 21:65-70.
164. Recio M, Trigo MM, Toro FJ. y Cabezudo B. 1998. Incidencia del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Botánica Malacitana* 23:121-131.
165. Recio M, Trigo MM, Toro FJ y Cabezudo B. 1999. Incidencia del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Botánica Malacitana* 24:77-88.
166. Reiche C. 1963. *Flora excursoria en el Valle Central de México*. Instituto politécnico Nacional. Editorial politécnica.
167. Richet C. 1902. Du poison pruritogene et urticant contenu dans les tentacules d'Actinies. *C.R. Soc. Biol. Paris*. 54:1438-1440.
168. Ring J, Kramer U y Behrendt H. 2002. A critical approach to the hygiene hypothesis. *Clin Exp Allergy Rev*. 4(2):40-44.
169. Rivas M. 1994. *Alergia a frutas de la familia Rosáceae y polinosis. Estudio de alergenidad y comunidad alérgica*. Tesis Doctoral. Departamento de medicina. Universidad de Alcalá. España.
170. Rizzi L, Pizzulin ML y Ganis P. 2004. Aerobiology of Urticaceae pollen in Trieste (NE Italy). *Aerobiología* 20:53-61.
171. Rocha A, Alvarro MA, Torres TE y Foughbakhch 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.

172. Rodríguez FJ, Seijo MC y Jato MV. 2000. Incidencia de las concentraciones del polen de Urticaceae en la atmósfera de Vigo (1995-1997). *Botánica Complutensis* 24:89-100.
173. Rodríguez FJ, Jato MV y Aira MJ. 2002. El polen de Poaceae en la atmósfera de Lugo y su relación con los parámetros meteorológicos (1999-2001). *Acta Botánica Malacitana* 27:49-63.
174. Rodríguez-Sánchez LM y Cohen-Fernández EJ. 2003. *Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México*. UAM-GDF. 383 pp.
175. Rosales LJ. *Análisis aeropalínológico 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.
176. Roubik D y Moreno JE. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Panama. 268 pp.
177. Roure JM. 1985. Palinología Ibérica. Fam. 1 a 20. Cupressaceae a Betulaceae. *Orsis* 1:43-69.
178. Rzedowski J. 1981. *Vegetación de México*. Editorial Limusa.
179. Rzedowski GC y 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.
180. Sáenz C. 1978. *Polen y esporas (Introducción a la Palinología y vocabulario palinológico)*. Ed. H. Blume. Madrid.
181. Salazar L. 1995. *Estudio anual del polen atmosférico en la zona sur de la Ciudad de México*. Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM, México.
182. Salazar MM. 1940. Estudio de los granos de polen de la atmósfera de la Ciudad de México. *Rev Soc Mex Hist Nat.* 1:147-164.
183. Sánchez-Del pino I, Flores H y Valdés J. 1999. La familia Amaranthaceae en la flora halófila y gipsófila de México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 70(1): 29-135.
184. Sarricolea P, Aliste E, Castro P y Escobedo C. 2008. Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología* 8: 71-84.
185. Shripad A y Caulton E. 2009. *Pollen and Spores: Applications with Special Emphasis on Aerobiology and Allergy*. Science Publishers, Pp. 168-224.
186. Singh AB. 1987. Airborne pollen type of allergenic significance in India. *Advances in Aerobiology. (Experientia), Birkhauser, Basel* 5(l) :61-64.
187. Soejarto D. y Fonnegra R. 1972. Polen: Diversidad en formas y tamaños. *Actualidades biológicas. Medellín* 1(1): 2 - 13.
188. Spiekma FTHM. 1983. Fluctuations in grass-pollen counts in relation to nightly inversion and air pollution potential of the atmosphere. *International Journal of Biometeorology* 27:107-116.
189. Spiekma FTHM. 1992. Allergological aerobiology. *Aerobiología* 8:5-8.

