



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Biología

“Caracterización y cuantificación de polen atmosférico en el norte de la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro.”

TESIS INDIVIDUAL

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología**

Presenta:

FÁTIMA OJEDA FLORES

Dirigido por:

DR. LUIS GERARDO HERNÁNDEZ SANDOVAL

Santiago de Querétaro, Qro. Enero 2020

*A MI PADRE FRANCISCO OJEDA POR VOLVER A CREER EN
MÍ Y APOYARME ECONÓMICAMENTE Y MORALMENTE.*

*A MI MADRE FABIOLA FLORES POR VELAR QUE SIEMPRE
ME FUERA BIEN Y VOLVER A CONFIAR EN MÍ.*

*A MIS DOS HERMANOS QUE VOLVIERON A CONFIAR
CIEGAMENTE EN MÍ.*

A MI ABUELITA JOAQUINA POR SUS CONSEJOS Y APOYO.

ESTA TESIS ES POR Y PARA ELLOS, GRACIAS

Dirección General de Bibliotecas UAQ

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio Nacional de Identificación y caracterización vegetal (LANIVEG) por darme la oportunidad de participar en su proyecto y brindar todo el equipo necesario para llevar a cabo el trabajo.

A la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro por facilitarme el uso de sus equipos e instalaciones.

A los integrantes del laboratorio de botánica por abrirme las puertas y ser parte del equipo que lo conforma.

Al Dr. Luis Hernández Sandoval por su tiempo, apoyo y conocimiento para llevar a cabo este trabajo.

A la M. en C. Ana Lucía Tovar y al Dr. César Guerrero por el tiempo que dedicaron en guiarme a obtener una correcta identificación de los granos de polen y ser parte de mi comité de revisión.

A la Dra. Mahinda Martínez por formar parte de mi comité de revisión y sus valiosos comentarios al trabajo.

A la Bióloga María Fernanda Contreras y las alumnas de servicio social Nayeli Pérez y Daniela Bonilla, por su ayuda en la observación de muestras y cambio del monitor, sé muy bien que es un trabajo de mucha dedicación y horas bajo el microscopio, gracias por su tiempo.

A mis mejores amigos Paola Lugo, Braulio Carrillo y Manuel Navarrete, por la maravillosa amistad que fuimos formando durante la carrera y sobre todo por apoyarme y animarme en todo momento.

A mi compañero y amigo de laboratorio José Alan Herrera, por su tiempo para ayudarme a resolver dudas, en las traducciones de español a inglés y porqué en muy corto tiempo se convirtió en un gran amigo.

A mis compañeros de generación, por los divertidos momentos que pasamos durante la carrera.

A mi profesor de biología de la secundaria Hugo Carlos Cázares Sánchez, quien con sus clases interactivas y enriquecedoras me motivo a estudiar esta bonita rama de la ciencia.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Aerobiología.....	3
2.2 Aeropalinología	3
2.3 Grano de polen	3
2.4 Polinización.....	11
2.5 Polinosis.....	11
2.6 Alergias y aeroalérgenos	11
2.7 Polinosis en México	12
2.8 Método de muestreo	12
2.9 Antecedentes internacionales	13
2.10 Antecedentes Nacionales	14
3. HIPÓTESIS	18
4. OBJETIVOS	18
5. MÉTODO.....	19
5.1 Área de estudio.....	19
5.2 Características de la localidad de muestreo.	19
5.3 Vegetación	19
5.4 Método de muestreo	20
5.5 Preparación de la unidad de impacto.....	21
5.6 Colocación de la unidad de impacto en la trampa de esporas tipo Hirst22	
5.7 Preparación de muestras.....	22
5.8 Identificación y conteo de granos de polen	23
5.9 Expresión de los resultados	24

5.10	Índice polínico anual	24
5.11	Estacionalidad.....	25
5.12	Periodo principal de polinación (PPP).....	25
5.13	Variación intradiaria	25
5.14	Comparación con variables meteorológicas	26
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1	Datos polínicos	27
6.2	Tipos polínicos principales	28
6.3	Tipos polínicos de menor incidencia	70
6.4	Esporas en la atmósfera	71
7.	DISCUSIÓN GENERAL	73
7.1	Variación estacional.....	73
7.2	Variación intradiaria	74
7.3	Relación con las variables meteorológicas	75
8.	CONCLUSIONES.....	77
9.	REFERENCIAS.....	79
10.	ANEXOS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distintas agrupaciones de granos de polen..	4
2. Polaridad.	5
3. Simetría del polen.	6
4. Trampa de esporas tipo Hirst.	21
5. Concentración mensual de granos de polen en el periodo de junio-2018 a mayo 2019.	28
6. Grano de polen de Poaceae (40x10 aumentos)	28
7. Concentración atmosférica diaria de polen de Poaceae.	30
8. Distribución intradiaria de Poaceae durante el año de muestreo.	31
9. Granos de polen de Asteraceae (40x10 aumentos)	33
10. Concentración atmosférica diaria de polen de Asteraceae.	34
11. Distribución intradiaria de Asteraceae durante el año de muestreo.	35
12. Grano de polen de Celtis sp. (40 x 10 aumentos).	36
13. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Celtis</i> sp.	37
14. Distribución intradiaria de <i>Celtis</i> sp. durante el año de muestreo.	38
15. Grano de polen de Pinus sp. (40x10 aumentos)	39
16. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Pinus</i> sp.	40
17. Distribución intradiaria de <i>Pinus</i> sp. durante el año de muestreo.	41
18. Grano de polen de Mimosa sp. (40x10 aumentos)	43
19. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Mimosa</i> sp.	44
20. Distribución intradiaria de <i>Mimosa</i> sp. durante el año de muestreo.	45
21. Grano de polen de Amaranthaceae (40x10 aumentos)	46
22. Concentración atmosférica diaria de polen de Amaranthaceae	47
23. Distribución intradiaria de Amaranthaceae.	48
24. Grano de polen de <i>Ricinus communis</i> (40x10 aumentos)	50
25. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Ricinus communis</i>	50
26. Distribución intradiaria de <i>Ricinus communis</i>	51
27. Grano de polen de Morus sp. (40x10 aumentos).	53
28. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Morus</i> sp.	53
29. Distribución intradiaria de <i>Morus</i> sp.	54
30. Grano de polen de Cupressaceae (40 x 10 aumentos)	56
31. Concentración atmosférica diaria de polen de Cupressaceae	57
32. Distribución intradiaria de Cupressaceae	58
33. Grano de polen de <i>Quercus</i> sp. (40x10 aumentos)	60
34. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Quercus</i> sp.	60
35. Distribución intradiaria de <i>Quercus</i> sp.	61
36. Grano de polen de Casuarina sp. (40x10 aumentos)	63
37. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Casuarina</i> sp.	64
38. Distribución intradiaria de <i>Casuarina</i> sp.	65
39. Grano de polen de Populus sp. (40 x 10 aumentos)	67

40. Concentración atmosférica diaria de polen de <i>Populus</i> sp.	67
41. Distribución intradiaria de <i>Populus</i> sp..	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Clasificación de Erdtman (1952) en función de la relación P/E.....	7
2. Tipos polínicos y su concentración mensual (granos de polen/m ³ de aire)	29
3. Correlación entre la concentración de granos de polen de Poaceae con las variables climáticas.....	31
4. Correlación entre la concentración de granos de polen de Asteraceae con las variables climáticas.....	35
5. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Celtis</i> sp. con las variables climáticas.....	38
6. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Pinus</i> sp. con las variables climáticas.....	41
7. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Mimosa</i> sp. con las variables climáticas.....	45
8. Correlación entre la concentración de granos de polen de Amaranthaceae con las variables climáticas.....	48
9. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Ricinus communis</i> con las variables climáticas.....	52
10. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Morus</i> sp. con las variables climáticas.....	55
11. Correlación entre la concentración de granos de polen de Cupressaceae con las variables climáticas.....	58
12. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Quercus</i> sp. con las variables climáticas.....	62
13. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Casuarina</i> sp. con las variables climáticas.....	65
14. Correlación entre la concentración de granos de polen de <i>Populus</i> sp. con las variables climáticas.....	69

RESUMEN

Los estudios aeropalinológicos son importantes en problemas de salud relacionada con alergias ya que generan información precisa de las especies que las provocan en diferentes épocas del año. En México existen varios estudios de polen atmosférico en diversas ciudades donde se han registrado granos de polen de diferentes especies y concentraciones a través del tiempo. Sin embargo, para Querétaro no se cuenta con este tipo de registros. El objetivo de este trabajo fue monitorear el norte de la ciudad de Querétaro en un periodo anual para identificar y cuantificar los granos de polen presentes en el aire. El muestreo se hizo del 31 de mayo del 2018 al 31 mayo del 2019, con registros semanales, utilizando una trampa de esporas tipo Hirst (Burkard Co.) y procesando muestras con glicerogelatina teñida con verde rápido y se observaron al microscopio para lograr su identificación. Como resultado, se identificaron 56 tipos polínicos, la cantidad total de granos de polen en el año fue de 2,681 GP/m³ de aire, se reconocieron 25 familias y 12 de ellas son las más representativas en la atmósfera, presentando el Índice Polínico Anual arriba del 1%: Poaceae (25.17%), Asteraceae (10.96%), Cannabaceae con el género *Celtis* (9.21%), Pinaceae con el género *Pinus* (9.09%), Fabaceae con dos géneros, *Acacia* y *Mimosa*, este último fue el que obtuvo mayor concentración (8.20%), Amaranthaceae (7.02%), Moraceae con el género *Morus* (5.09%), Euphorbiaceae con la especie de *Ricinus communis* (5.74%), Cupressaceae (4.5 %), Fagaceae con el género *Quercus* (2.9%), Casuarinaceae con el género *Casuarina* (1.88%) y la familia Salicaceae con el género *Populus* (1.5%). De estos granos de polen, Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, Cupressaceae, *Ricinus communis*, *Quercus* sp. y *Populus* sp. son potencialmente alergénicos.

Palabras clave: aeropalinología, alergias, México, polen, trampa de esporas.

ABSTRACT

Aeropalynology studies are important for health problems related to allergies, they bring precise information about the species that induce this allergies in different seasons though the year. There are some studies in different cities in Mexico about the atmospheric pollen where the concentration and related species have been registered. Nevertheless, the city of Queretaro has no record of this kind of studies. The aim of this work was to monitor the north side of Queretaro City though an entire year to identify and quantify the pollen grains present in the air. The samples were obtained every week, from July 2018 to May of 2019 weekly using the Hirst type Spore Trap (Burkard Co) instrument. The samples were processed with glycerol gelatin aqueous slide mounting medium and stained with fast green and observed though microscope for identification. As a result, 56 pollen types were identified. The pollen concentration was 2,681 GP/m³. Twenty five families were identified and 12 of them are representative in the atmosphere, with the Annual Pollen Index above 1%: Poaceae (25.17%), Asteraceae (10.96%), Cannabaceae with the genus *Celtis* (11.10%), Pinaceae with the genus *Pinus* (9.09%), Fabaceae with two genera, *Acacia* and *Mimosa*, the latter was the one with the highest concentration (8.20%), Amaranthaceae (7.02%), Moraceae with the genus *Morus* (5.09%), Euphorbiaceae with the species *Ricinus communis* (5.74%), Cupressaceae (4.5 %), Fagaceae with the genus *Quercus* (2.9%), Casuarinaceae with the genus *Casuarina* (1.88%) and the Salicaceae family with the genus *Populus* (1.5%). Out of the pollen grains identified, Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, Cupressaceae, *Ricinus communis*, *Quercus* and *Populus* are potentially allergenic.

Key words: Aeropalynology, allergies, Mexico, pollen, spore-trap.

1. INTRODUCCIÓN

En la atmósfera no solo encontramos gases de carbono, oxígeno y nitrógeno, también se encuentran pequeñas partículas aerovagantes como virus, bacterias, polen, esporas, fragmentos de plantas, pelos y escamas de animales, algas, semillas diminutas e insectos. La rama que se dedica al estudio de origen, emisión y dispersión de estas partículas en la atmósfera es la aerobiología (Cervigón *et al.*, 2016). De estas partículas hay que señalar los granos de polen, los cuales son considerados alérgenos que pueden desencadenar reacciones alérgicas en personas muy susceptibles, la rama encargada del estudio específico de los granos de polen presentes en la atmósfera es la aeropalinología.

La principal causa de morbilidad hospitalaria y de ingresos a urgencias pediátricas se debe a las reacciones alérgicas que produce el polen (Terán *et al.*, 2009), por este motivo los estudios aerobiológicos proveen información valiosa respecto a qué tipo de granos de polen se encuentran en la atmósfera y lograr prevenir a pacientes que sufren de polinosis. Este tipo de estudio también es una herramienta para conocer cómo ha evolucionado la vegetación de algún lugar, de igual manera es un indicador para conocer la riqueza de plantas en la zona.

El estudio de los granos de polen no solo es importante en botánica y medicina, también es importante para medir la calidad de aire y en fitopatología, debido a que en los estudios aerobiológicos también se observan esporas de hongos. Con esta información se puede conocer en qué temporadas y cuáles esporas de hongos están presentes en la atmósfera y así se puede prevenir plagas que afecten los cultivos (Hirt, 1991), de igual manera puede ayudar a prever cosechas de varios cultivos, como el olivo (González y Candau, 1995).

En México hay pocos estudios de polen atmosférico (Salazar, 1940; Rocha *et al.*, 2009; Cid del Prado *et al.*, 2015; Ortega *et al.*, 2019; González-Lozano *et al.*, 1999), la mayoría de estos estudios se han desarrollado en la capital del país. Para el estado de Querétaro no se tienen registros, al ser el primero en su tipo, se generará información sobre las especies de plantas que presentan polinización aérea por lo cual se podrá hacer una comparación con las especies conocidas de la zona,

además será una herramienta en la medicina para prevenir y tener un posible tratamiento de polinosis en el estado.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2. ANTECEDENTES

2.1 Aerobiología

La aerobiología es una disciplina que estudia las partículas biológicas presentes en el aire. Este término fue acuñado por F.C. Meier en los años 30 para referirse esencialmente a las bacterias aéreas (Gregory, 1973), este concepto se fue ampliando y en el año de 1973 Edmonds y Benninghoff lo definieron como la Ecología de la atmósfera (Edmonds y Benninhoff, 1973), refiriéndose al estudio de la diversidad de partículas biológicas aerovagantes, esto incluye los procesos de liberación, emisión, dispersión, deposición e impacto de las mismas (Cervigón *et al.*, 2016).

El aire que respiramos no solo comprende gases de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, sino también trazas de otros gases y partículas orgánicas, estas pueden ser virus, bacterias, polen, esporas, fragmentos de plantas, pelos y escamas de animales, algas, semillas diminutas, insectos y materia fecal. Debido a esta gran diversidad de partículas y la dispersión aérea que presentan, muchas personas tienen reacciones alérgicas a estas partículas biológicas inhaladas (Lacey y West, 2006; Cervigón *et al.*, 2016).

2.2 Aeropalinología

En el año de 1944, Hyde describió la palinología como el estudio del polen de las plantas y su dispersión. Esta rama se dedicaba a estudiar la vegetación y analizar pólenes retenidos en sedimentos (paleopalinología). Tiempo después surgió otra rama, la aeropalinología, que estudia los pólenes y esporas presentes en la atmósfera (Belmonte y Roure, 2005).

2.3 Grano de polen

El polen fue conocido por el hombre y en ocasiones utilizado como alimento, desde la más remota antigüedad. Como término botánico, polen del latín *pollen-inis*, que significa “polvo muy fino”, fue usado por Lineo e incorporado al castellano por Cavanilles (Saenz, 1978).

Los granos de polen se forman en los sacos polínicos alojados en las anteras. En las angiospermas, se disponen en dos tecas con dos sacos polínicos cada una, mientras que en las gimnospermas se agrupan de formas diversas (Jato *et al.*, 2001). Una vez que los granos de polen se encuentran maduros son liberados comúnmente como células independientes que se denominan mónadas, en ocasiones la liberación no se hace de modo independiente, si no de dos en dos (diadas), o permanecen unidas cuatro células (tétradas), o lo hacen en grupos de dieciséis (poliadas) e incluso todas las tétradas del saco polínico permanecen unidas formando masas polínicas denominadas polinias (Jato *et al.*, 2001). Su función biológica es alcanzar la parte femenina de una flor de su misma especie y hacer posible la fecundación de la ovocélula (Valero *et al.*, 2002).

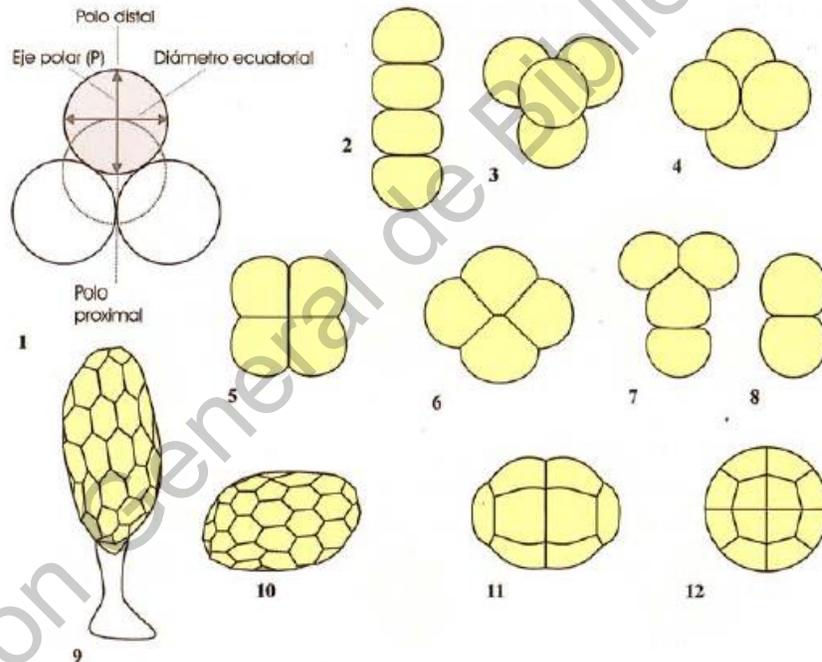


Figura 1. Distintas agrupaciones de granos de polen. 1: Polaridad. 2-7: Diferentes tipos de tétradas: lineal (2), tetraédrica (3), decusada (4), cuadrangular (5), tetragonal o romboidal (6), en forma de T (7). 8: Diada. 9-10: Polinias. 11-12: Poliadas (Trigo *et al.*, 2008).

2.3.1 Polaridad

En el proceso de formación de polen (meiosis), se obtiene una tétrada de la cual los granos de polen aún no se han independizado, en él se distinguen dos polos: *polo proximal*, aquel que está más cerca del centro de la tétrada y el *polo distal*, el cual se encuentra en el extremo opuesto, más alejado de la tétrada. Haciendo una línea

imaginaria de la unión de ambos puntos tendremos el *eje polar*. Y trazando una línea perpendicular al eje polar en su punto de mayor anchura, el *eje ecuatorial* (Fig. 1). Los ejes polar y ecuatorial permiten orientar el grano de polen y sus estructuras. Cuando la tétrada se separa, las aberturas van a ser los indicadores de la posición de estos ejes (Trigo *et al.*, 2008).

Cuando el polo proximal y polo distal son iguales en forma y en tamaño, se considera que el grano de polen es *isopolar*. Cuando ambos polos difieren en forma y/o en tamaño, se llama *heteropolar*. Cuando es difícil definir la polaridad, se dice que es apolar (Fig. 2).