190. Spieksma FTHM, Frenguelli G, Nikkels AH, Mincigrucci G, Smithvis LOMJ, Bricchi E y Dankart W. 1989. Comparative study of airborne pollen concentrations in Central Italy and the Netherlands, 1982-1985. *Grana* 28: 25-36.
191. 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.
192. Spieksma FTHM, Emberlin JC, Hjelmroos M, Jäger S. y Leuschner RM. 1995. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana* 34: 51-57.
193. Stanley RG y Linskens HF. 1974. *Pollen. Biology Biochemistry Management*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. New York.
194. Subba C y Reddi NS. 1986. Pollen production in some anemophilous angiosperms. *Grana* 25:55-61.
195. Telleria MC. 2009. Asteraceae visited by Honeybees in Argentina: A record from entomopalynological studies. *Bol.Soc.Argent.Bot.* 44(1-2):65-74.
196. Terán LM, Haselbarth MN y Quiroz L. 2009. Alergia, granos de polen y medio ambiente. *Gac Méd Méx.* 145 (3):215-222.
197. Toretta JP y Basilio AM. 2008. Dispersión polínica y éxito reproductivo de cuatro especies arbóreas de un bosque xerófilo de Argentina. *Rev Biol Trop.* 57(1-2):283-292.
198. Tormo R, Muñoz A, Silva I y Gallardo F. 1996. Pollen production in anemophilous trees. *Grana* 35: 38-46.
199. 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.
200. Trigo MM y Fernández I. 1995. Contribución al estudio polínico de especies ornamentales con interés alérgico, cultivadas en Málaga: Monocotiledóneas. *Acta Botánica Malacitana* 20:61-70
201. Trigo MM, Cabezudo B, Recio M y Toro FJ. 1996. Annual, daily and diurnal variations in Urticaceae airborne pollen in Málaga (Spain). *Aerobiología* 12: 85-90.
202. Trigo MM, Recio M y Toro F. 1997. Intradial fluctuations in airborne pollen in Málaga (S.Spain): A quantitative method. *Grana* 36:39-43.
203. Trigo MM, Melgar M, García J, Recio M, Docampo S y Cabezudo B. 2007. *El polen en la atmósfera de Vélez-Málaga*. Concejalía Medio Ambiente. Ayuntamiento de Vélez (Málaga).
204. Trigo MM, Jato V, Fernández D. y Galán C. 2008. *Atlas Aeropalinológico de España*. Sec. de Publicaciones. Universidad de León.
205. Trivi ME, Burry SL y D'Antoni HL. 2006. Dispersión- depositación del polen actual en Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 89-95.
206. 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.
207. Velázquez RM. 1995. *Los árboles de las áreas verdes del centro de la ciudad de Oaxaca de Juárez*. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Xoxocotlán, Oaxaca. 143 pp.
208. Vik M, Florvaag E y Elsayed S. 1991. *Allergenic Significance of Betula (Birch) Pollen. Allergenic Pollen and Pollinosis in Europe*. Oxford: Blackwell, pp. 94-97.
209. VonWahl PG y Puls KE. 1989. The emission of mugwort pollen (*Artemisia vulgaris* L.) and its flight in the air. *Aerobiología* 5:55-63.
210. Waisel Y, Keynan N, Geller C y Dolev Z. 1991. Urban pollution with allergenic pollen: Sources and consequences. En: M.A. Ozturk, U. Erdem and G. Gork (eds), *Urban Ecology*. Ege University Press, Izmir, pp. 24-38.
211. Waisel Y, Meinis Z y 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.
212. WAO white book on allergy 2011-2012: executive summary. Versión electrónica disponible en: http://www.worldallergy.org/publications/wao_white_book.pdf
213. Wareing PE y Phillips IDJ. 1978. Plant growth hormones and their metabolism. En: *The control growth and differentiation in plants*. 2nd ed. Pp. 47-70. Oxford; Pergamon press.
214. Wilkinson MJ. 1989. Pollen and climate change. *Aerobiología* 5:3-8.
215. Wodehouse RP. 1971. *Hayfever plants* (2nd edn). Hafner Publishing New York.
216. Zapata-Jiménez C. 2003. Interpretación de los recuentos de granos de polen. *Alergol Inmunol Clin*. 18:50-56.
217. Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD y Straka JG. 2002. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and allergic bronchial asthma. *Eur Respir J*. 20:763-76.
218. Zitácuaro A, Caetano E y Tejeda A. 2004. *Circulación Atmosférica Local en el Valle de México, Durante el Experimento CAM-MIT-2002: Análisis de Diagnostico*. Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC): El Clima, entre el Mar y la Montaña. , Santander, España. 2-5 Noviembre.
219. Zivit N. 1942. Allergy to Australian pine. *J. Allergy* 13:314-316.