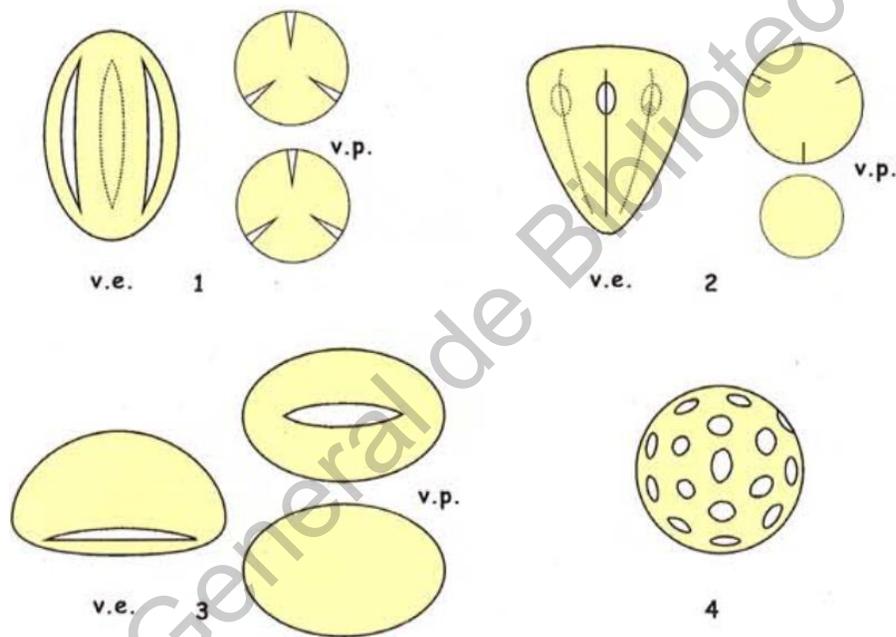


Figura 2. Polaridad: 1. Grano de polen isopolar. 2-3. granos de polen heteropolares 4. grano de polen apolar (Trigo *et al.*, 2008).

2.3.2 Simetría

La mayoría de los granos de polen van a presentar simetría, esta se define en vista polar. Cuando presenta tres o más planos de simetría es un grano de polen *radiosimétrico*, sí solo posee dos planos de simetría es *bisimétrico* y cuando no se observa ningún plano de simetría por la disposición de las aberturas se llama *asimétrico* (Fig. 3).

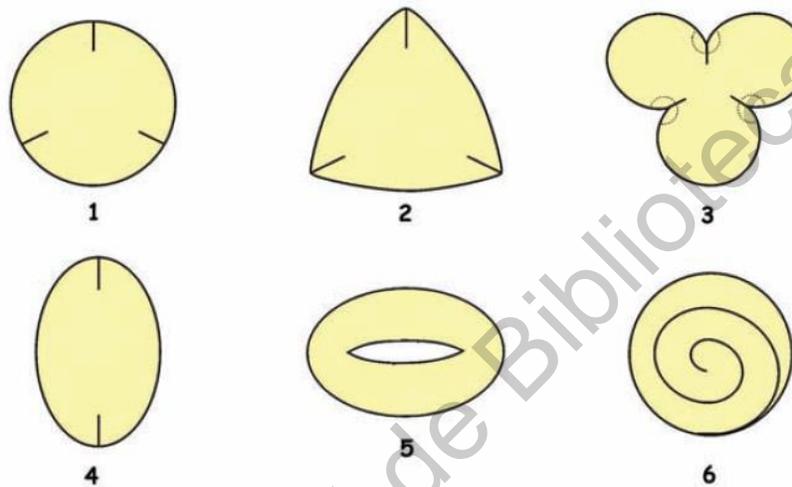


Figura 3. Simetría del polen. 1-3. Granos de polen radiosimétricos. 4-5. Granos de polen bisimétricos. 6. Granos de polen asimétricos (Trigo *et al.*, 2008).

2.3.3 Forma

La forma de un grano de polen se establece en vista polar y en vista ecuatorial. Esta forma puede a su vez describirse en función de la figura geométrica a la que se asemeja: triangular, circular, elíptico. O en función de la relación existente entre la longitud de los ejes polar (P) y ecuatorial (E), P/E. A partir de esta relación, diversos autores han establecido una terminología para dar nombre a la forma de los granos de polen, siendo la clasificación de Erdtman (1952) la más utilizada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de Erdtman (1952) en función de la relación P/E (Trigo *et al.*, 2008).

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

2.3.4 Tamaño

El tamaño de los granos de polen es diferente para cada especie de planta y llegan a medir entre 10 μm hasta 250 μm . El tamaño se define en función del eje (P ó E) de mayor longitud, en el caso de los granos de polen apolares se toma la medida del diámetro.

Erdtman (1952) estableció una clasificación de los granos de polen de acuerdo a su tamaño:

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

2.3.5 Estructura y ornamentación del polen

El grano de polen de las angiospermas tiene una pared compuesta de dos capas. La capa externa es llamada exina y está compuesta de esporopolenina, junto con cantidades pequeñas de polisacáridos. La capa interna, o intina se componen principalmente de celulosa (Moore *et al.*, 1991). En conjunto forman el esporoderma.

En la estructura de la exina se distinguen dos capas: la nexina y la sexina (Erdtman, 1966). La morfología de la nexina es homogénea, mientras que la sexina presenta elementos alargados a modo de pilares, columelas, y en conjunto constituyen el infratectum (Fig. 4).

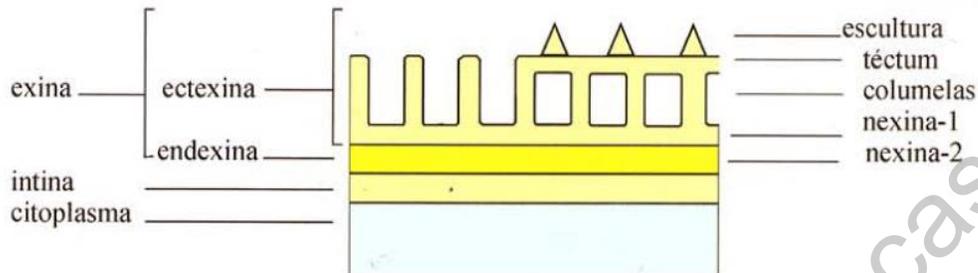


Figura 4. Capas de la sporodermis. Corte transversal (Trigo *et al.*, 2008).

La combinación de las características del tectum y los elementos suprategtales hacen que la superficie del grano de polen sea muy variada. El tectum puede ser continuo, con perforaciones o pequeños canales o no puede estar presente (**intectado**). Cuando el tectum está completo, puede ser liso (**psilado**), con estrías (**superficie estriada**), formar rúgulas, que son estrías onduladas que dan aspecto cerebroide (**superficie rugulada**). Cuando el tectum es parcial (zonas donde está ausente), lo más común es que se forme un retículo, llamándose lúmenes a las zonas donde falta el tectum y muros a las zonas donde éste se conserva. Se habla de granos de polen **reticulados** cuando la anchura del lumen es mayor que el grosor del muro, si sucede lo contrario, se habla de **fovéolas**. Si, por el contrario, fuesen alargados, se llaman granos de polen **fosulados** (Trigo *et al.*, 2008).

En cuanto a los elementos suprategtales, éstos pueden ser de varios (Fig. 5):

- **Gránulo:** Elementos suprategtales más o menos isodiamétricos, obtusos y de menos de 1 μm de diámetro.
- **Verruga:** Elementos isodiamétricos, obtusos de más de 1 μm de diámetro.
- **Espínula:** Elementos cónicos, de punta aguda o redondeada de menos de 3 μm de longitud.

- **Espina:** Elementos cónicos, de punta aguda o redondeada de más de 3 μm de longitud.
- **Gema:** Elemento obtuso, de más de 1 μm de diámetro, más largo que ancho y se encuentra constreñido en la base.
- **Clava:** Elemento más o menos comprimido, de más de 1 μm de longitud, más largo que ancho y se ensancha progresivamente hacia el ápice.
- **Báculo:** Elemento cilíndrico, más largo que ancho y más de 1 μm de longitud.
- **Pila:** elementos más o menos cilíndricos, más de 1 μm de longitud, más largos que anchos y presentan una dilatación brusca en la parte apical.
- Aquellos granos de polen con elementos irregulares menores a 1 μm y que no se asemejen a los antes mencionados se denominan **escábridos**.

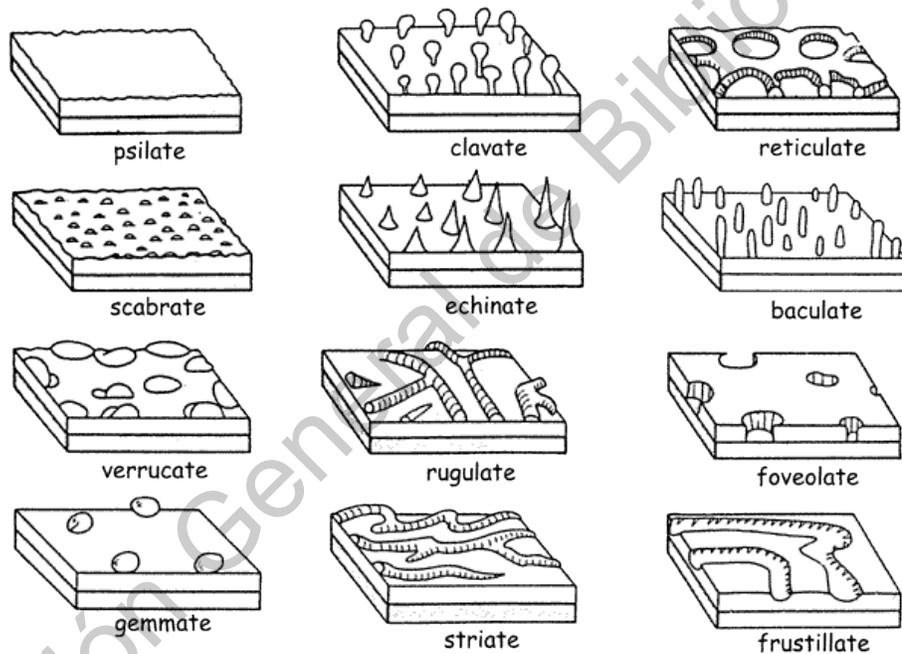


Figura 5. Superficie del tectum con elementos supratectales. Imagen extraída de internet (Andrade, s.f.).

Para la germinación del tubo polínico y permitir cambios de volumen de los granos de polen por humedad, estos cuentan con aberturas, las cuales son zonas de adelgazamiento o interrupción de la exina. Existen granos de polen inaperturados que no presentan aberturas definidas como el polen de las cupresáceas, otras veces presentan leptomas, que son zona adelgazadas de la exina, como el grano de polen de pino (Fig. 6).

Se distinguen dos tipos de aberturas:

- **Ectoaberturas:** Aquellas que afectan solamente la ectexina.
- **Endoaberturas:** Aquellas que afectan solamente la endexina.

Dependiendo de la forma de la abertura, puede ser de dos tipos:

- **Colpos:** cuando la relación longitud/anchura es mayor que 2 (medida de longitud a partir del eje polar).
- **Poros:** Cuando la relación longitud/anchura es menor que 2 (medida de longitud a partir del eje polar).

Cuando aparece una abertura alargada en el eje polar, se denomina **sulco**.

Las aberturas compuestas pueden ser de dos tipos: **Colporadas** (ectoabertura tipo colpo + endoabertura) y **pororadas** (ectoabertura tipo poro + endoabertura).

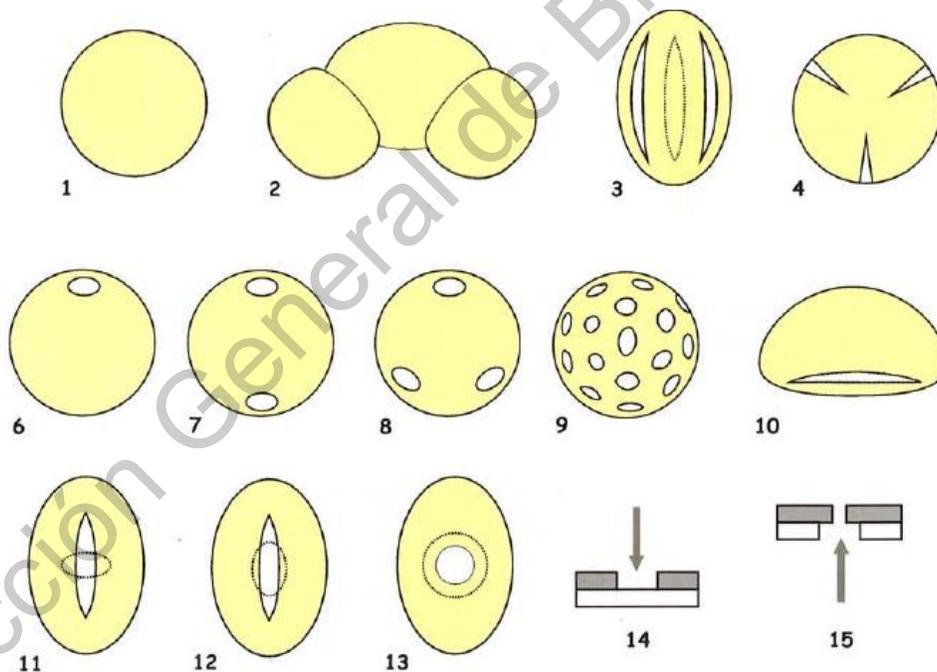


Figura 6. Aberturas: 1. Inaperturado, 2. Leptomado, 3-4. Colpado, 6-9. Porados, 10. Sulcado, 11. Colporado lalongado, 12. Colporado lolongado, 13. Pororado, 14. Ectoabertura, 15. Endoabertura (Trigo *et al.*, 2008).

2.4 Polinización

La polinización es la transferencia de polen, que se encuentra en los estambres, hasta el estigma para llevar a cabo la fecundación y la producción de frutos y semillas. Este proceso se lleva a cabo por vectores bióticos (animales) y abióticos (agua o viento). Aquellas plantas que presentan polinización por viento (anemofilia) producen altas cantidades de polen, en comparación con aquellas plantas que tienen polinización por animales (zoófila) con el objetivo de asegurar la llegada al órgano femenino, es por esto que encontramos granos de polen en la atmósfera. Las plantas que presentan polinización anemófila tienen granos de polen de tamaño mediano a pequeño para hacer más liviano el transporte, la floración ocurre previamente a la foliación para que el polen no se encuentre con obstáculos en su salida y hay granos de polen dotados de sacos de aire a manera de flotadores (polen de pinos) para que pueda recorrer distancias mayores (Bush y Madison, 1989; Bermejo, 2011).

2.5 Polinosis

La polinosis es una enfermedad provocada por granos de polen de las plantas en individuos con sensibilidad alérgica. La primera definición fue por el Dr. Bostock en 1819 con el trabajo titulado "Un caso de una afección periódica de los ojos y el tórax", aquí describió la enfermedad que él padecía y la cual se producía solamente en la estación del heno en Inglaterra (junio-julio), es aquí donde surge el nombre de la enfermedad fiebre del heno. Tiempo después el Dr. Blackley fue el primer autor que describió que la polinosis o fiebre del heno era desencadenada por la exposición ambiental a granos de polen de gramíneas (Valero y Picado, 2002).

2.6 Alergias y aeroalérgenos

La alergia se define como una hipersensibilidad inmunológica, esta lleva a la aparición de varias enfermedades a través de distintos mecanismos patológicos. El sistema inmune de las personas que padecen alergias desarrolla anticuerpos IgE (Terán *et al.*, 2009; Akdis y Agache, 2014) por ende, un alérgeno es un antígeno que provoca la producción de esta inmunoglobulina. Los alérgenos se asocian a

enfermedades atópicas, estos implican a los inhalados (aeroalérgenos) y alimentarios. La producción de IgE depende de factores como la herencia genética, estado del sistema inmune, dosis de alérgeno, frecuencia, ruta de penetración, entre otros. Entre los aeroalérgenos podemos encontrar granos de polen, esporas de hongos, diferentes tipos de ácaros, epitelio de animales y sustancias que afecten directamente la mucosa respiratoria (Guidos y Almeida, 2005). Los granos de polen que se consideran causantes de alergias deben tener polinización anemófila, aunque también puede ser el entomófilo, deben ser livianos, liberarse en cantidad suficiente y la planta que los produce ha de tener una amplia difusión local (Terán *et al.*, 2009; Guidos y Almeida, 2005).

2.7 Polinosis en México

Las enfermedades alérgicas afectan aproximadamente entre 15 y 30% de la población mundial. Las enfermedades alérgicas más frecuentes son el asma, rinitis alérgica y dermatitis atópica (Terán *et al.*, 2009). En diferentes ciudades de México el asma tiene una prevalencia de 2.7 a 21.8%. Una encuesta que hizo ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) indica que el grupo de escolares tiene una prevalencia de 5.7% y en los adolescentes es del 5.9%. En la Ciudad de México la prevalencia de enfermedades alérgicas es de 42.6%, siendo la rinitis alérgica la más frecuente (López *et al.*, 2009).

2.8 Método de muestreo

Para captar las partículas aerovagantes se han diseñado diferentes captadores. Los primeros captadores se basan en el principio de gravedad y consistían en superficies preparadas con sustancias adhesivas, expuestas horizontalmente. A principios del siglo XX los medios más usados eran placas de Petri, céspedes compactos de musgos y portaobjetos, posteriormente surgieron los captadores Durham y Tauber con soportes más adecuados, estos permiten cuantificar granos de polen por unidad de superficie (Belmonte y Roure, 2002).

Más adelante se idearon captadores que miden los pólenes por unidad de volumen de aire. El captador utilizado universalmente es el ideado por Hirst para el estudio

de pólenes y esporas atmosféricas desencadenantes de alergias respiratorias, este tiene como principio el impacto por succión mediante una bomba de vacío que impulsa el aire aspirado contra una superficie receptora. Otro de los captadores por impacto es el Rotorod, basado en la rotación. Este dispone de dos brazos en forma de U en los que se insertan las superficies receptoras, al girar a gran velocidad por acción de un motor, interceptan las partículas. Estos captadores son útiles para recolectar partículas de unos 10 micrómetros de diámetro (Belmonte y Roure, 2002).

Otro grupo de captadores son aquellos que funcionan por filtración, a través de membranas de materiales diversos o fibras como el Captador Cour. Este consiste en un eje perpendicular al suelo, que sostiene, encajado en su extremo superior, un eje perpendicular capaz de girar 360°. En un extremo de este eje hay dos marcos protegidos, cada uno por una visera y en el otro, una veleta. Los marcos van a contener las membranas filtradoras (Belmonte y Roure, 2002).

2.9 Antecedentes internacionales

En los años 50 ya se trabajaba con partículas biológicas en la atmósfera, aunque de forma muy aislada. En 1974, se constituyó la IAA (Asociación Internacional de Aerobiología). Con el objetivo de facilitar el intercambio de información entre varios países europeos sobre el contenido polínico de la atmósfera y el desplazamiento de nubes de polen, en 1986 se creó la Red Europea de Aeroalérgenos (EAN, European Aeroallergen Network). En el año de 1992 tras una reunión en Zuheros (Córdoba), se estableció la Red Española de Aerobiología (REA) con el propósito de generar, a nivel nacional, información aerobiológica útil para ser difundida a los medios de comunicación y a los médicos alergólogos. Hasta el momento esta red cuenta con 47 unidades de monitoreo (Recio, 1999). España es el país que presenta mayor cantidad de estudios de polen atmosférico y con esto han logrado ampliar la aerobiología, relacionándose con otras ramas como la agronomía (Galán *et al.*, 2007). En Latinoamérica, también se cuenta con este tipo de estudios, aunque son escasos, se tienen estudios en Argentina (Latorre, 1999; Nitiu *et al.*, 2003; Torres y Flores, 2013) y Chile (Villegas y Roure, 2001; Mardones *et al.*, 2011).

2.10 Antecedentes Nacionales

Los estudios de polen atmosférico en México son muy escasos y la mayoría se concentran en la parte central del país. El primer registro de polen atmosférico en México lo hizo Salazar Mallén en el año de 1940 para la ciudad de México. Posteriormente se publicaron otros estudios en Veracruz, Tlaxcala, Michoacán, Oaxaca, Guadalajara y Puebla (Salazar-Coria, 1995). Todos los estudios que se hicieron entre 1940 y 1990 tuvieron mucho impacto para conocer los tipos polínicos presentes en la atmósfera, pero debido a que no estandarizaron una metodología los resultados que se obtuvieron no se pueden interpretar ni comparar. Durante los años 90 se empezó a utilizar la trampa de esporas tipo Hirst, este es muy utilizado por la mayoría de redes aerobiológicas en el mundo (Terán *et al.*, 2009).