FOTOGRAFÍAS

Las fotografías de los ejemplares de las diversas especies presentadas, corresponden al trabajo de Pedro Tenorio Lezama, así como del Biólogo Felipe de Jesús Eslava Silva.

Aquellas correspondientes a los granos de polen fueron tomadas por la autora de esta tesis y el equipo de trabajo del laboratorio de Aeromicrobiología del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM,

RECURSOS CIBERNÉTICOS

URL 1: Informe climatológico ambiental del Valle de México 2006. Disponible en:
http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/infmeteorologia2006/05_capitulo1_2006.pdf

Último acceso: 8/07/2011

URL 2: Alergia al girasol. www.alergiaalimentaria.org. Disponible en:
<http://www.alergiaalimentaria.org/alergenos/alerggirasol.pdf>

Último acceso: 08/07/2011

URL 3: Las precipitaciones extremas en la Ciudad de México. Jáuregui E. Disponible en:
<http://www.colegiodepilotos.org.mx/cabina/bolet26/27.pdf>

Último acceso: 8/07/2011

URL's 4 – 58. Página web del servicio: www.pollenlibrary.com

Último acceso: 01/mayo/2011

URL 4: *Acacia*

http://www.pollenlibrary.com/searchresults.aspx?search=Zip_Plant&plantname=ACACIA&isLatin=true

URL 5: *Acer negundo*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Acer+negundo/>

URL 6: *Alnus glutinosa*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Alnus+glutinosa/>

URL 7: *Carpinus caroliniana*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Carpinus+caroliniana>

URL 8: *Carya alba*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Carya+alba>

URL 9: *Casuarina equisetifolia*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Casuarina+equisetifolia/>

URL 10: *Citrus sinensis*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Citrus+sinensis/>

URL 11: *Corylus americana*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Corylus+americana/>

URL 12: *Corylus avellana*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Corylus+avellana/>

URL 13: *Corylus cornuta*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Corylus+cornuta/>

URL 14: *Cupressus macrocarpa*

<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Cupressus+macrocarpa/>

URL 15: *Fagus grandifolia*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Fagus+grandifolia/>

URL 16: *Fraxinus cuspidata*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Fraxinus+cuspidata/>

URL 17: *Fraxinus uhdei*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Fraxinus+uhdei/>

URL 18: *Ginkgo biloba*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ginkgo+biloba/>

URL 19: *Juglans nigra*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Juglans+nigra/>

URL 20: *Ligustrum japonicum*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ligustrum+japonicum/>

URL 21: *Ligustrum lucidum*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ligustrum+lucidum/>

URL 22: *Ligustrum vulgare*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ligustrum+vulgare/>

URL 23: *Liquidambar styraciflua*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Liquidambar+styraciflua/>

URL 24: *Morus nigra*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Morus+nigra/>

URL 25: *Eucalyptus camaldulensis*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Eucalyptus+camaldulensis/>

URL 26: *Callistemon citrinus*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Callistemon+citrinus/>

URL 27: *Olea europea*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Olea+europaea/>

URL 28: *Palmae robusta*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Washingtonia+robusta/>

URL 29: *Phoenix canariensis*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Phoenix+canariensis/>

URL 30: *Sabal mexicana*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Sabal+mexicana/>

URL 31: *Pinus radiata*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Pinus+radiata/>

URL 32: *Platanus occidentalis*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Platanus+occidentalis/>

URL 33: *Populus alba*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Populus+alba/>

URL 34: *Populus deltoides*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Populus+deltoides/>

URL 35: *Populus nigra*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Populus+nigra/>

URL 36: *Quercus macrocarpa*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Quercus+macrocarpa/>

URL 37: *Ricinus communis*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ricinus+communis/>

URL 38: *Salix alba*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Salix+alba/>

URL 39: *Schinus molle*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Schinus+molle/>

URL 40: *Tamarix aphylla*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Tamarix+aphylla/>

URL 41: *Tilia americana*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Tilia+americana/>

URL 42: *Ulmus americana*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ulmus+americana/>

URL 43: *Ulmus parvifolia*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ulmus+parvifolia/>

URL 44: *Ambrosia ambrosioides*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Ambrosia+ambrosioides/>

URL 45: *Artemisia annua*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Artemisia+annua/>

URL 46: *Cannabis sativa*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Cannabis+sativa/>

URL 47: *Chenopodium ambrosioides*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Chenopodium+ambrosioides/>

URL 48: *Heliantus annuus*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Helianthus+annuus/>

- URL 49: *Mercurialis annua*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Mercurialis+annua/>
- URL 50: *Plantago major*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Plantago+major/>
- URL 51: *Prunus armeniaca*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Prunus+armeniaca/>
- URL 52: *Prunus domestica*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Prunus+domestica/>
- URL 53: *Prunus pérsica*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Prunus+persica/>
- URL 54: *Rumex obtusifolius*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Rumex+obtusifolius/>
- URL 55: *Parietarua pensylvanica*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Parietaria+pensylvanica/>
- URL 56: *Urtica urens*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Urtica+urens/>
- URL 57: *Paspalum dilatatum*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Paspalum+dilatatum/>
- URL 58: *Poa annua*
<http://www.pollenlibrary.com/Specie/Poa+annua/>
- URL 59: Página de la CONABIO: *Fraxinus uhdei*
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf
- URL 60: Página de la CONABIO: *Urtica dioica*
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/urticaceae/urtica-dioica/fichas/ficha.htm>
- URL 61: Página de la CONABIO: *Schinus molle*
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/3-anaca4m.pdf
- URL 62: Fotografía tomada de: Robert W. Freckmann Herbarium.
<http://wisplants.uwsp.edu/scripts/detail.asp?SpCode=RUMOBT>

Anexo 2

Lista de especies presentes en la flora de Chapultepec (GUERRERO 1997; GDFA 2006; GDFB 2006; INIFAP Y PROBOSQUE DE CHAPULTEPEC, 2008).

Especie	Nombre común	Familia
<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, moco de pavo	Amaranthaceae
<i>Iresine celosia</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 coccinea</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
<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

Especie	Nombre común	Familia
<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 ssp.</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 Maritima, 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 comun	Brassicaceae
<i>Bursera fagaroides</i>	Cuajote amarillo	Burseraceae
<i>Bauhinia grandiflora</i>	Pata de vaca	Caesalpinaceae
<i>Lobelia guina</i>	Flor de María	Campanulaceae
<i>Lobelia laxiflora var. angustifolia</i>	Aretitos	Campanulaceae
<i>Celtis australis</i>	Almez	Cannabaceae/Ulmaceae
<i>Celtis occidentalis</i>	Celtis	Cannabaceae/Ulmaceae
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	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 murocoides</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
<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

Especie	Nombre común	Familia
<i>Acacia nerifolia</i>	Zarzo del Oleander	Fabaceae
<i>Acacia retinodes</i>	Acacia café	Fabaceae
<i>Acacia retinoides</i>	Acacia plateada	Fabaceae
<i>Calliandra grandiflora</i>	Plumerillo	Fabaceae
<i>Calliandra sp.</i>	Plumerillo	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 bormio	Fagaceae
<i>Quercus ilex 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>Keamemalvastrum 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 benjamina</i>	Laurel llorón	Moraceae
<i>Ficus carica</i>	Higo	Moraceae
<i>Ficus elastica</i>	Hule	Moraceae
<i>Ficus retusa</i>	Laurel de la india	Moraceae
<i>Maclura pomifera</i>	Naranjo de Loisiaana	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 polyanthemom</i>	Eucalipto dólar	Myrtaceae
<i>Eucalyptus robusta</i>	Eucalipto	Myrtaceae

Especie	Nombre común	Familia
<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</i> Ocate	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
<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

Especie	Nombre común	Familia
<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</i> spp. <i>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>Dasyllirion</i> sp.	Palma sotol	Ruscaceae
<i>Citrus limon</i>	Limonero	Rutaceae
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	Rutaceae
<i>Citrus</i> sp.	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</i> sp.	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>	Chichiqueliltl, hierba mora	Solanaceae
<i>Solanum nudum</i>	Chichiqueliltl	Solanaceae
<i>Solanum rostratum</i>	Mala mujer	Solanaceae
<i>Sophora japonica</i>	Acacia de Japón	Solanaceae
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Taxodiaceae
<i>Tropaelum majus</i>	Capucchina	Tropaeolaceae
<i>Ulmus americana</i>	Olmo	Ulmaceae
<i>Ulmus parvifolia</i>	Olmo chino	Ulmaceae