En el estado de Nuevo León hay dos estudios de polen atmosférico. Rocha *et al.* (2009) estudiaron la cantidad de polen atmosférico de importancia alérgica en el área metropolitana de Monterrey durante marzo del 2003 a febrero del 2005; la cantidad de polen registrado durante el periodo estudiado fue de 68,962 granos y los meses de máxima incidencia de polen fueron febrero y marzo del año 2004. Los taxa de mayor ocurrencia y posiblemente de importancia alérgica para el área metropolitana de Monterrey son *Fraxinus* sp. (14,312 granos), Cupressaceae-Taxodiaceae (12 448 granos), *Parietaria pensylvanica* (12,354 granos), Poaceae (4,808 granos), *Celtis* sp. (3,153 granos), Moraceae (1,806 granos), *Pinus* sp. con 2,693 granos, *Ambrosia confertiflora* (2,132 granos), *Ricinus communis* con 1,697 granos, Amaranthaceae-Chenopodiaceae (1,691 granos), *Quercus* sp. (1,360 granos), *Prosopis* sp. (1,227 granos), *Platanus occidentalis* (725 granos) y *Carya* sp. (687 granos). El segundo estudio de Rocha *et al.* (2008) que se hizo en el municipio de San Nicolás de los Garza, N. L. de enero a diciembre del 2004 encontraron 64 tipos polínicos y la cantidad total de granos de polen fue de 26,831.52 granos/m³, los meses con mayor concentración de polen fueron febrero, con 7,525.44 granos/m³, y marzo con 4,930.74 granos/m³. Los taxa que aportan más granos de polen al aire, cubriendo aproximadamente 67.91% del total anual, corresponden a: *Fraxinus* sp. (6,273.72 granos/m³, 23.38%); *Parietaria*

pensylvanica (5,131.08 granos/ m³, 19.12%); *Cupressus* sp. (2,449.44 granos/m³, 9.12%); *Morus* sp. (1,805.76 granos/m³, 6.72%); Gramineae/Poaceae (1,424.52 granos/m³, 5.31%); *Celtis* sp. con 1136.70 granos/m³(4.23%); *Pinus* sp. con 1084.32 granos/m³ (4.04%); *Ricinus communis* (592.38 granos/m³, 2.20%); *Ambrosia confertiflora* (527.04 granos/m³, 1.96%) y Amaranthaceae-Chenopodiaceae, con 502.74 granos/m³, equivalentes al 1.87%.

En la ciudad de Toluca en 1962 y 1991 se hicieron estudios polínicos con metodología gravimétrica, recientemente Cid del Prado *et al.* (2015) efectuaron un estudio del 1 de octubre de 2004 al 30 de septiembre de 2005, en el cual se determinaron los diferentes tipos polínicos, las variaciones estacionales y su comportamiento en las cuatro estaciones del año, se contaron un total de 13,542 granos de polen que corresponden a 29 tipos polínicos. Los tipos polínicos más abundantes corresponden a Cupressaceae (44.7%), Pinaceae (13.8%), Oleaceae con el género *Fraxinus* (12.8%), Betulaceae con el género *Alnus* (12.5%), Asteraceae (3.3%), Anacardiaceae con la especie *Schinus molle* (2.8%), Gramineae (2.4%) y Casuarinaceae con el género *Casuarina* (2.1%). El mes de enero se registró la mayor cantidad de polen (4,007 gp/ m³), la mayor variedad de tipos polínicos se encontró en primavera y durante el invierno se encontró la mayor cantidad de granos de polen pertenecientes a la familia Cupressaceae.

Ortega *et al.* (2019) hicieron un estudio en Hermosillo, Sonora para tener referencia de la calidad del aire y ver si existen correlaciones entre los tipos de polen y esporas más importantes con las variables climáticas en el año 2016, identificaron 32 taxa de polen y 15 diferentes esporas de hongos. Durante todo el año obtuvieron un total de 16,243 gp/m³, se encontraron dos periodos altos de concentración de polen y esporas: marzo-mayo y agosto-octubre. Los taxa de polen más importantes del conteo total anual son Poaceae (33%), Nyctaginaceae (15%), *Ambrosia* spp. (10%), Amaranthaceae (10%), Urticaceae (9%) y Fabaceae (3%).

La Ciudad de México ha sido unos de los estados con mayor cantidad de estudios de polen atmosférico. González-Lozano *et al.* (1999) determinaron el comportamiento de partículas suspendidas totales y partículas viables (polen) en la

atmósfera durante la temporada de secas (noviembre de 1993 – abril de 1994). Se registraron 31 taxa durante la temporada de secas, de estos, solo 13 taxa fueron dominantes porque representaron el 41.9% de la riqueza total, los árboles que tuvieron la asignación de dominantes fueron: *Alnus* spp., *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus* spp., *Fraxinus udhei*, *Jacaranda* sp., *Pinus* spp., *Quercus* spp. y *Schinus molle*. Las malezas dominantes fueron: Amarantaceae/Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae y el género *Rumex* sp.

Olivé (2012), identificó y cuantificó granos de polen presentes en el aire de la Delegación Miguel Hidalgo en la estación de Chapultepec, Ciudad de México, identificó 48 tipos polínicos pertenecientes a 37 familias, conto un total de 42,927 granos de polen, de estos el 87.94% pertenecen a especies arbóreas, 5.01% a malezas y 5.23% a pastos y solo 1.8% fueron indeterminados. Los tipos polínicos con mayor concentración fueron *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus*, Poaceae *Pinus*, *Casuarina*, Myrtaceae, *Quercus*, Urticaceae y *Ulmus*.

Fuentes (2012) hizo un monitoreo continuo por dos años en el sur de la Ciudad de México, Delegación Coyoacán, determinó parámetros aeropalínológicos, influencia de factores meteorológicos y el comportamiento de contaminantes atmosféricos con el comportamiento estacional. En su primer año contabilizaron 68,054 granos de polen y diferenciaron 39 tipo polínicos, de los cuales 12 presentan arriba del 1% del total de granos de polen, estos fueron *Fraxinus*, Cupressaceae, *Alnus*, Poaceae, *Casuarina*, *Pinus*, Myrtaceae, *Liquidambar*, Urticaceae, *Quercus*, *Schinus* y *Morus*. En el segundo año contabilizaron 113,253 granos de polen, diferenciaron 45 tipos polínicos, nueve tipos superan el 1% del total de granos de polen: *Fraxinus*, Cupressaceae, *Pinus*, *Alnus*, *Quercus*, *Casuarina*, Poaceae, *Liquidambar* y Myrtaceae.

Actualmente en México se cuenta con la Red Mexicana de Aerobiología (REMA), la cual comenzó con la inquietud de la Dra. María del Carmen Calderón Ezquerro en los años 90 cuando en varios países de Europa, Estados Unidos y Canadá ya existían o estaban formando este tipo de redes. No fue hasta el año 2007 en el 8° Congreso Internacional de Aerobiología que la Dra. Calderón junto con las doctoras

María del Mar Trigo Pérez y Victoria Jato deciden que esta idea debe concretarse, ante la necesidad de determinar y cuantificar de manera continua la presencia de los granos de polen en la Ciudad de México y los restantes estados del país. Es así como en el año 2008 se conforma la REMA y da inicio en la Ciudad de México con dos estaciones, en el 2009 se integra una tercera estación y en 2010 una más, con el fin de cubrir las zonas centro, sur, poniente y oriente de la ciudad. Hay otras estaciones en Los Mochis (Sinaloa). San Luis Potosí, Sonora y Toluca (REMA, 2019).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

3. HIPÓTESIS

Durante el periodo de polinización las concentraciones de polen aumentan con el incremento de la temperatura (días secos y soleados) y disminuyen con la lluvia o el frío, el clima de Querétaro es semiseco templado y tiene muy marcada la temporada de lluvias (junio-agosto) y sequía (noviembre-mayo). Por lo cual se espera que en la temporada de días secos y soleados exista mayor diversidad de tipos polínicos y las concentraciones de granos de polen de plantas sean mayores en comparación con la temporada de lluvia y frío.

4. OBJETIVOS

General

Monitorear el norte de la Ciudad de Querétaro en un periodo anual, para identificar y cuantificar los granos de polen presentes en la atmósfera, así como determinar las concentraciones y fluctuaciones en las estaciones del año.

Particulares

- Identificar a qué familias pertenecen los granos de polen presentes en el muestreo.
- Registrar la estacional, variación intradiaria y periodo principal de polinación de los tipos polínicos colectados.
- Determinar si existe una relación de la concentración de granos de polen con variables climáticas.

5. MÉTODO

5.1 Área de estudio.

Se llevó a cabo el monitoreo aerobiológico de granos de polen en la zona norte de la Ciudad de Santiago de Querétaro. El sitio de muestreo se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, se utilizó la trampa de esporas tipo Hirst de la marca Burkard, el cual se encuentra en la azotea del edificio principal del Campus Juriquilla. El periodo de muestreo fue de un año, comprendió las fechas de 31 de mayo de 2018 al 31 de mayo de 2019.

5.2 Características de la localidad de muestreo.

El municipio de Santiago de Querétaro, Querétaro se localiza en el sur del Bajío mexicano, a 221 kilómetros al noreste de la Ciudad de México; sus coordenadas son: al norte 20° 55' N, al sur 20° 30' N, al este 100° 17' W y al oeste 100° 36' W. Colinda al norte con el estado de Guanajuato, al este con el municipio de El Marqués, al sur con Huimilpan, Corregidora y Guanajuato, y al oeste con Guanajuato (Martínez *et al.*, 2016). En la ciudad de Querétaro se han incorporado las zonas rurales de Jurica, Juriquilla y Santa Rosa Jauregui denominadas como zona conurbada de Querétaro (Anónimo, 2008)

Los climas predominantes son el semiseco templado y el semiseco-semicálido. Presenta una temperatura promedio anual de 19°C, la temperatura promedio del año más frío fue de 17.4°C y la del año más caluroso de 19.7°C. Cuenta con una precipitación promedio anual de 549 mm, el año más seco fue de 274 mm y el más lluvioso cercano a los 1000 mm. Las lluvias inician en junio, el pico de las precipitaciones se presenta en julio y vuelve a caer en noviembre, con un periodo de sequía que va de noviembre a mayo (Martínez *et al.*, 2016).

5.3 Vegetación

Según Rzedowski (1978), el municipio y zona conurbada pertenecen a la Provincia Florística de la Altiplanicie con una vegetación predominante de matorral xerófito, con zonas de pastizal y bosque espinoso. También se han encontrado en el municipio los tipos de vegetación bosque tropical caducifolio, matorral subtropical,

matorral crasicuale, bosque de encinos, pastizal y vegetación acuática (Baltazar *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2000)

El bosque tropical caducifolio se encuentra dominado por árboles de *Senna polyantha*, *Bursera fagaroides*, *B. palmeri*, *Lysiloma microphyllum*, *Ipomoea murucoides* y *Eysenhardtia polystachya*. Las crasicuales de gran porte con coberturas importantes en esta vegetación son *Myrtillocactus geometrizans*, *Stenocereus queretaroensis* y *S. griseus*. Entre los arbustos abundantes están *Croton ciliato-glandulifer*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana* y *Zaluzania augusta*. Los helechos son escasos y son más bien de afinidades xerófitas, sobre todo *Cheilanthes* y *Pellaea*.

El matorral subtropical se desarrolla en laderas o zonas planas de cultivos abandonados, generalmente dominado por arbustos de poca altura. Por ejemplo, con las especies *Ipomoea murucoides*, *Schinus molle* y *Celtis pallida*. El matorral crasicuale se encuentra dominado por elementos leñosos como *Acacia schaffneri*, *Mimosa acauleticarpa* y *Acacia farnesiana*, algunas cactáceas como *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia robusta*, *O. imbricata* y *O. pubescens*.

La vegetación de pastizal se encuentra dominado por algunas especies de la familia Poaceae, por ejemplo: *Bouteloua gracilis*, *B. hirsuta*, *B. repens*, *Hilaria cenchoides*, e *H. belangeri* y algunas plantas arbustivas como: *Karwinskia humboldtiana*, *Zaluzania augusta* y *Gomphena serrata*. Respecto a la vegetación acuática, la zona rural de Jurica cuenta con un río que presenta un bosque ripario dominado de *Salix bomplandiana* y en las zonas más inundadas se presenta *Eichhornia crassipes* (lirio), *Cyperus hermaphroditus*, entre otras (Martínez *et al.*, 2016).

5.4 Método de muestreo

Para el muestreo aerobiológico se utilizó la trampa de esporas tipo Hirst (Burkard Scientific Limited, Fig. 7). Esta consiste en un aparato eléctrico que aspira volúmenes constantes y conocidos de aire y los hace impactar contra la superficie receptora (Valero y Cadahía, 2002).

El captador consta de tres unidades: (I) la unidad de impacto, consta de un orificio de entrada (14x 2 mm), y de un soporte circular (tambor) sobre el que quedan adheridas las partículas. Este soporte circular se encuentra conectado a un mecanismo de relojería de giro que posibilita el movimiento del soporte a razón de 2 mm cada hora; (II) la veleta se encuentra adosada al exterior de la estructura metálica y su función es mantener el orificio de entrada en la direcciones de los vientos dominantes; (III) la bomba de vacío permite la succión de un volumen de aire determinado (10 litros/min), similar al volumen de inhalación de aire por el pulmón humano (Galán *et al.*, 2007).



Figura 7. Trampa de esporas tipo Hirst. ubicado en la azotea del edificio principal de la Facultad de Ciencias Naturales, UAQ.

5.5 Preparación de la unidad de impacto.

La unidad de impacto consta de un soporte circular (tambor), en el cual se dispuso una cinta Melinex de 345 mm de largo y 19 mm ancho, esta se coloca tensada alrededor de esta pieza circular. Para darle la capacidad de adherir y retener partículas, se deposita sobre la cinta una fina película de silicona usando un pincel de diámetro similar al ancho de la cinta, cuando este se seca de igual manera se aplica una mezcla adhesiva. La silicona es una mezcla de: Gelvatol (35 g), agua

destilada (100 ml), glicerol (50 ml) y fenol (2 g) y la mezcla adhesiva se compone de vaselina y parafina en tolueno (9:1:100) (Burkard Scientific, s.f.). Una vez preparado el tambor con la cinta impregnada de silicona y mezcla adhesiva se coloca en un porta-tambor metálico y se cierra herméticamente, para evitar una posible contaminación durante el transporte.

5.6 Colocación de la unidad de impacto en la trampa de esporas tipo

Hirst

Antes de comenzar el cambio se debe fijar la veleta con un tornillo de anclaje, se comprueba que el volumen de succión es el adecuado, 10 litros/min. Se extrae el cabezal y se libera el tambor del mecanismo de relojería, se hace el cambio de los tambores, se fija y ajusta con una tuerca el nuevo tambor de acuerdo a las bandas de orientación grabadas en el mismo. El mecanismo de relojería conectado a la unidad de impacto debe activarse manualmente una vez por semana, para ello se utiliza la llave y se hace girar en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta llegar al tope. 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 al final se quita el tornillo de anclaje (Galán *et al.*, 2007).

El cambio del tambor se llevó a cabo de manera ininterrumpida cada siete días a las 14:00 horas en los días lunes. El tambor que contiene la cinta se traslada al laboratorio donde se hace el proceso de preparación de muestras.

5.7 Preparación de muestras

Con una pinza se retira la cinta de celofán que rodea al tambor y se coloca sobre una regla de metacrilato transparente la cual cuenta con hendiduras transversales de 48 mm, correspondientes a 24 horas de muestreo continuo. Se hacen los cortes de la cinta, quedando solo siete fragmentos los cuales se disponen sobre portaobjetos. 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, la etiqueta siempre se colocó del lado derecho.

5.7.1 Montaje de las muestras diarias

La sustancia empleada en el montaje debe tener las características establecidas por la REA (Galán *et al.*, 2007): 1. Soluble en agua, 2. Compatible con el adhesivo en uso, 3. Permitir la tinción selectiva del material que se interesa analizar, 4. Permitir el almacenamiento de larga duración del material.

Durante los primeros nueve meses de muestreo, el medio de montaje utilizado fue Aquatex®, este es un medio de montaje acuoso para la preservación permanente. Se agregan unas gotas sobre la cinta y posteriormente unas gotas del colorante verde rápido, se distribuye uniformemente sobre la muestra y se coloca el cubreobjetos de las dimensiones 24x50 mm.

En los meses posteriores se utilizó glicerogelatina teñida con verde rápido, la composición de este medio de montaje consta de 10 gr de gelatina, 45 ml de glicerol, 44 ml de agua, 1 gr de fenol (Juárez, 1977) y unas gotas de verde rápido. La glicerogelatina es sólida a temperatura ambiente, por lo cual es necesario someterla a calentamiento en una parrilla con una temperatura constante (alrededor de 45 ° C) para que se encuentre líquida. Cuando se encuentra líquida la glicerogelatina se colocan unas gotas sobre la muestra y se dispone un cubreobjetos de dimensiones 24x50 mm evitando la formación de burbujas.

5.7.2 Medio de sellado

Se usó laca-esmalte transparente para el sellado, este se colocó en los bordes del cubreobjetos. Al ser transparente no dificulta la observación de la muestra. Se debe dejar pasar un tiempo, antes de observar al microscopio. Esto es para que la glicerogelatina logre solidificarse y los distintos tipos polínicos se colorean, siendo más evidentes sus características morfológicas externas.

5.8 Identificación y conteo de granos de polen

Para obtener el conteo total de granos de polen y esporas presentes en la preparación completa se requiere de mucho tiempo, por tal motivo se recomienda hacer un sub-muestreo. 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, Galán *et al.*, 2007).

Para el conteo polínico se utilizó el método propuesto por la REA (Red Española de Aerobiología), el cual utiliza cuatro barridos horizontales continuos a lo largo de la preparación, los barridos deben ser equidistantes entre sí y del borde de la preparación en el caso del primer y último barrido. El análisis de las muestras se hizo en el microscopio óptico Leica 2000 con el objetivo de 40x y un ocular de 10x lo cual da una amplificación de 400 aumentos.

La identificación de los tipos polínicos se hizo con material de internet en las plataformas de PalDat, Polleninfo.org (PalDat- Palynological Database, 2019; Medical University of Vienna, s.f.), muestras de polen del herbario de Querétaro “Dr. Jerzy Rzedowski” (QMEX) y se contó con la asesoría de la M. en C. Ana Lucía Tovar y el Dr. César Guerrero. Los conteos fueron vertidos en una base de datos, que contenía el tipo polínico y la cantidad correspondiente de granos de polen por día y hora. Dado que la muestra mide 48 mm (24 horas) y cada 2 mm corresponde a una hora, se utilizó la regla que tiene el microscopio para conocer la hora del día en que se observaron los granos de polen.

5.9 Expresión de los resultados

La concentración polínica debe expresarse como una media diaria en granos de polen por metro cúbico de aire. Para ello, el número total de granos de polen se multiplica por un factor de corrección. De acuerdo con la REA (Galán, *et al.* 2007) este factor de corrección toma en cuenta el volumen de succión de aire (10 litros/minuto), y la superficie del campo del microscopio (40x 10 aumentos). El campo de visión del microscopio Leica 2000 es de 0.45 mm, así que el factor de corrección en este caso es de: $N \times 0.54$ partículas por metro cúbico de aire (Anexo 1).

5.10 Índice polínico anual

Para definir los tipos polínicos de mayor incidencia atmosférica se obtuvo el Índice Polínico Anual (IPA), el cual consiste en la suma total de las concentraciones diarias

de granos de polen por metro cúbico de aire registrados durante un año, este dato se transforma a porcentaje y se seleccionan aquellos tipos polínicos que superan el 1% (García *et al.*, 2008; González y Cebrino, 2016).

5.11 Estacionalidad

Se determinó la variación estacional de pólenes totales y de los tipos polínicos con un IPA arriba del 1%, esto para ubicar las épocas donde se incrementan los niveles de polen en la atmósfera.

5.12 Periodo principal de polinación (PPP)

Con el fin de ubicar el periodo de máxima incidencia de los granos de polen/m³ más representativos en el aire (IPA >1%), se obtuvo el periodo principal de polinación. Se tienen diez criterios/métodos para definir este periodo, pero ninguno se ha estandarizado (Jato *et al.*, 2006) de estos se seleccionó el método del 5% propuesto por Andersen (1991), el cual establece el inicio del PPP cuando la suma de las concentraciones medias diarias de polen alcanza el 2.5% de la suma total hasta el momento en que la suma alcanza el 97.5%; es decir, el tiempo con el 95% de la cantidad total de polen (Trigo *et al.*, 1997; Jato *et al.*, 2006). (Anexo 2)

5.13 Variación intradiaria

Las concentraciones de polen en el aire varían considerablemente en un periodo de 24 horas, lo cual puede estar influenciado con parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad, lluvia y velocidad del viento (Trigo *et al.*, 1997). Para conocer en qué horas del día hay mayor concentración de un tipo polínico se obtuvo la variación intradiaria utilizando el método de Galán *et al.* (1991), el cual toma en cuenta los datos hora por hora de todos los días exentos de precipitaciones y dentro del PPP. Se determinó la variación intradiaria de los tipos polínicos más representativos (IPA >1%), los datos se expresaron en concentraciones medias diarias (GP/m³) por cada 2 horas (Anexo 3). Y se calculó el índice de distribución intradiaria (IDI), el cual va a indicar si la liberación de granos de polen a la atmósfera es de manera continua o se acentúa en algún momento del día (Anexo 4).

5.14 Comparación con variables meteorológicas

Los datos meteorológicos se obtuvieron a partir de dos estaciones meteorológicas, esto es debido a que la primera estación no tiene datos en algunas fechas del año de muestreo, la primera estación se encuentra en el edificio UMDI del campus Juriquilla UNAM, la cual está a una distancia de 478 metros del captador Burkard, la base de datos se encuentra disponible en la página RUOA (Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos), la segunda estación se encuentra en el edificio de Geociencias, UNAM y está a una distancia de 511 metros del captador, estos datos se obtuvieron personalmente con el encargado de la estación. Para el análisis se utilizaron los datos meteorológicos de: temperatura, humedad relativa, lluvia y velocidad del viento. Los datos de la primera estación se encuentran por horas y de la segunda por minutos, por lo cual se obtuvo el promedio diario y mensual y el acumulado de precipitación, en el anexo 5 se muestran las gráficas del comportamiento de estas variables climáticas durante el año de muestreo.

Para describir las relaciones entre los parámetros climatológicos y la cantidad de polen (promedio diario de granos de polen/m³ de aire) se hizo una correlación no paramétrica de Spearman (Cariñanos *et al.*, 2004; García *et al.*, 2008; Piotrowska y Kubik-Komar, 2012). Esto se hizo sólo a los tipos polínicos más representativos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Datos polínicos

En la atmósfera del norte de Querétaro se observaron 56 tipos polínicos, de los cuales 31 se ubicaron dentro de algún nivel taxonómico de las plantas (Cuadro 2), estos tipos polínicos pertenecen a 25 familias. Los restantes tipos polínicos no se lograron identificar y/o ubicar en algún nivel taxonómico debido a que presentaban deshidratación y deformación lo cual imposibilitó la observación de su ornamentación y aperturas en el microscopio.

Durante el muestreo se contaron un total de 4,926 granos de polen (2,681 GP/m³). Como se observa en la Figura 8 los meses de mayor concentración de polen fueron julio (1,058 granos de polen/m³) y agosto (394 GP/m³), seguido por junio (279 GP/m³) y a partir del mes de septiembre la concentración disminuye. El mes con la menor concentración polínica fue noviembre (16 GP/m³).

De los diferentes tipos polínicos encontrados no todos presentan concentraciones altas en la atmósfera, por lo cual se obtuvo el índice polínico anual (IPA), de estos solo 12 tienen un IPA >1%, los cuales en orden de abundancia son: Poaceae, Asteraceae, *Celtis* sp., *Pinus* sp., *Mimosa* sp., Amaranthaceae, *Ricinus communis*, *Morus* sp., Cupressaceae, *Quercus* sp., *Casuarina* sp. y *Populus* sp. Estos tipos polínicos se analizaron por separado, considerando cuatro aspectos importantes: variación estacional, periodo principal de polinación (PPP), variación intradiaria y correlación con las variables climáticas, al final se discute respecto a los resultados obtenidos de cada tipo polínico.

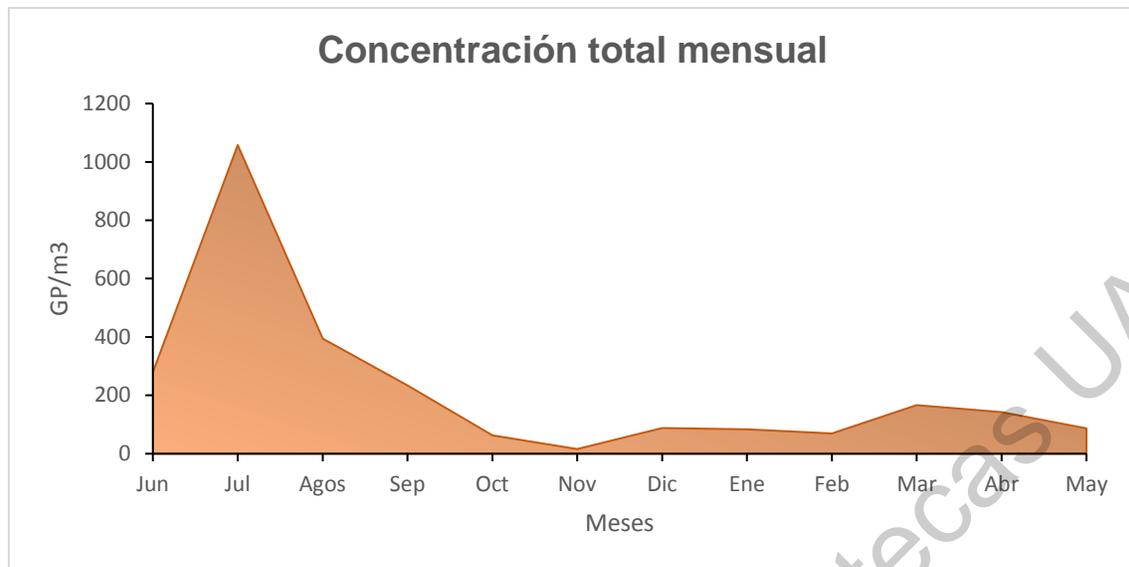


Figura 8. Concentración mensual de granos de polen en el periodo de junio 2018 a mayo 2019.

6.2 Tipos polínicos principales

6.2.1 Poaceae

Morfología polínica

Granos de polen monoporados, heteropolares y radiosimétricos. Circulares en vista polar y circular a ligeramente elípticos en vista ecuatorial (Fig. 9). El tamaño oscila de pequeño a grande, entre 25 y 40 μm de diámetro. El poro está rodeado por un anillo y provisto de un opérculo. El diámetro del poro va de 2 a 5 μm , y el grosor de exina de 1 a 2 μm , la exina se encuentra cubierta de pequeños gránulos (Trigo *et al.*, 2008; Schüler y Hemp, 2016).

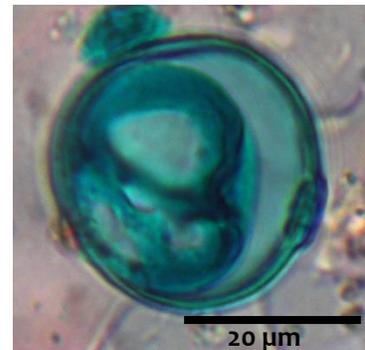


Figura 9. Grano de polen de Poaceae (40x10 aumentos)

Cuadro 2. Tipos polínicos y su concentración mensual (granos de polen/m³ de aire) durante junio 2018 a mayo 2019

Tipo polínico	2018							2019					Total
	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
<i>Acacia</i> sp.	1	2	1	-	-	-	1	-	-	1	3	1	10
Aizoaceae	-	13	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	16
<i>Alnus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	4	7	7	2	1	1	22
Amaranthaceae	5	22	44	96	15	3	-	1	-	-	1	-	187
Apocynaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Asteraceae	42	70	50	61	17	4	29	2	6	1	3	8	293
Brassicaceae	-	7	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	12
Cactaceae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Casuarina</i> sp.	3	40	-	1	-	1	3	2	-	1	1	-	52
Caryophyllaceae	-	2	1	-	-	-	2	1	1	1	-	-	8
<i>Celtis</i> sp.	78	148	7	1	1	-	-	-	-	5	3	3	246
Cupressaceae	14	6	1	2	6	1	21	51	5	2	6	5	120
Cyperaceae	-	7	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	10
Euphorbiaceae	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Fabaceae	1	1	1	2	-	-	-	-	1	-	1	2	9
<i>Fraxinus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	3	5	1	-	-	-	9
Loranthaceae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Mimosa</i> sp.	12	172	32	-	1	-	1	-	-	-	-	-	218
Moraceae	40	79	13	-	-	-	-	-	-	2	1	1	136
Myrtaceae	3	3	-	1	-	1	1	-	2	3	1	-	15
Nyctaginaceae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Pinus</i> sp.	14	14	1	-	1	1	4	3	15	72	81	38	244
Poaceae	18	367	190	53	14	3	6	1	1	3	10	4	670
<i>Populus</i> sp.	4	-	-	1	-	-	4	5	24	1	-	1	40
<i>Quercus</i> sp.	7	13	1	-	-	-	-	-	-	41	11	5	78
<i>Ricinus communis</i>	18	50	41	15	4	1	5	3	2	4	3	8	154
Rosaceae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Schinus molle</i>	2	2	-	-	-	-	-	-	-	3	8	5	20
Solanaceae	6	9	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	19
Tipo monocotiledonea	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8
Typhaceae	2	2	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	10
No identificado	2	23	-	1	2	1	3	3	1	20	6	3	65

Variación estacional

El polen de Poaceae fue el tipo polínico con mayor concentración atmosférica y se encuentra en el norte de Querétaro casi todo el año. En algunos meses se presenta en concentraciones bajas y los meses que tienen mayor concentración son julio y agosto (Fig. 10). Con un total anual de 1240 granos de polen del total anual colectado (4,926 gp), que representan el 25.17% del IPA.

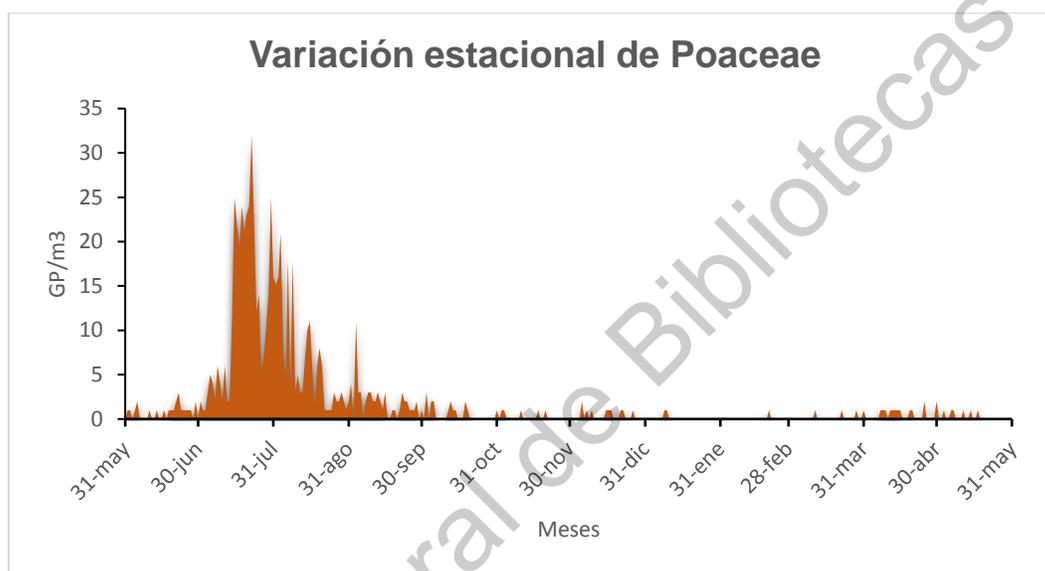


Figura 10. Concentración atmosférica diaria de polen de Poaceae del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El periodo principal de polinación de la familia Poaceae comprendió 289 días, del 24 de junio de 2018 al 8 de abril del 2019. El pico máximo se presentó el 22 de julio con 32 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duró 29 días y el periodo post-pico 261 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) de Poaceae es de 0.18, lo que indica que los picos en la gráfica son moderados y la liberación de polen es gradual en la madrugada y luego hay mayor cantidad en las horas de la mañana y tarde (8-16 h). El 20% del polen de Poaceae se encuentra a las 16 horas del día y comienza a

descender en las horas de la tarde y noche (18-22 h) como se observa en la Figura 11.

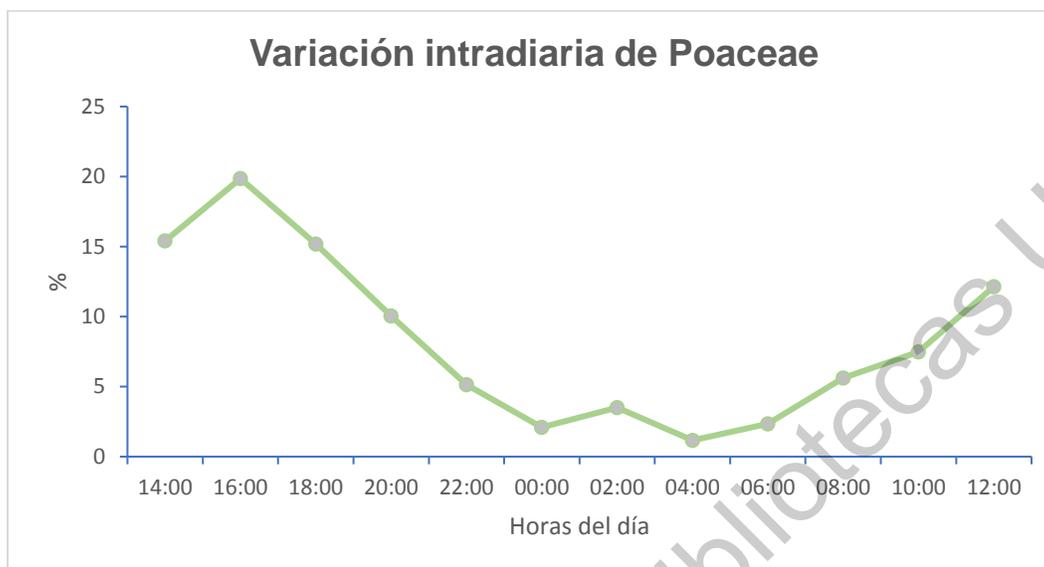


Figura 11. Distribución intradiaria de Poaceae durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 3, este tipo polínico durante el PPP presentó una correlación positiva con la temperatura y la precipitación. Durante el periodo pre-pico solo se correlaciona positivamente con la temperatura y negativamente con la velocidad del viento y en el periodo post-pico se correlaciona positivamente con la temperatura, precipitación y velocidad del viento.

Cuadro 3. Correlación entre la concentración de granos de polen de Poaceae con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (267)	Pre-Pico N (24)	Post-Pico N (244)
Temperatura (°C)	0.404**	0.463**	0.353**
Precipitación (mm)	0.187**	-0.368	0.259**
Velocidad del viento (m/s)	0.041	-0.576**	0.127*
Humedad relativa (%)	0.073	-0.22	0.108

Discusión

Poaceae es una familia de herbáceas, en el municipio de Querétaro y zona conurbada se tiene registro de 116 especies (Salinas, 2009). Debido a que es un grupo muy amplio el periodo de floración es prolongado, en su mayoría florecen en primavera, otras lo hacen en invierno, otoño o verano y su polinización es anemófila (Trigo *et al.*, 2008). De acuerdo con la estacionalidad en este estudio, Poaceae tiene mayor presencia en la atmósfera de Querétaro en verano (julio-agosto), esto difiere con los trabajos que se hicieron en Monterrey (Rocha *et al.*, 2009), Toluca (Cid-del Prado *et al.*, 2015), Hermosillo (Ortega *et al.*, 2019) y Ciudad de México (González-Lozano *et al.*, 1999, Olivé 2012; Rojas 2012) donde encuentran mayor cantidad de granos de polen en meses de agosto, septiembre y octubre (otoño) y en la ciudad de México en enero-febrero. De acuerdo a la variación intradiaria, Poaceae se encuentra a partir de las 6 h y con una mayor cantidad a las 16 h, esto coincide con el calendario polínico que se tiene de Coyoacán, CdMx (Calderón *et al.*, 2016). Los estudios aerobiológicos de México indican que el polen de Poaceae se encuentra en todo el año con un incremento en la temporada de lluvia (junio-octubre), hay estudios que demuestran que el desarrollo de Poaceae está influenciado positivamente con la disponibilidad de agua (Aboulaich *et al.*, 2013). De acuerdo con los resultados de este estudio, la variable de precipitación tiene una correlación positiva durante el PPP y el post-pico, a pesar de que en otros estudios (Guido y Almeida, 2005; Vázquez *et al.*, 2003; Aboulaich *et al.*, 2013) indican que la lluvia hace un “lavado” atmosférico y precipita las concentraciones de polen, en este caso la lluvia favorece su presencia en la atmósfera, debido a que los pastizales reverdecen en la época después de lluvias y mayor humedad (Rzedowski, 2006). De igual manera la temperatura tiene un papel importante en la antesis, esto es porque cuando las anteras se encuentran deshidratadas la liberación del polen es más fácil (Aboulaich *et al.*, 2013), es por eso que durante el PPP, pre-pico y post-pico la temperatura presenta correlación positiva con la presencia de este polen en la atmósfera. Los vientos pueden favorecer o no la cantidad polínica en el aire, en este caso durante el pre-pico la velocidad del viento fue negativa, posiblemente fue una velocidad alta que hizo que los granos de polen salieran de la atmósfera, pero

en el post-pico se vio favorecido por el viento. El polen de esta familia es considerado como la causa principal de polinosis en muchas partes del mundo (Aboulaich *et al.*, 2013), las concentraciones que se consideran para tener síntomas de polinosis son de 10-50 GP/m³ (D'Amato *et al.*, 2007), dentro de este rango se encuentra el pico máximo que se obtuvo de Poaceae. En la atmósfera del norte de Querétaro, este tipo polínico representa el 25.17% del IPA, debido a su capacidad alergénica es importante considerar que los pastos puedan estar causando casos de polinosis en Querétaro.

6.2.2 Asteraceae

Morfología polínica

El polen de esta familia es muy variable. Los granos son trizonocolporados (aperturas dispuestas en la zona ecuatorial) en ocasiones triporados, isopolares y radiosimétricos (Fig. 12). Presentan una forma esferoidal, su tamaño oscila de pequeño a mediano. La exina es gruesa y usualmente la superficie presenta espinas y crestas de diferentes tamaños (Trigo *et al.*, 2008; Schüller y Hemp, 2016).

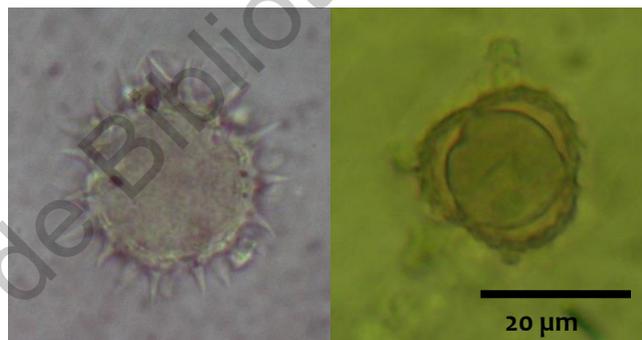


Figura 12. Granos de polen de Asteraceae (40x10 aumentos).

Variación estacional

Durante todo el año, el polen de la familia Asteraceae no fue constante, se encuentra una mayor concentración en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, en octubre y noviembre se observa un descenso y con días sin presencia de este polen. A mediados del mes de diciembre hay un aumento de polen y en los meses restantes las concentraciones bajan o son nulas como se observa en la Figura 13. Los granos de polen presentes durante todo el año fueron 540 (gp) del total anual (4,926 gp), esto representa 10.96% del IPA.