Tabla 16. Especies vegetales presentes en el Bosque de Chapultepec organizadas por familia (GUERRERO 1997; GDFa 2006; GDFB 2006; INIFAP y PROBOSQUE de Chapultepec, 2008),

Anexo 3

Procedimiento para calcular el factor de corrección:

Se debe medir el campo de visión con el microscopio a utilizar a 40x10 aumentos.

Caso práctico: Considerando un diámetro del campo de visión de 0.45 mm:

Volumen de succión: 10 l/min = 600 l/hora = 14400 l/día = 14,4 m³

Diámetro medio del campo de visión al microscopio: 0,45 mm

Área de 1 barrido horizontal= 48 mm x 0,45 mm = 21,6 mm²

Superficie analizada = 21,6 x 4 barridos = 86,4 mm²

Superficie total muestreada = 48 mm largo x 14 mm ancho = 672 mm²

Contenido de partículas por metro cúbico de aire = (672 mm²/86.4 mm²) x (1/14.4) x N

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

Contenido de partículas por metro cúbico de aire = N x 0.54

Anexo 4

Procedimiento para calcular el Periodo Principal de Polinación (PPP) por el método del 5% (Ándersen 1991):

1. Se calcula el índice polínico anual, que es la \sum de las concentraciones medias diarias durante el periodo de muestreo. Este valor se toma como el 100%
2. Con base en el IPA, se calcula el porcentaje que representa cada una de las concentraciones medias diarias, posteriormente se calcula el porcentaje acumulado para toda la muestra, el porcentaje acumulado de la última concentración media diaria debe ser 100%.
3. Se busca en la serie de datos los porcentajes acumulados correspondientes al 2.5% y al 97.5% para ubicar la escala de tiempo de duración del PPP.
4. El pico máximo es el día en el cual se registra la mayor concentración de granos de polen/m³ de aire y se ubica dentro del PPP.
5. Tras determinar el pico máximo, podemos obtener el periodo pre-pico, que corresponde al periodo de tiempo entre el principio del PPP y el pico máximo, así como, el periodo post-pico, correspondiente al periodo entre el pico máximo y el final del PPP.

Anexo 5

Procedimiento para calcular la variación intradiaria:

Para el taxón de interés, se calcula la media a partir del índice polínico anual, dividiéndolo entre los días que duro el muestreo (365 para los muestreos anuales).

1. Se seleccionan aquellos días con una concentración media diaria superior a la media calculada anteriormente, y que se encuentren dentro del PPP, para trabajar con los recuentos directos por hora (24 horas).
2. Una vez extraídos los recuentos de los días seleccionados, se calcula una \sum por cada una de las 24 horas del día, para finalmente obtener una \sum total a partir de la suma de estas (este valor se toma como 100%)
3. Se calcula el porcentaje que representa cada una de las \sum de las 24 horas y se grafica, obteniéndose una curva que describe la liberación de granos de polen a lo largo de las 24 horas del día. Se puede generalizar mas el comportamiento intradiario trabajando con porcentajes acumulados cada 2 horas.

Una vez realizado el análisis de variación intradiaria se procede al cálculo del Índice de distribución Intradiaria (IDI) (TRIGO ET AL., 1997).

La formula es $IDI = \frac{M-m}{T}$

Donde M corresponde al valor máximo de las \sum horarias

Donde m corresponde al valor mínimo de las \sum horarias

Donde T corresponde al valor de la \sum total

Si el IDI obtenido es menor a 0.1 entonces se afirma que los picos son inestables, y se pueden presentar en cualquier hora del día. Si el IDI oscila entre 0.1 y 0.2 los picos son moderados y demuestran un aumento gradual en la liberación del polen a la atmósfera.

Finalmente, si el IDI resulta mayor a 0.2 se considera que el taxón presenta un pico estable, observándose una liberación de polen en un periodo de tiempo determinado del día.