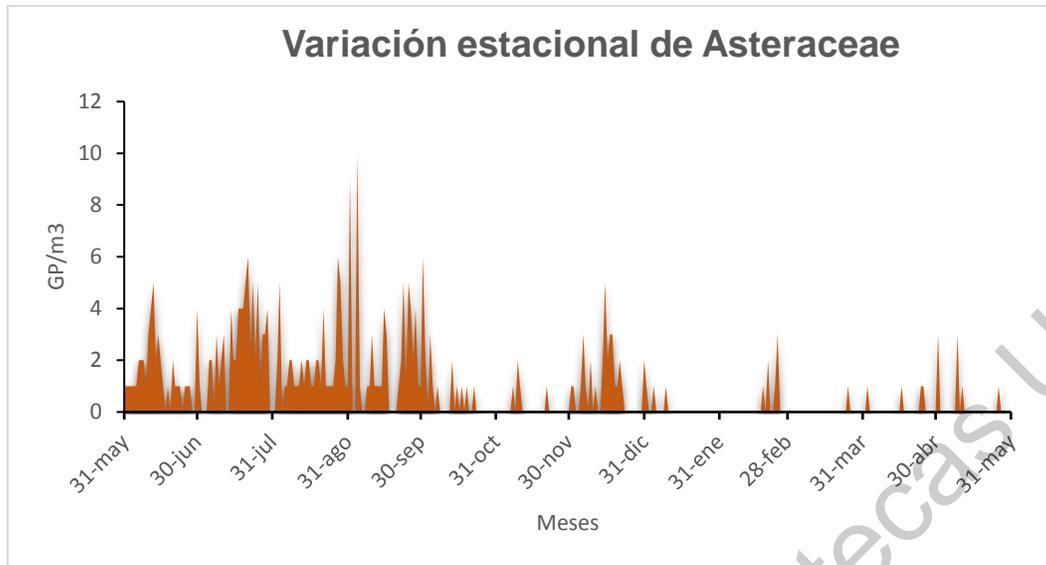


Figura 13. Concentración atmosférica diaria de polen de Asteraceae del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El periodo de polinación de la familia Asteraceae inicio el 6 de junio 2018 y terminó el 25 de abril de 2019, abarcando 324 días. El pico máximo se presentó el 4 de septiembre con 10 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 91 días y el periodo post-pico 234 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) de Asteraceae es de 0.12, lo que indica que la liberación de polen es gradual, comienza a media noche y se mantiene constante en las horas de la madrugada y la mañana, en la tarde hay un aumento y el 16% del polen se encuentra a las 18 h, como se observa en la Figura 14.

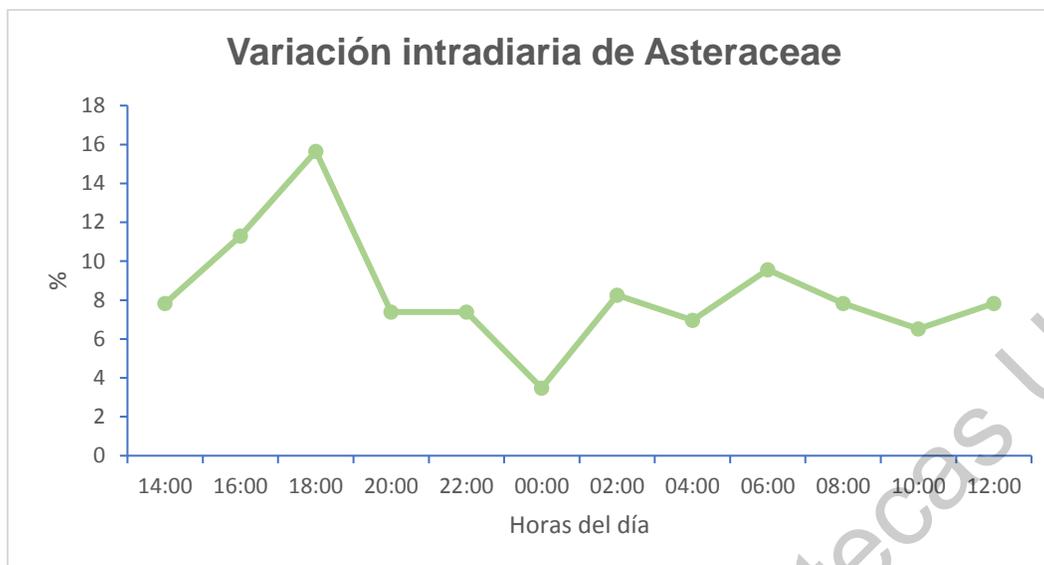


Figura 14. Distribución intradiaria de Asteraceae durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Durante el PPP de Asteraceae, se correlaciono positivamente ($p < 0.01$) con las variables de temperatura, precipitación y humedad relativa. Durante el periodo pre-pico no presentó correlación alguna con las variables climáticas y en el periodo post-pico tuvo una correlación positiva ($p < 0.01$) con la humedad relativa (Cuadro 4).

Cuadro 4. Correlación entre la concentración de granos de polen de Asteraceae con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (323)	Pre-Pico N (90)	Post-Pico N (234)
Temperatura (°C)	0.171**	0.191	-0.005
Precipitación (mm)	0.187**	-0.119	0.06
Velocidad del viento (m/s)	-0.088	-0.185	-0.44
Humedad relativa (%)	0.182**	-0.164	0.182**

Discusión

De acuerdo a la estacionalidad, Asteraceae se encuentra durante todo el año de muestreo, pero algunos meses con altas y bajas concentraciones. Debido a que es una familia muy amplia, su periodo de floración va a depender del género y la

especie pudiéndose encontrar especímenes con flor en diferentes épocas, la mayoría de las especies de esta familia presenta polinización entomófila y anemófila (Trigo *et al.*, 2008). En el estudio del Área Metropolitana de Monterrey uno de los tipos polínicos más representativos de Asteraceae fue *Ambrosia confertiflora* que tiene altas concentraciones en los meses de septiembre a diciembre (Rocha *et al.*, 2009). En Hermosillo se encontró mayor cantidad de Asteraceae en otoño e invierno (Ortega *et al.*, 2019). En el norte de la Ciudad de México se observan mayores concentraciones en los meses de septiembre a diciembre (Olivé, 2012). Debido a que la familia es muy amplia es difícil definir un patrón de estacionalidad y de variación intradiaria. Los géneros más involucrados en polinosis son *Ambrosia* y *Artemisia* causando rinitis alérgica y asma (D'Amato *et al.*, 2007), debido a que es el segundo tipo polínico más abundante en la atmósfera de Qro. en futuros estudios será importante identificar los diferentes géneros de granos de polen de Asteraceae para conocer si estos son los causantes de polinosis en Querétaro.

6.2.3 *Celtis* sp.

Morfología polínica

Grano de polen triporado, isopolar y esferoidal, de tamaño pequeño con un diámetro en vista polar de 19 (21.11) 26 μm de diámetro. El diámetro de los poros es de 3 μm , grosor de exina <1 μm . Superficie aparentemente escábrida (Fig. 15).



Figura 15. Grano de polen de *Celtis* sp. (40 x 10 aumentos).

Variación estacional

El polen de *Celtis* sp. presentó una mayor concentración en la atmósfera a mediados del mes de junio hasta finales de julio de 2018, en agosto solo se observan 13 granos de polen, en septiembre y octubre solo hay un grano de polen, los meses restantes el polen de *Celtis* sp. ya no se encuentra presente hasta el mes de marzo con 10 granos de polen, abril y mayo con tan solo cinco granos de polen en cada

mes (Fig. 16). Los granos presentes durante todo el año fueron 454 (gp) del total anual (4,926 gp), que representa el 9.21% del IPA.

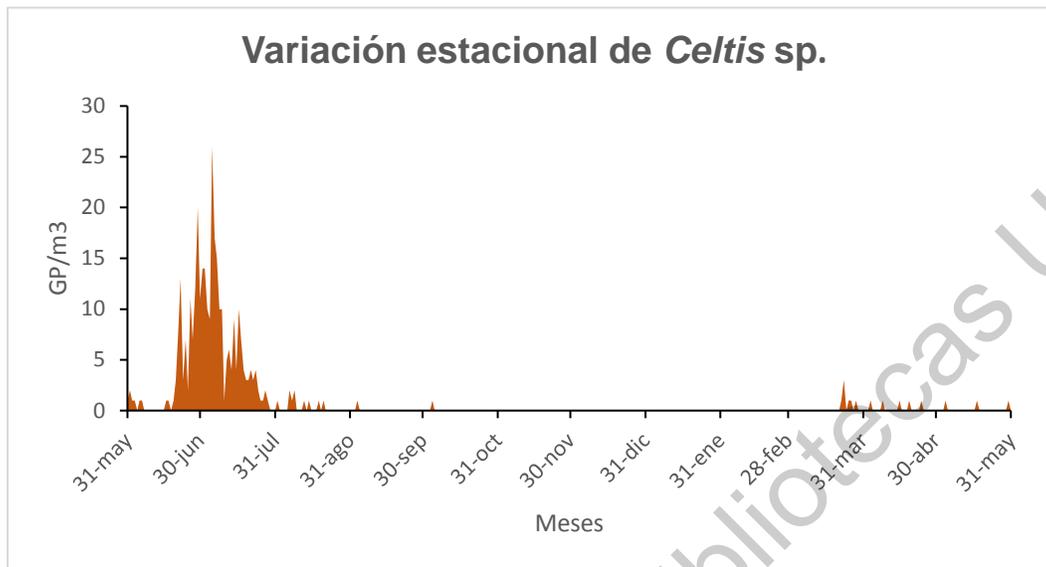


Figura 16. Concentración atmosférica diaria de polen de *Celtis* sp. del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

Para la obtención del PPP de este tipo polínico se tomaron en cuenta los datos de los meses de junio, julio y agosto, debido a que sí se toman todos los datos, el PPP comprende días en los cuales no hay presencia del polen de *Celtis* en la atmósfera. El periodo de polinación de *Celtis* sp. comprendió 63 días, del 6 de junio al 7 de agosto de 2018. El pico máximo se presentó el 5 de julio de 2018 con 19 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 30 días y el periodo post-pico 34 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Celtis* sp. es de 0.25, esto indica que el pico de la gráfica es estable y el polen de *Celtis* presenta una liberación de polen en un periodo de tiempo determinado que sería de 8 hasta las 12 h, el 26% del polen se encuentra a las 10 h y se observa un descenso a medio día (Fig. 17).

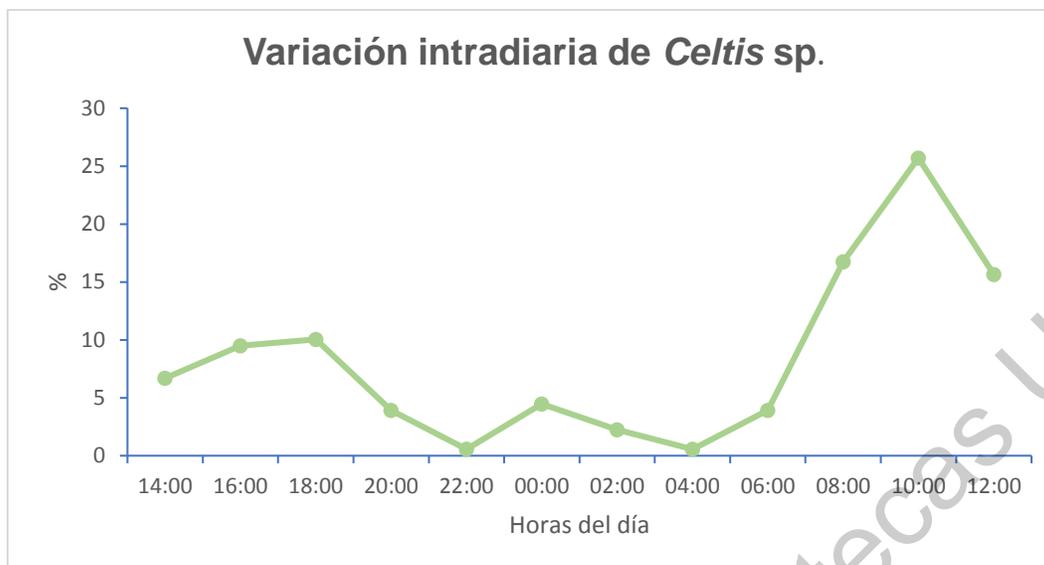


Figura 17. Distribución intradiaria de *Celtis* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 5, durante el PPP el polen de *Celtis* sp. presentó una correlación negativa ($p < 0.05$) con la temperatura, pero la humedad relativa le favoreció ($p < 0.05$). Durante el pre-pico, la velocidad del viento le favoreció ($p < 0.01$), sin embargo, con la humedad relativa presentó una correlación negativa ($p < 0.05$). En el periodo post-pico, ninguna variable climática tuvo correlación con la presencia del polen en la atmósfera.

Cuadro 5. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Celtis* sp. con las variables climáticas.
 (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (52)	Pre-Pico N (20)	Post-Pico N (33)
Temperatura (°C)	-0.306*	0	-0.224
Precipitación (mm)	0.104	-0.252	-0.027
Velocidad del viento (m/s)	-0.032	0.564**	-0.269
Humedad relativa (%)	0.292*	-0.479*	0.328

Discusión

En el municipio de Querétaro se tiene registro de solo dos especies *Celtis pallida* y *C. caudata*, las cuales son representativas de la vegetación de matorral xerófito, la primera presenta su época de floración en los meses de junio- agosto y la última entre marzo y mayo (Pérez y Carranza, 1999), esta época es similar a la estacionalidad (Fig. 13) de este tipo polínico durante el estudio. En los estudios de polen atmosférico es un tipo polínico que se observa comúnmente en la atmósfera. En el estudio de San Nicolás, Nuevo León, la presencia de este tipo polínico se observa de febrero a septiembre (Rocha *et al.*, 2008). En Hermosillo se encuentra en la época de verano (Ortega *et al.*, 2019). En el sur de la Ciudad de México se observa este tipo polínico, pero en concentraciones muy bajas (Rojas, 2012). Debido a que es el tercer tipo polínico más importante en la atmósfera del norte de Querétaro con un IPA del 9.21% y en Europa el polen de *Celtis* tiene consideración moderada de alergenicidad, (Trigo *et al.*, 2008), se debe considerar como un posible causante de polinosis.

6.2.4 *Pinus* sp.

Morfología polínica

Grano de polen heteropolar y bisimétrico, con dos vesículas aeríferas laterales. Inaperturado. Corpus de oblato a oblato-esferoidal, en vista polar elíptico y en vista ecuatorial plano-convexo, vesículas aeríferas de elípticas a subcirculares (Fig. 18). Su tamaño es grande, el cuerpo central en vista polar mide entre 34 y 60 μm de diámetro. El grosor de exina es de 2 a 4 μm . Superficie granulada-verrugosa y las vesículas aeríferas psilado-microperforada (Trigo *et al.*, 2008; Valero y Cadahía, 2002).

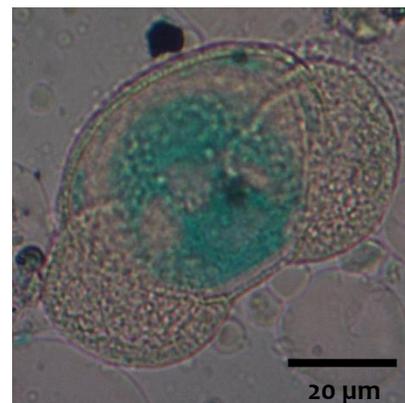


Figura 18. Grano de polen de *Pinus* sp. (40x10 aumentos)

Variación estacional

Como se observa en la Figura 19, el polen de *Pinus* sp. presenta una mayor concentración en los meses de febrero a mayo del 2019. Tiene presencia en la

atmósfera en los meses de junio y julio de 2018 con solo 25 granos de polen en cada mes, en los meses de agosto, octubre y noviembre solo hay presencia de un grano de polen, en los meses de diciembre y enero se observan siete y seis granos de polen respectivamente. Los granos de polen observados durante todo el año de *Pinus* sp. fueron 448 (gp) del total anual (4,926 gp), y esto representa el 9.09% del IPA.

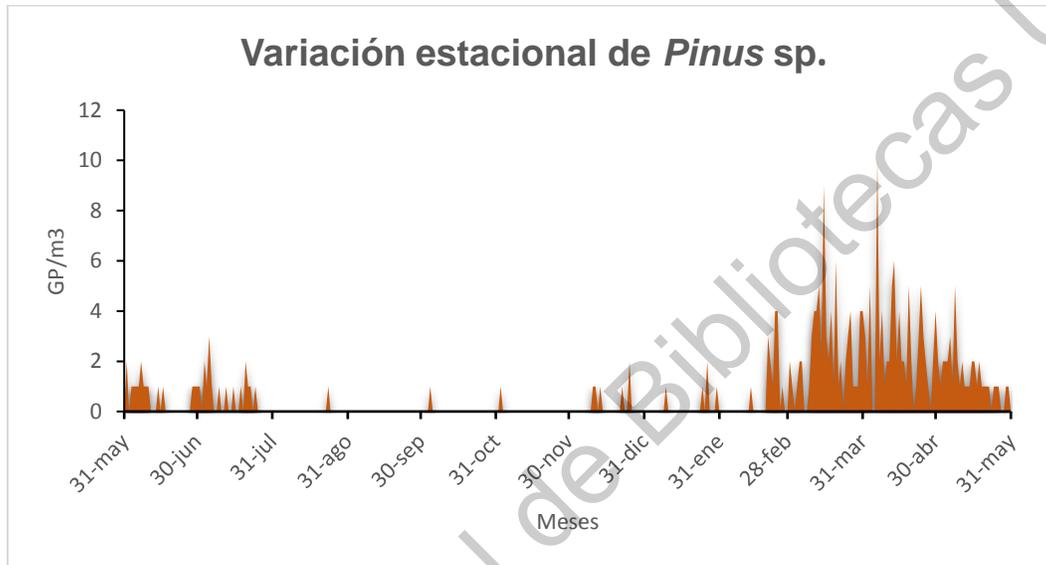


Figura 19. Concentración atmosférica diaria de polen de *Pinus* sp. del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019

Periodo principal de polinación

Para la obtención del PPP de *Pinus* se utilizaron los datos de los meses de febrero a mayo, esto es porque si se toman todos los datos, el PPP indica que el polen de *Pinus* se encuentra en la atmósfera durante todo el año. El periodo de polinación de *Pinus* sp. comprendió 91 días, del 21 de febrero (2.81%) al 22 de mayo de 2019. El pico máximo se presentó el 6 de abril con 10 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 45 días y el periodo post-pico duro 47 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Pinus* sp. es de 0.14, esto indica que la liberación de polen es gradual desde las 6 h hasta las 16 h, en esta ultima hora la

cantidad de polen es del 17%, y se observa el descenso de polen en las horas posteriores (Fig. 20).

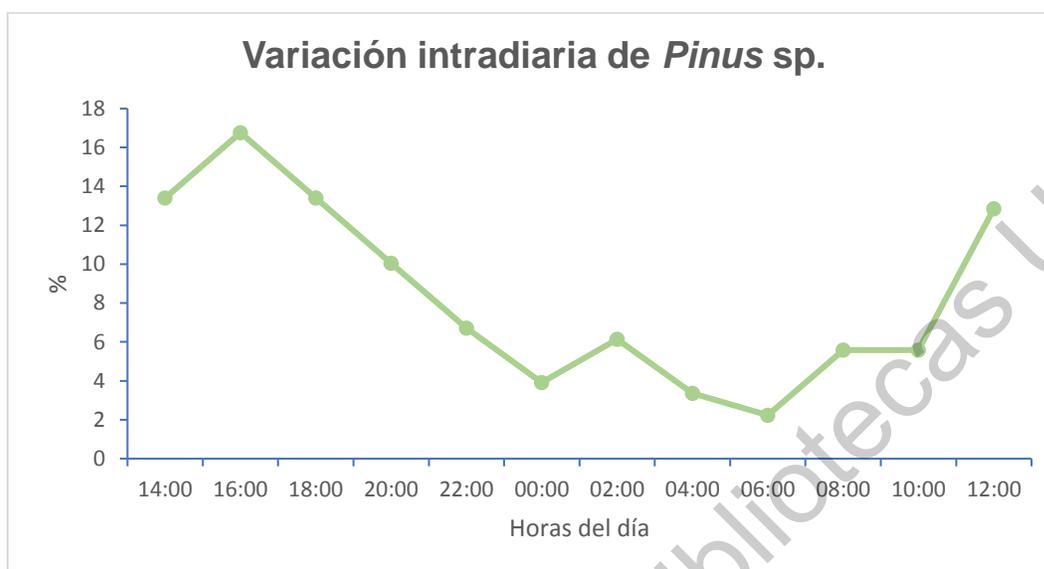


Figura 20. Distribución intradiaria de *Pinus sp.* durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Durante el PPP del polen de *Pinus sp.* solo presenta correlación positiva ($p < 0.01$) con la velocidad del viento y presenta la misma correlación en el periodo pre-pico y post-pico, la temperatura no le favoreció ($p < 0.01$) en el periodo post-pico (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Pinus sp.* con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (89)	Pre-Pico N (45)	Post-Pico N (45)
Temperatura (°C)	-0.208	-0.164	-0.443**
Precipitación (mm)	0.03	0.03	0.069
Velocidad del viento (m/s)	0.462**	0.478**	0.438**
Humedad relativa (%)	0.09	0.139	0.128

Discusión

Los árboles de pinos no son representativos de la vegetación del norte del municipio de Querétaro y los ejemplares que se encuentran son cultivados. El polen de *Pinus* presenta una época de polinización desde febrero a junio (García y Belmonte, 2002; Trigo *et al.*, 2008; Sánchez, 2014), esto coincide con la estacional que se observa en este estudio, en el cual hay mayor concentración polínica en los meses de febrero a mayo del 2019. Estos mismos datos se presentan en los estudios de Monterrey (Rocha *et al.*, 2009), en Toluca durante primavera-invierno (Cid del Prado *et al.*, 2015), Hermosillo en la época de primavera (Ortega *et al.*, 2019) y Ciudad de México de enero a mayo (González *et al.*, 1999; Rojas, 2012; Olivé, 2012).

Con respecto a la distribución intradiaria, los trabajos en el norte y sur de la ciudad de México tienen sus picos máximos en las horas de la tarde (14-16 h) y en este estudio se obtiene el mismo comportamiento, observándose una mayor cantidad de granos de polen a las 16 h. Esto puede asociarse con la humedad relativa, debido a que en las horas de la tarde esta tiende a disminuir (Stennett y Beggs, 2004), haciendo más fácil el traslado de *Pinus* ya que dado su tamaño, cuando hay más humedad relativa los granos de polen se hinchan y estos precipitan (Käpylä, 1984; Guido y Almeida, 2005; Vázquez *et al.*, 2003; Aboulaich *et al.*, 2013). En la madrugada, a las 2 h, se observa un pico pequeño que involucra al 6% de los granos de polen de *Pinus*, hay estudios donde mencionan que la presencia de polen en la noche, se debe a que la fuente de emisión presenta una gran distancia del muestreador (Trigo *et al.*, 1997). A pesar de que no hay bosque de pinos cercanos a la zona de muestreo, en el municipio de Amealco de Bonfil, el cual se encuentra a 60 km de distancia, hay manchones de pinares naturales (Zamudio *et al.*, 1992) y se conoce que el grano de polen de pino recorre grandes distancias. Durante todo el PPP, pre-pico y post-pico el polen de *Pinus* tiene una correlación significativa y positiva con la velocidad del viento, esto se debe a que el polen de *Pinus* presenta un tamaño grande y necesita del viento para poder trasladarse.

Diversos estudios señalan que el polen de *Pinus* causa sensibilización en algunos pacientes (García y Belmonte, 2002; Trigo *et al.*, 2008), pero no se considera un

polen alergénico debido al tamaño que presenta y a los niveles bajos de proteínas que contiene (Gastaminza *et al.*, 2009), lo anterior fue confirmado en un estudio hecho en pacientes con asma y rinitis alérgica de México que demostró que no existe sensibilización a este tipo polínico (Velasco y Velázquez, 2014).

6.2.5 *Mimosa* sp.

Morfología polínica

Tétrada conformada por granos de polen en forma elíptica, acomodados de forma tetragonal. Tamaño pequeño. El diámetro mayor de la tétrada es de 13 (15.42) 19 μm , el diámetro menor es de 10 (11.63) 14 μm . Superficie aparentemente psilada, no se observan poros (Fig. 21).



Figura 21. Grano de polen de *Mimosa* sp. (40x10 aumentos)

Variación estacional

El polen de *Mimosa* sp. está presente en la atmósfera en los meses de junio, julio y agosto, siendo el mes de julio con mayor concentración de polen, 233 granos de polen/ m^3 de aire. En los meses de octubre y diciembre hay presencia de un grano de polen en cada mes, posiblemente resuspendido en la atmósfera (Fig. 22). El total de granos de polen fue de 404 (gp) del total anual (4,926 gp) y representa el 8.2% del IPA.



Figura 22. Concentración atmosférica diaria de polen de *Mimosa* sp. del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El periodo principal de polinación de *Mimosa* sp. fue del 7 de junio al 18 de agosto de 2018, lo cual comprendió 73 días. El pico máximo fue en dos días, 19 y 20 de julio con 15 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 43 días y el periodo post-pico duro 30 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Mimosa* sp. es de 0.32, esto indica que la liberación de polen ocurre de las 4 a las 10 h, pasando esa hora hay un descenso del polen. Como se observa en la Fig. 23, la mayor cantidad de polen se encuentra a las 10 h con un 33% del polen total.

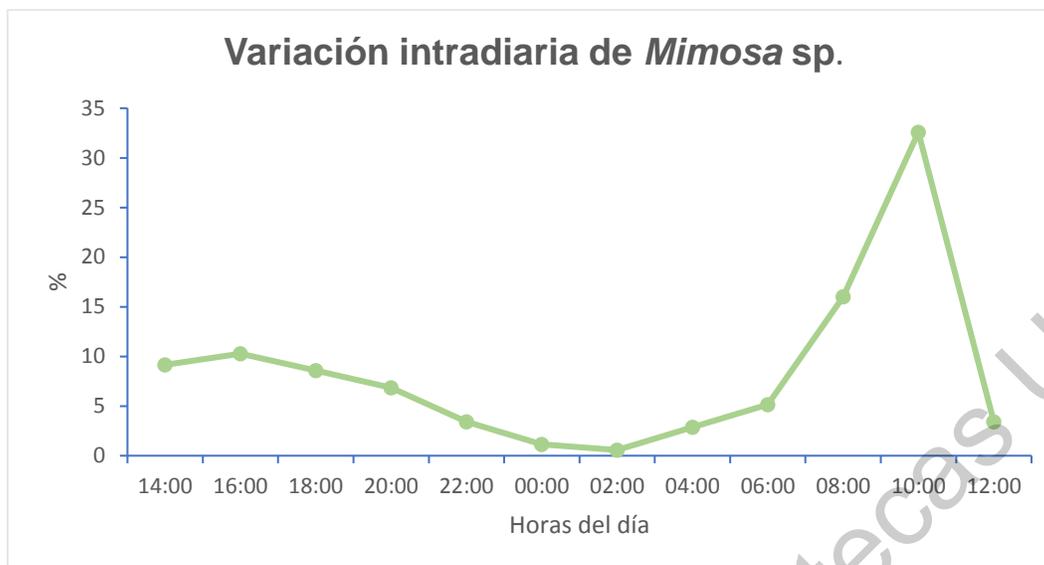


Figura 23. Distribución intradiaria de *Mimosa* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 7, la concentración del polen de *Mimosa* durante el PPP presentó una correlación positiva ($p < 0.01$) con la temperatura, pero la precipitación y la humedad relativa fue negativa ($p < 0.01$), esta misma correlación negativa se presenta en el periodo pre-pico y en el periodo post-pico solo la temperatura tiene una correlación positiva ($p < 0.05$) y la humedad relativa junto con la precipitación se correlacionan negativamente ($p < 0.01$).

Cuadro 7. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Mimosa* sp. con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (71)	Pre-Pico N (42)	Post-Pico N (29)
Temperatura (°C)	0.407**	0.191	0.777*
Precipitación (mm)	-0.613**	-0.678**	-0.490**
Velocidad del viento (m/s)	0.031	-0.006	-0.136
Humedad relativa (%)	-0.537**	-0.472**	-0.732**

Discusión

Mimosa es un género muy representativo del matorral xerófito de Querétaro, en el estado se tiene registro de al menos 10 especies, como son varias especies su periodo de floración es muy variado, pero en su mayoría la floración ocurre de abril a octubre, en algunas especies se extiende hasta diciembre (Andrade *et al.*, 2007). En la atmósfera del norte de Querétaro la estacionalidad del polen indica que se encuentra de junio-agosto. En los estudios de Toluca (Cid del Prado, 2015), Hermosillo (Ortega *et al.*, 2019) y Ciudad de México (Rojas, 2012; Calderón *et al.*, 2016; Calderón *et al.*, 2018) no es un tipo polínico representativo, este tiene una concentración anual del 0.04% y en Monterrey observaron la mitad de los granos de polen (232 GP) que se observan en la atmósfera de Querétaro (Rocha *et al.*, 2009). Durante todo el PPP, pre-pico y post-pico la precipitación y humedad relativa provocaron que la concentración polínica bajara, debido a que es un grano de polen pequeño la lluvia hace un lavado en la atmósfera logrando su precipitación y la humedad relativa hincha al grano de polen y lo hace más pesado para viajar en el aire (Käpylä, 1984; Guido y Almeida, 2005; Vázquez *et al.*, 2003; Aboulaich *et al.*, 2013). A pesar de que es un tipo polínico muy representativo en la atmósfera del norte de Querétaro con un IPA del 8.2%, no hay estudios que mencionen al polen de *Mimosa* sp. como causante de sensibilización alérgica.

6.2.6 Amaranthaceae

Morfología polínica

Grano de polen esferoidal, pantoporado, apolar y radiosimétrico. Según la especie el tamaño puede ser de pequeño a mediano, de 10 a 30 μm de diámetro (Fig. 24). El número de poros puede oscilar de 30 a 60 y tienen un diámetro de 2 a 3 μm . Grosor de exina de 2 a 3 μm . Superficie rugulada-escábrida (Trigo *et al.*, 2008; Schüler y Hemp, 2016).

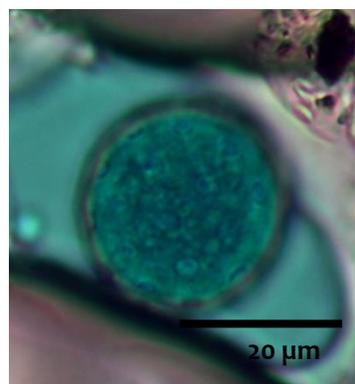


Figura 24. Grano de polen de Amaranthaceae (40x10 aumentos).

Variación estacional

El polen de la familia Amaranthaceae se presenta en mayor concentración en los meses de julio (41 gp), agosto (82 gp), septiembre (177 gp) y octubre (28 gp). En los meses de diciembre, febrero, marzo y mayo ya no se encuentra presente en la atmósfera. Los meses restantes junio, enero y abril no sobrepasan los nueve granos de polen (Fig. 22). El total de granos de polen de esta familia fue de 346 (gp) del total anual (4,926 gp), esto representa el 7.02% del IPA.

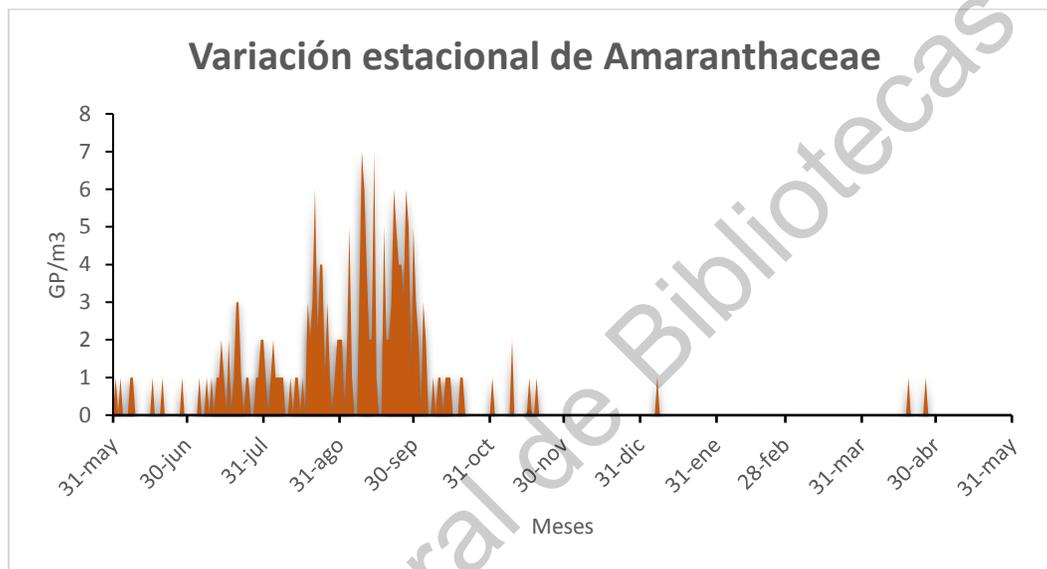


Figura 25. Concentración atmosférica diaria de polen de Amaranthaceae del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El periodo principal de polinación en Amaranthaceae comprendió 147 días en las fechas del 16 de junio al 9 de noviembre de 2018. El pico máximo fue el 9 de septiembre con 7 gp/m³ de aire. El periodo pre-pico duró 86 días y el periodo post-pico duró 62 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en Amaranthaceae es de 0.22, esto indica que la liberación del polen ocurre solamente en horas de las 4 hasta 14 h, las horas de la tarde y noche (18-22 h) el polen comienza a descender. Como se observa en la Figura 23, el 46% del polen total se encuentra a las 12-14 pm.

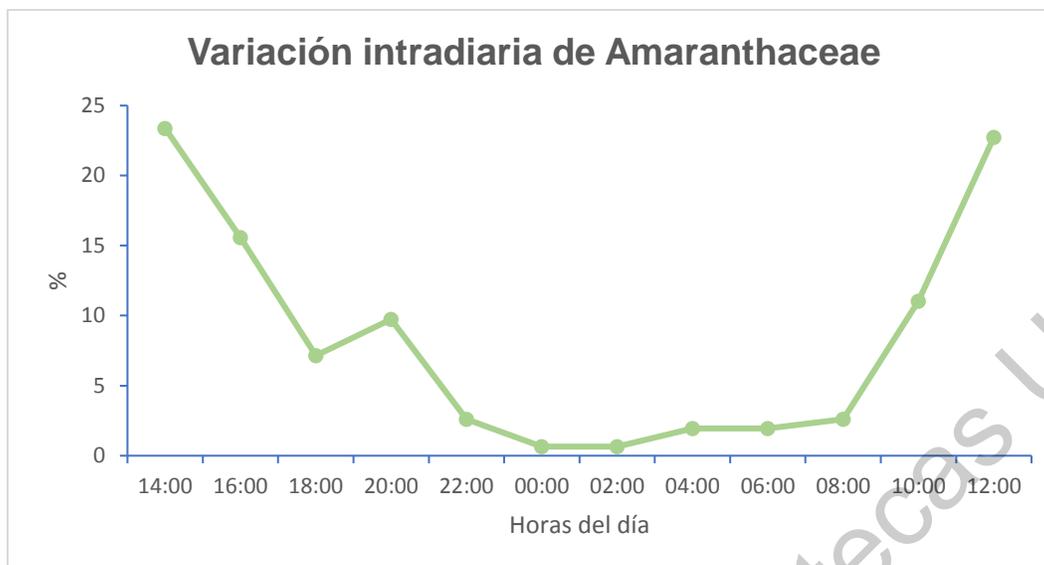


Figura 26. Distribución intradiaria de Amaranthaceae durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Durante el PPP, Pre-Pico y post-pico, la temperatura tuvo correlación positiva con la concentración de polen de Amaranthaceae, como se observa en la Cuadro 8, ninguna otra variable presentó una correlación significativa.

Cuadro 8. Correlación entre la concentración de granos de polen de Amaranthaceae con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (127)	Pre-Pico N (66)	Post-Pico N (62)
Temperatura (°C)	0.236**	0.257*	0.332*
Precipitación (mm)	-0.035	-0.116	0.047
Velocidad del viento (m/s)	0.098	0.092	0.052
Humedad relativa (%)	-0.086	-0.172	-0.106

Discusión

En el municipio de Querétaro se tiene registro de 18 especies de Amaranthaceae (Martínez *et al.*, 2017), aquí se incluye a la antes familia Chenopodiaceae, la cual de acuerdo con APG IV (Stevens, 2001) ya se encuentra dentro de Amaranthaceae. Debido a que son varias especies la época de floración es muy variada, pero en su mayoría florece en los meses de mayo a octubre (Tovar y Martínez, 2008) y coincide con la estacionalidad que se presenta en este estudio. En Toluca no es un tipo polínico representativo, sin embargo, en Hermosillo representa el 9.69% del total anual (Ortega *et al.*, 2019). En los dos estudios de Nuevo León se observan más de 500 GP en el año, los cuales representan el 2.4% (Rocha *et al.*, 2009) y 1.87% (Rocha *et al.*, 2008) y en el norte y sur de la Ciudad de México el IPA es menor al 0.6% (Olivé, 2012; Rojas, 2012). A pesar de que en Querétaro este tipo polínico representa el 7.06%, la cantidad de GP es menor a los observados en Monterrey.

De acuerdo con el muestreo aerobiológico que se hizo en Málaga, este tipo polínico presenta el mismo comportamiento en cuanto a la variación y distribución intradiaria de igual manera la correlación con la variable de temperatura es positiva con esto se afirma que el polen de Amaranthaceae se encuentra en el aire a mediodía y primeras horas de la tarde, cuando la insolación y las temperaturas son máximas (Recio *et al.*, 1998). Sin embargo, en ese estudio la variable de precipitación es positiva, pero en los resultados obtenidos no se observa correlación alguna con la precipitación.

Diferentes trabajos señalan que el polen de esta familia es potencialmente alérgico induciendo a la polinosis (Bush y Madison, 1989; Recio *et al.*, 1998; Valero y Picado, 2002; Trigo *et al.*, 2008), en la atmósfera de Querétaro es el sexto tipo polínico más representativo, por tal motivo es necesario continuar con el monitoreo para conocer el patrón de estacionalidad y ver si es el posible causante de casos de polinosis en la ciudad.

6.2.7 *Ricinus communis*

Morfología polínica

Grano de polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular a ligeramente triangular en vista polar y de subcircular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial (Fig. 27). Tamaño mediano, 27 (29.7) 31 μm de diámetro. Superficie perforada-reticulada (Trigo *et al.*, 2008; Schüler y Hemp, 2016; Valero y Cadahía, 2002).



Figura 27. Grano de polen de *Ricinus communis* (40x10 aumentos).

Variación estacional

El polen de *Ricinus communis* estuvo presente en la atmósfera durante todo el año, los meses con mayor cantidad de polen son julio (91 gp) y agosto (76 gp), seguidos de junio (33 gp) y septiembre (28 gp), en los meses restantes la cantidad de polen que se observa no sobrepasan 14 gp por mes (Fig. 28). El total de polen de *Ricinus communis* fue de 283 gp del total anual (4,926 gp) y representa el 5.74% del IPA.

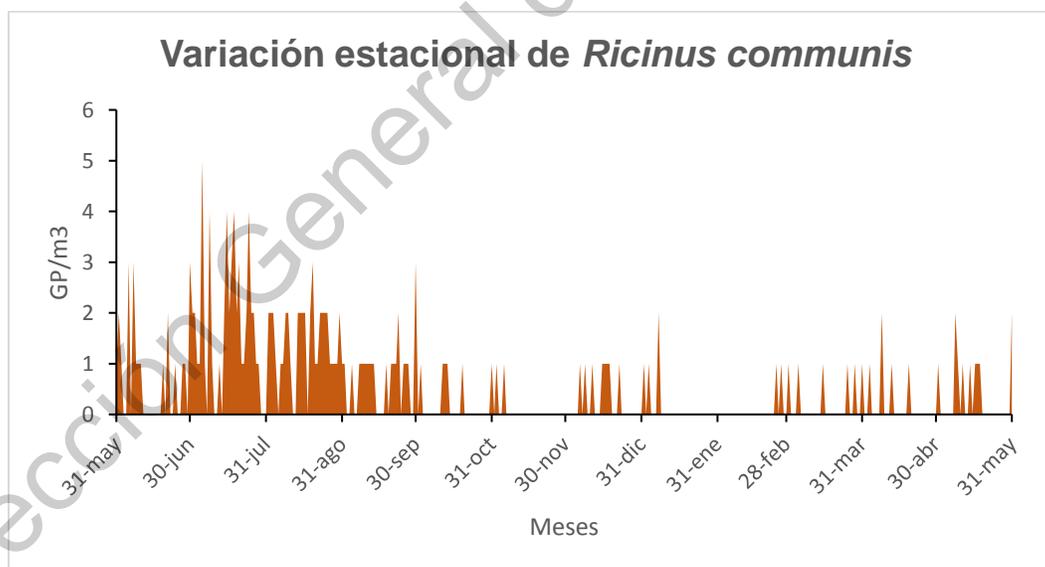


Figura 28. Concentración atmosférica diaria de polen de *Ricinus communis* del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El periodo principal de polinación en *Ricinus communis* fue 346 días el cual comienza el 5 de junio de 2018 y finaliza el 16 de mayo de 2019. El pico máximo se alcanzó el 5 de julio con 5 GP/m³. El periodo pre-pico duro 31 días y el periodo post-pico fue de 316 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Ricinus communis* es de 0.14, lo que indica que la liberación de polen es gradual, comienza a las 4 h y alcanza su punto máximo de 10 -12 horas, en estas horas se encuentra el 32% del polen total, después de las 14 h el polen comienza a descender (Fig. 29).

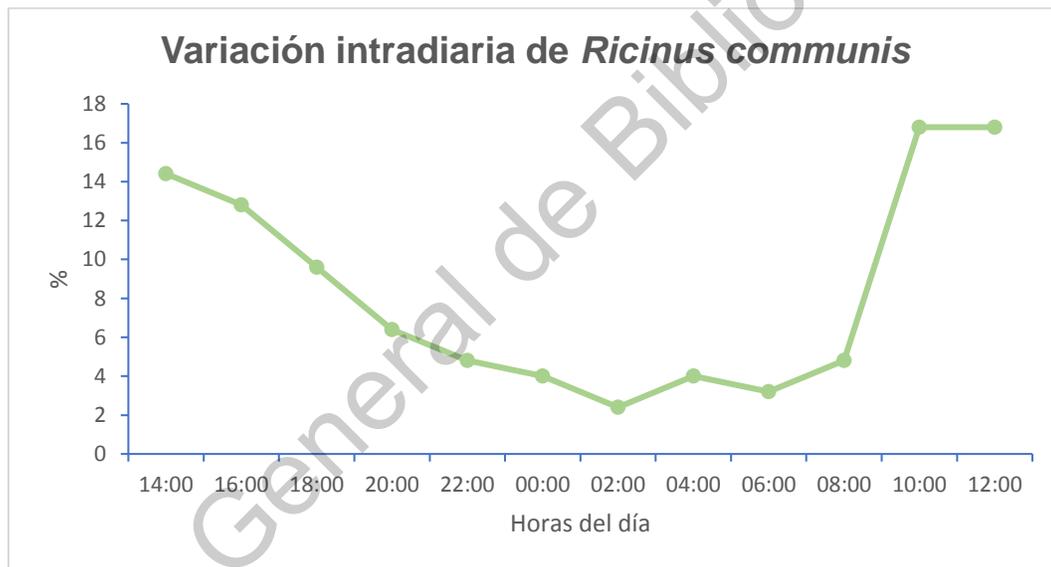


Figura 29. Distribución intradiaria de *Ricinus communis* durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 9, durante el PPP de *Ricinus communis* presenta una correlación positiva ($p < 0.01$) con la temperatura y la precipitación, en el periodo pre-pico se correlaciona negativamente con la precipitación ($p < 0.05$) y la humedad relativa ($p < 0.01$) pero la velocidad del viento favorece en la concentración de este tipo polínico ($p < 0.01$); en el periodo post-pico se correlaciona positivamente con la temperatura, precipitación y humedad relativa.

Cuadro 9. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Ricinus communis* con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (343)	Pre-Pico N (31)	Post-Pico N (313)
Temperatura (°C)	0.213**	0.182	0.205**
Precipitación (mm)	0.133**	-0.414*	0.187**
Velocidad del viento (m/s)	0.018	0.557**	0.013
Humedad relativa (%)	0.088	-0.476**	0.122*

Discusión

Ricinus communis es una especie que pertenece a la familia Euphorbiaceae, se considera una planta exótica e invasiva en México y comúnmente se encuentra en carreteras y terrenos abandonados (Mondragón y Vibrans, 2009). En este estudio el periodo de estacionalidad se observa casi todo el año, con una mayor concentración polínica en los meses de junio a septiembre, este resultado es análogo a la fenología de la planta que florece en zonas cálidas casi todo el año y es una especie fuertemente anemófila debido a la dehiscencia explosiva de las anteras (Del Mar, 2002; Trigo *et al.*, 2008). Solo en los estudios de Nuevo León este tipo polínico es representativo, con más de 500 GP durante el año y obtienen el mismo patrón de estacionalidad (Rocha *et al.*, 2008; Rocha *et al.*, 2009) y en la ciudad de México sí se encuentra presente en la atmósfera, pero con un porcentaje del IPA menor al 1% (Olivé, 2012; Rojas, 2012; Calderón *et al.*, 2016).

De acuerdo a la variación intradiaria, un estudio que se hizo en Málaga (García *et al.*, 1999) registra la mayor concentración polínica a las 12-16 h del día, esto difiere con los resultados obtenidos en este estudio. Pero se observa el mismo patrón en las horas de liberación del polen (8-10 h).

Son pocos estudios que se tienen para conocer sí este tipo polínico es potencialmente alergénico. El estudio de García *et al.* (1999) en Málaga, España confirma que de 1946 pacientes el 7.7% presenta sensibilización a este tipo polínico.

6.2.8 *Morus sp.*

Morfología polínica

Grano de polen isopolar, radiosimétrico y dizonoporado. De forma esferoidal, tamaño mediano, 20.67 (18-23) μm de diámetro, grosor de exina $<1 \mu\text{m}$. Diámetro de los poros 2-3 μm (Fig. 30).



Figura 30. Grano de polen de *Morus sp.* (40x10 aumentos).

Variación estacional

El polen de *Morus sp.* se encuentra presente en la atmósfera con una mayor cantidad en los meses de junio (72 gp), julio (145 gp) y agosto (24 gp), los meses siguientes ya no se encuentra presente hasta el mes de marzo del 2019, con cuatro granos de polen, abril y mayo solo se observa un grano de polen en cada mes (Fig. 31). El polen total de *Morus sp.* fue de 251 gp del total anual (4,926 gp), esto representa el 5.09% del IPA.

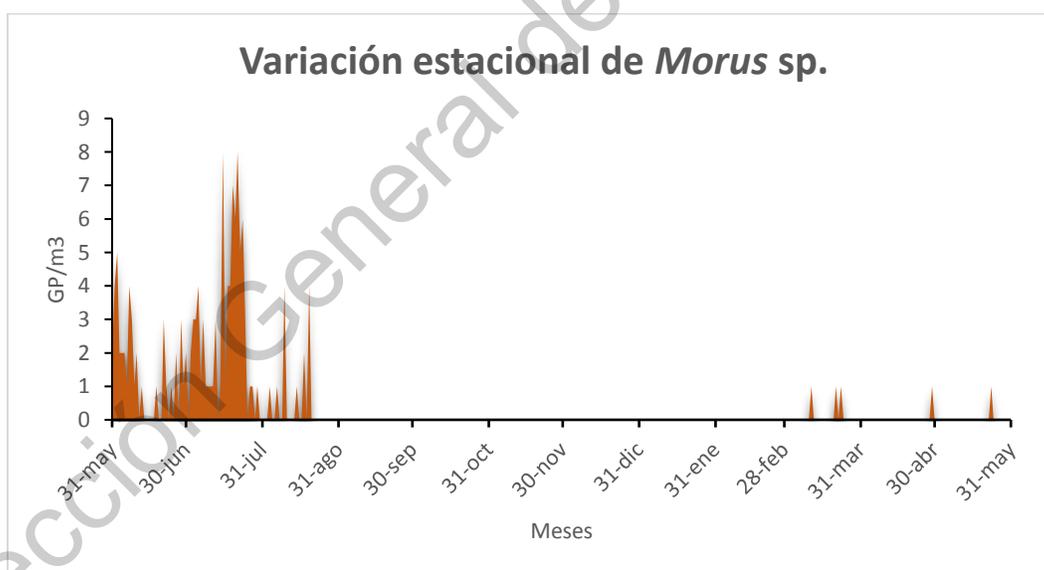


Figura 31. Concentración atmosférica diaria de polen de *Morus sp.* del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

Para obtener el PPP se usaron los datos de junio, julio y agosto, esto es porque si se usan todos los datos, el PPP comprende días en donde no hay polen. El periodo

de polinación de *Morus* sp. es posible que comenzará antes del muestreo, esto es porque el PPP inicial del 1 de junio es del 4.44% (arriba del 2.5%), y finaliza el 17 de agosto del 2018, esto comprende 78 días. Se presentan dos picos máximos, el 15 y 21 de julio de 2018 con 8 GP/m³. El periodo pre-pico del 15 de julio duro 45 días y el periodo post-pico duro 34 días, en el segundo pico (21 de julio) su periodo pre-pico duro 51 días y el periodo post-pico duro 28 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Morus* sp. es de 0.17, lo cual indica que la liberación de polen es gradual, comenzando a las 20 h hasta las 4 h, en las horas de la mañana y tarde la cantidad de polen desciende. Como se observa en la Figura 29, el pico máximo se observa a media noche con el 19.5% del polen total.

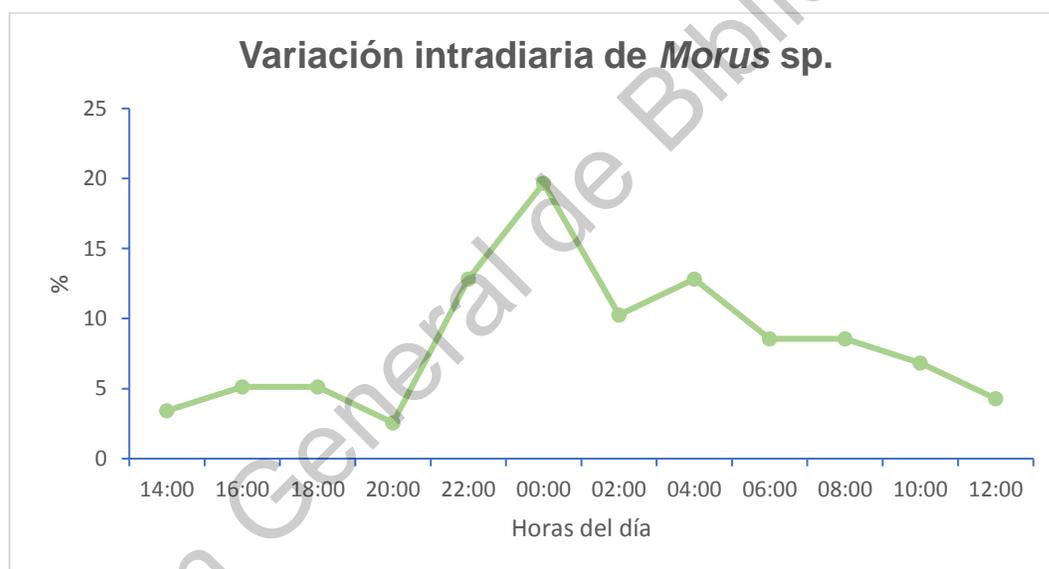


Figura 32. Distribución intradiaria de *Morus* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

La concentración de polen en *Morus* durante su PPP se correlaciona positivamente ($p < 0.05$) con la temperatura, pero la humedad relativa y la precipitación se correlaciona negativamente ($p < 0.01$); en el periodo pre-pico, en el primer pico del 15 de julio, se correlaciona negativamente ($p < 0.01$) con la precipitación y la humedad relativa y positivamente ($p < 0.05$) con la velocidad del viento sin embargo en el segundo pico (21 de julio) en este periodo solo tiene correlación positiva (p

<0.05) con la temperatura y negativa ($p < 0.01$) con la humedad relativa y la precipitación. En el periodo post-pico, del primer pico, solo hay correlación positiva con la temperatura ($p < 0.05$) y negativa con la humedad relativa ($p < 0.01$), en el segundo pico no se presenta ninguna correlación (Cuadro 10).

Cuadro 10. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Morus* sp. con las variables climáticas.

(*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (78)	Pre-Pico (15 Julio) N (45)	Post-Pico N (34)	Pre-Pico (21 Julio) N (51)	Post-Pico N (28)
Temperatura (°C)	0.285*	0.233	0.411*	0.301*	0.312
Precipitación (mm)	-0.303**	-0.385**	-0.26	-0.450**	-0.083
Velocidad del viento (m/s)	-0.131	0.300*	-0.531**	0.131	-0.245
Humedad relativa (%)	-0.379**	-0.474**	-0.29	-0.472**	-0.285

Discusión

Morus sp. pertenece a la familia Moraceae, de este género solo hay dos especies representativas en el municipio de Querétaro: *Morus celditifolia* la cual tiene un periodo de floración intermitente a lo largo del año (Servando, 2007) y *M. alba* que presenta su época de floración en el verano, cabe resaltar que esta especie es introducida y su uso es ornamental (Malda *et al.*, 2016). De acuerdo a la estacionalidad que se obtuvo en este estudio, *Morus* es análogo a la fenología reportada debido a que en el estudio se encuentra presente a finales de primavera y mediados del verano. Rocha *et al.* (2008) reporta que en la atmósfera del Área Metropolitana de Monterrey *Morus* sp. es un tipo polínico muy representativo con 1805.76 GP/m³ y una estacionalidad de enero a diciembre y los estudios en la Ciudad de México (Lozano *et al.*, 1999; Rojas, 2012; Olivé, 2012; Calderón *et al.*, 2016) presenta bajas concentraciones y se considera raro en la atmósfera. Este tipo polínico tiene una importante presencia en el aire y se incluye en los calendarios polínicos de España (Trigo *et al.*, 2008). De acuerdo a la variación intradiaria, *Morus* sp. presenta la mayor concentración polínica a media noche, este mismo resultado

se observa en el sur de la ciudad de México (Rojas, 2012), cabe señalar que algunos autores mencionan que cuando hay presencia de granos de polen en la noche, es porque la fuente de emisión se encuentra retirada del captador (Trigo *et al.*, 1997). Solo el polen de *Morus alba* presenta capacidad alérgica (Baltasar, 2005; Trigo *et al.*, 2008).

6.2.9 Cupressaceae

Morfología polínica

Grano de polen apolar, radiosimétrico e inaperturado. De forma esferoidal, tamaño mediano, diámetro de 28.64 (24- 36) μm . Exina delgada y la intina muy gruesa, quedando el citoplasma relegado a la zona central, con forma estrellada (Fig. 33). Superficie escábrida con gran cantidad de gemas u orbículos irregularmente esparcidos (Trigo *et al.*, 2008; Valero y Cadahía, 2002).



Figura 33. Grano de polen de Cupressaceae (40 x 10 aumentos).

Variación estacional

El polen de la familia Cupressaceae se encontró en la atmósfera durante todo el año de muestreo, el mes con mayor cantidad de polen fue en enero (95 gp), seguido del mes de diciembre (38 gp) y junio (25 gp) y en los meses restantes no se observaron más de 12 gp por mes (Fig. 34). El polen total de Cupressaceae fue de 222 gp del total anual (4,926 gp), esto representa el 4.5% del IPA.

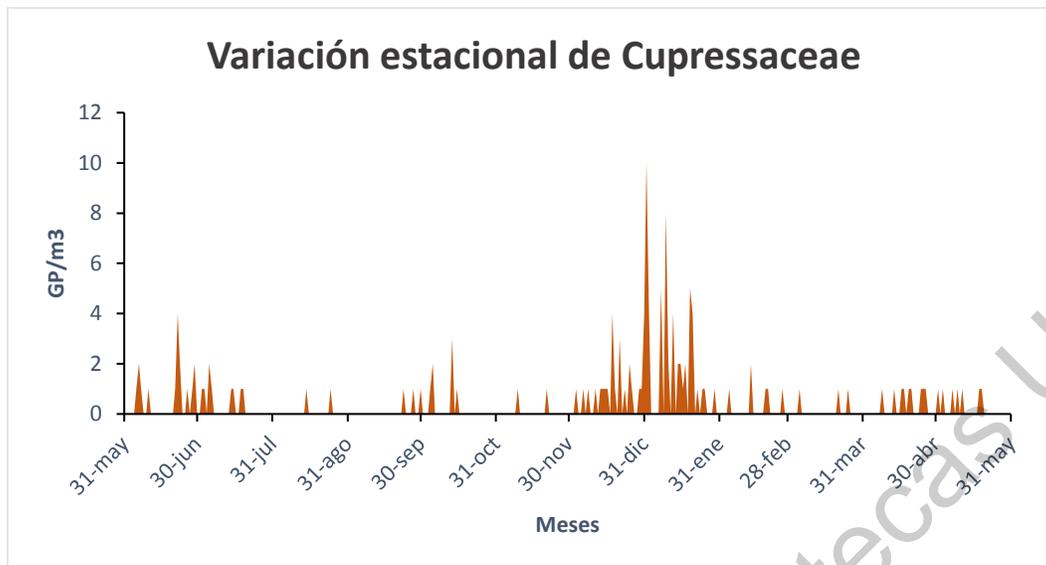


Figura 34. Concentración atmosférica diaria de polen de Cupressaceae del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El PPP de Cupressaceae comprendió 335 días, del 7 de junio del 2018 hasta el 7 de mayo de 2019. El pico máximo se alcanzó el 1 de enero de 2019 con 10 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 209 días y el periodo post-pico duro 127 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en Cupressaceae es de 0.17, esto indica que la liberación del polen es gradual, comienza a media noche y se mantiene constante en las horas de la madrugada, se observa un aumento a las 8 h y su pico máximo es a las 18 h, después de esta hora la cantidad de polen comienza a descender, en esta ultima hora se observa el 21% del polen total de Cupressaceae (Fig. 35).

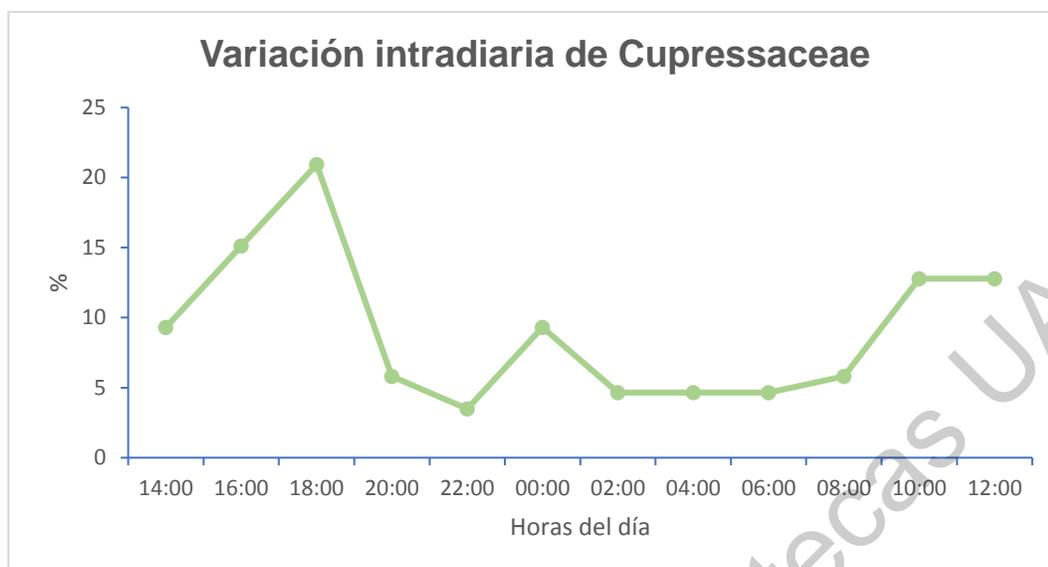


Figura 35. Distribución intradiaria de Cupressaceae durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 11, la concentración de polen de Cupressaceae solo se correlaciona, negativamente ($p < 0.05$), con la variable de temperatura durante el PPP y el periodo post-pico, las demás variables no presentan correlación alguna.

Cuadro 11. Correlación entre la concentración de granos de polen de Cupressaceae con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (331)	Pre-Pico N (206)	Post-Pico N (126)
Temperatura (°C)	-0.122*	-0.121	-0.185*
Precipitación (mm)	-0.09	-0.093	0.067
Velocidad del viento (m/s)	-0.059	-0.095	-0.053
Humedad relativa (%)	-0.033	-0.108	0.108

Discusión

La familia Cupressaceae tiene solo tres géneros representativos y nativos de Querétaro: *Cupressus*, *Juniperus* y *Taxodium*, estos presentan los conos masculinos maduros en los primeros meses del año (Zamudio y Carranza, 1994). En la ciudad de Querétaro, las especies de *Cupressus* y *Juniperus* presentan los conos masculinos en invierno, mientras que *Taxodium mucronatum* los presenta en primavera (Malda *et al.*, 2016). En los estudios aerobiológicos de México (Rocha *et al.*, 2008 y 2009; Ortega *et al.*, 2019; Cid del Prado *et al.*, 2015; Olivé, 2012; Rojas 2012) este tipo polínico es muy representativo con cantidades arriba de 1,000 gp en el año y con una mayor concentración polínica en invierno, el resultado de estacionalidad de este estudio es análogo con lo reportado sin embargo la cantidad de granos de polen observados es inferior, esto es debido a que el tipo de vegetación que rodea a la zona norte de Querétaro es selva baja caducifolia, matorral xerófito y pastizal y hay pocos ejemplares de Cupressaceae, los cuales son ornamentales en la zona. De acuerdo con la variación intradiaria, en la atmósfera del norte de Querétaro Cupressaceae se encuentra a partir de las 8 h con su pico máximo a las 18 h y este mismo patrón se observa en el norte y sur de la Ciudad de México (Olivé, 2012; Rojas, 2012). La temperatura es un factor que afecta la cantidad de polen de Cupressaceae en la atmósfera, con temperaturas mínimas la cantidad de polen aumenta (Cariñanos *et al.*, 2004), esto explica que la temperatura durante el PPP y el post-pico tuviera una correlación negativa.

A pesar de que la cantidad de granos de polen observados no supera a los obtenidos en otras ciudades de México, se tiene reportes que señalan a esta familia como un causante de polinosis en algunos países (Bush y Madison, 1989; Trigo *et al.*, 2008; Calderón *et al.*, 2016). Por tal motivo se debe conocer el periodo de estacionalidad de esta familia para evitar posibles casos de polinosis asociados a este polen.

6.2.10 *Quercus* sp.

Morfología polínica

Grano de polen isopolar, radiosimétrico y trizonocolpado. En vista polar presenta forma circular a subtriangular, en vista ecuatorial de subcircular a ligeramente elíptico (Fig. 36). Tamaño mediano, vista polar = 35 (37.85) 40 μm , v. ecuatorial= 34 (36.8) 40 μm . Grosor de exina 2 μm . Superficie granulosa-verrugosa (Trigo *et al.*, 2008; Valero y Cadahía, 2002).

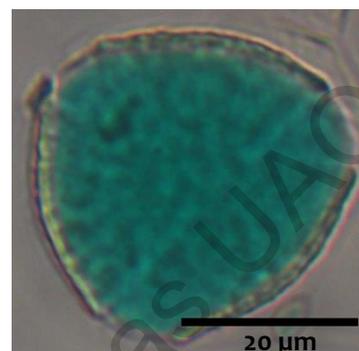


Figura 36. Grano de polen de *Quercus* sp. (40x10 aumentos)

Variación estacional

El polen de *Quercus* sp. se encuentra presente solo en los meses de junio, julio, agosto 2018 y en marzo, abril y mayo 2019. Con 75 gp, marzo es el mes con mayor cantidad de polen, seguido de julio con 24 gp y abril con 21 gp (Fig. 34). El polen total de *Quercus* sp. fue de 143 gp del total anual (4,926 gp), esto representa el 2.9% del IPA.

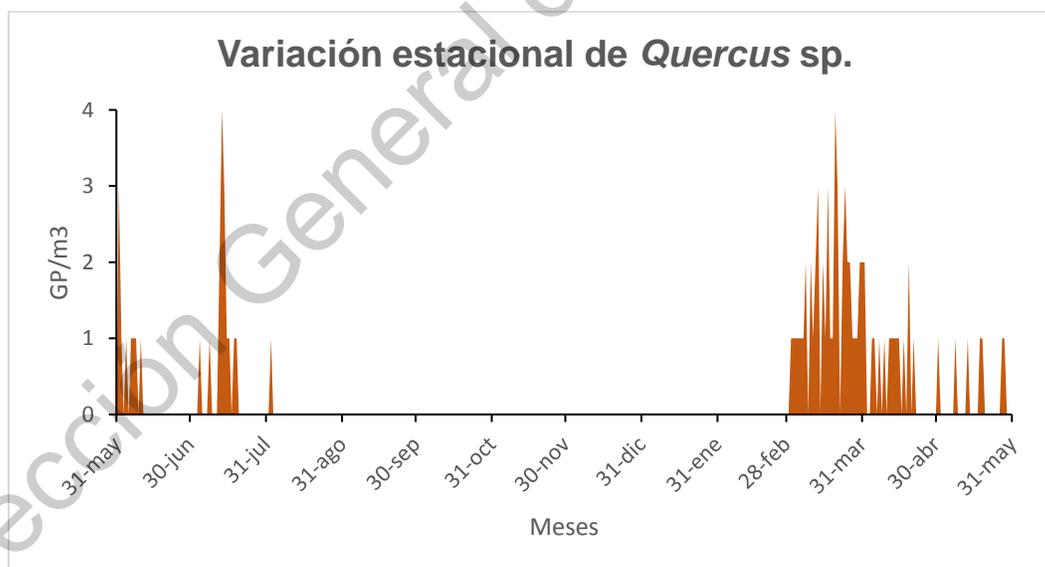


Figura 37. Concentración atmosférica diaria de polen de *Quercus* sp. del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

Para obtener el PPP de *Quercus* se usaron los datos de marzo, abril y mayo de 2019. El PPP de *Quercus* sp. comprendió 78 días, del 3 de marzo al 19 de mayo de

2019. El pico máximo fue el 20 de marzo de 2019 con 4 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 18 días y el periodo post-pico duro 61 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Quercus* sp. es de 0.2, esto indica que la liberación de polen es estable, sin embargo, como se observa en la Figura 34 la mayor cantidad de polen se presenta a las 2, 10, 12, 14 y 16 horas, siendo estas dos últimas horas las que tienen el 46% del polen total. En las horas de la tarde-noche hay una baja de la cantidad de polen y comienza a aumentar a media noche, después de las 2 h la cantidad de polen vuelve a descender y a las 6 h comienza el aumento (Fig. 38).

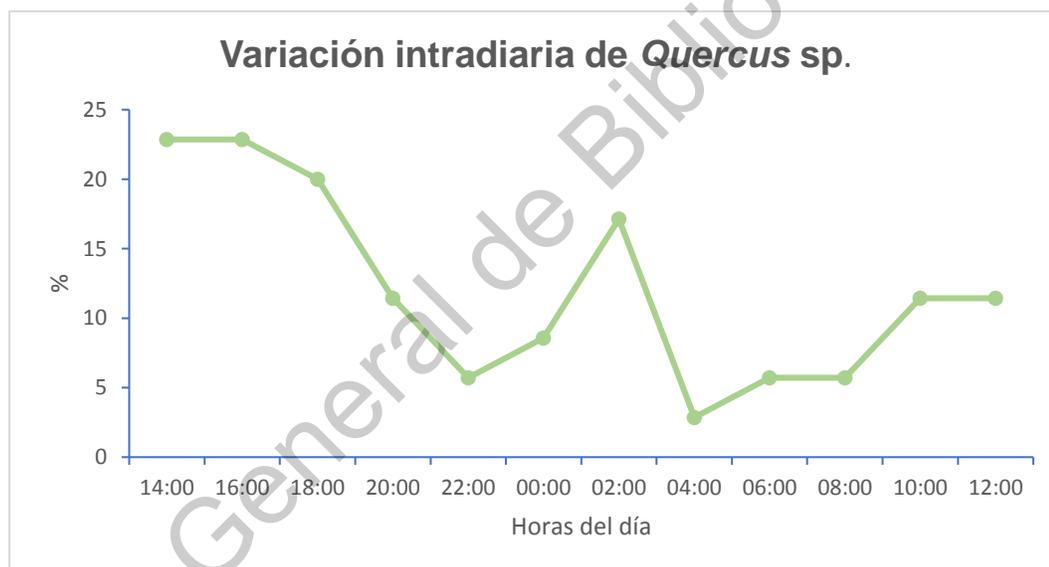


Figura 38. Distribución intradiaria de *Quercus* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 12, durante el PPP de *Quercus* solo presenta correlación negativa ($p < 0.01$) con la temperatura y una correlación positiva ($p < 0.05$) con la humedad relativa, en el periodo pre-pico no existe ninguna correlación con variables climáticas y en el periodo post-pico solo se correlaciona negativamente ($p < 0.01$) con la temperatura.

Cuadro 12. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Quercus* sp. con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (77)	Pre-Pico N (18)	Post-Pico N (60)
Temperatura (°C)	-0.486**	-0.311	-0.489**
Precipitación (mm)	0.17	0.183	0.087
Velocidad del viento (m/s)	0.123	0.403	0.209
Humedad relativa (%)	0.287*	0.289	0.144

Discusión

Quercus es el género más grande de la familia Fagaceae, en el estado de Querétaro se tiene registro de al menos 49 especies de encinos (Ramos y Bárcenas, 2008). La época de floración de las especies de *Quercus* que se encuentran en la ciudad de Querétaro ocurre en primavera (Malda *et al.*, 2016) y su polinización es entomófila (Trigo *et al.*, 2008). En San Nicolás, N.L. se reporta este tipo polínico muy representativo en la atmósfera con 502.2 gp/m³ y una mayor concentración en los meses de febrero-abril (Rocha *et al.*, 2008), en Hermosillo observan 626 gp/m³ (Ortega *et al.*, 2019), en el norte de la ciudad de México su estacionalidad es de febrero a junio con 785 gp (Olivé, 2012) y en el sur presenta una estacionalidad de febrero-abril con más de 1,000 gp observados en cada año del estudio (Rojas, 2012). La estacionalidad que se obtiene en el estudio es análoga a la época de floración. A pesar de que en este estudio *Quercus* es representativo en la atmósfera, la cantidad de granos de polen es inferior (78 gp/m³) a lo que se observa en los diferentes estudios, esto es porque *Quercus* no es un elemento representativo de los tipos de vegetación de la zona de muestreo.

Respecto a la variación intradiaria se observan dos picos de liberación de polen, uno corresponde a las 14 h y el otro a las 2 h, el estudio de Käpylä (1984) indica que el polen de *Quercus* presenta un horario diurno máximo y nocturno mínimo, y se observa el mismo comportamiento de liberación de polen en los trabajos en el

norte y sur de la ciudad de México (Olivé, 2012; Rojas, 2012). De acuerdo con las variables climáticas, en este estudio la temperatura presenta una correlación negativa con la presencia de este polen en la atmósfera, sin embargo, otros trabajos (Käpylä, 1984; García *et al.*, 2002; Olivé, 2012; Rojas, 2012) indican que, a temperaturas altas, la concentración polínica de *Quercus* aumenta, pero en este estudio pasa lo contrario. Hay que resaltar que estos árboles crecen en clima templado-frío y los estudios antes mencionados presentan climas templados, sin embargo, en Querétaro el clima es semiseco-templado y semiseco-cálido, por lo que el aumento de temperatura en esta zona es diferente a un lugar con clima templado.

En este estudio el polen de *Quercus* representa el 2.9% del IPA, las cantidades que se observaron no superan a los demás estudios y se reporta con una alergenicidad moderada (D'Amato, 2007; Trigo *et al.*, 2008; Calderón *et al.*, 2018). Por lo cual se debe tener en cuenta como posible causante de polinosis en el municipio de Querétaro.

6.2.11 *Casuarina* sp.

Morfología polínica

Grano de polen isopolar, radiosimétrico y trizonoporado. En vista polar de forma triangular, con las aberturas dispuestas en los ángulos, lados convexos, en vista ecuatorial elíptico (Fig.39). Tamaño mediano, entre 25 y 30 μm de diámetro. El diámetro de los poros es de 3-4 μm . Grosor de exina de 1-2 μm (Valero y Cadahía, 2002).

Variación estacional

El polen de *Casuarina* sp. solo se encuentra presente con mayor concentración en el mes de julio con 74 gp, en el mes de junio solo se observan 6 gp y en diciembre hay presencia de 5 gp (Fig. 40). El polen total de *Casuarina* sp. fue de 93 gp del total anual (4,926 gp), esto corresponde al 1.88% del IPA.

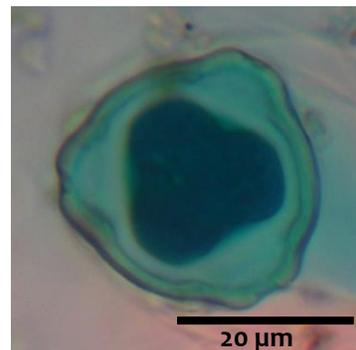


Figura 39. Grano de polen de *Casuarina* sp. (40x10 aumentos).

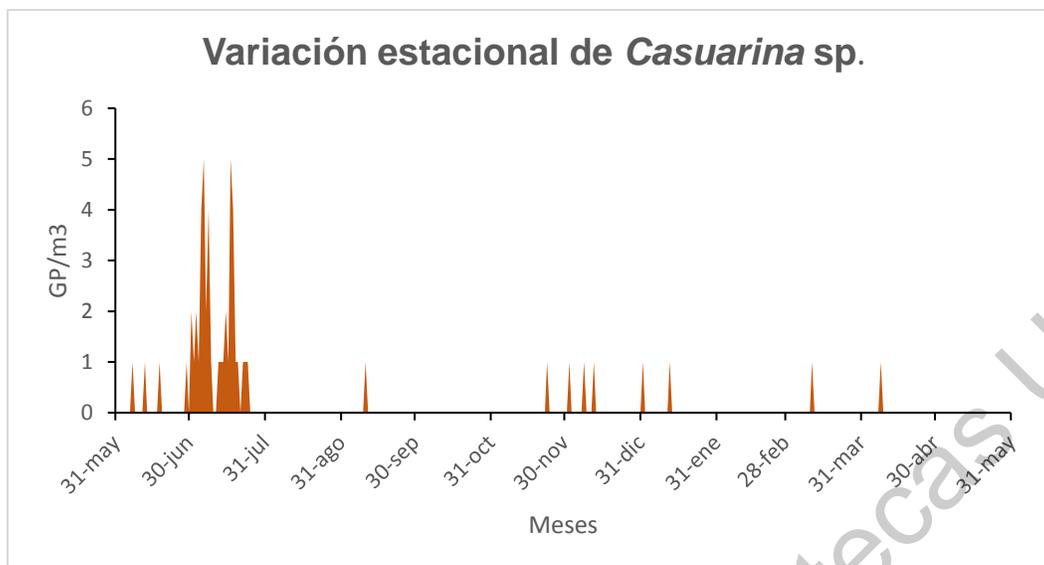


Figura 40. Concentración atmosférica diaria de polen de *Casuarina* sp. del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

Para obtener el PPP de *Casuarina*, se utilizaron los datos de junio y julio, esto es debido a que sí se toman todos los datos el PPP indica que el polen se encuentra en la atmósfera en días donde este es ausente. El PPP de *Casuarina* sp. comprendió 42 días, del 12 de junio (4.34%) al 23 de julio de 2018 (97.82%). Se observan dos picos máximos el 6 y 17 de julio con 5 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico del 6 de julio duro 25 días y el periodo post-pico duro 18 días; del 17 de julio su periodo pre-pico duro 36 días y el periodo post-pico duro 7 días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Casuarina* sp. es de 0.17, esto indica que la liberación de polen es moderada, como se observa en la Figura 41 la liberación del polen comienza a las 6 h y alcanza su pico máximo con el 21% del total del polen a las 10 h, después comienza a descender y en las horas de la tarde-noche a la madrugada la cantidad de polen se mantiene constante y a las 4 h no hay presencia de este tipo polínico en la atmósfera.

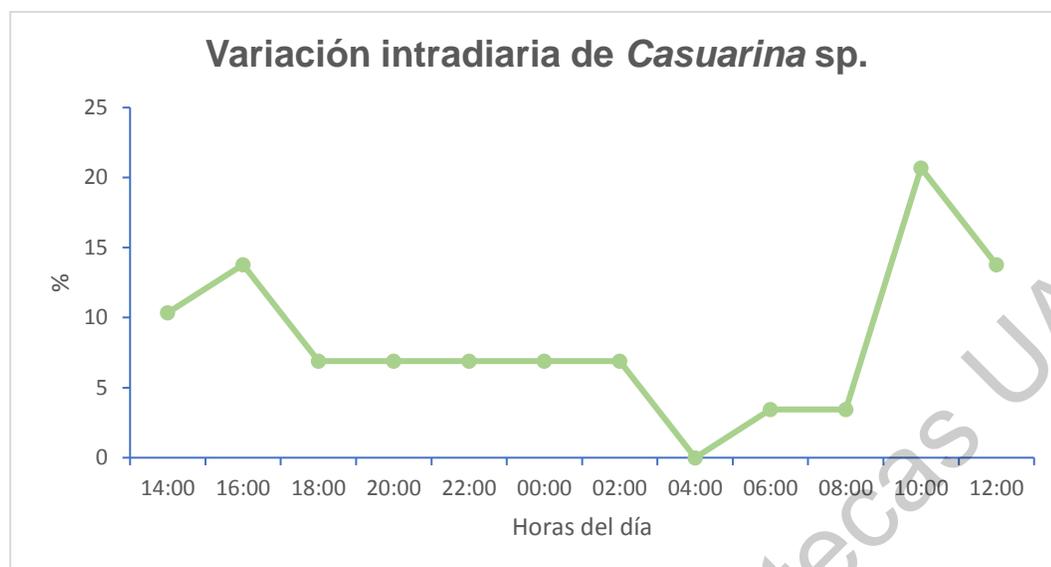


Figura 41. Distribución intradiaria de *Casuarina* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

En el cuadro 13 se observa que durante el PPP de *Casuarina* presenta correlación negativa ($p < 0.01$) con la precipitación y la humedad relativa, esta misma correlación se observa en los dos periodos de pre-pico, sin embargo, en el primer pico del 16 de julio se correlaciona positivamente ($p < 0.05$) con la velocidad del viento. En el periodo post-pico en ambos picos se correlaciona positivamente ($p < 0.05$) con la humedad relativa y en el periodo post-pico del 17 de julio tiene correlación negativa con la temperatura y la velocidad del viento.

Cuadro 13. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Casuarina* sp. con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (41)	Pre-Pico (16 julio) N (25)	Post-Pico N (17)	Pre-Pico (17 julio) N (36)	Post-Pico N (6)
Temperatura (°C)	0.134	0.01	-0.33	0.128	-0.941**
Precipitación (mm)	-0.538**	-0.424*	-	-0.540**	-0.03
Velocidad del viento (m/s)	0.186	0.499*	0.033	0.273	-0.820*
Humedad relativa (%)	-0.408**	-0.544**	0.486*	-0.526**	0.880*

Discusión

Casuriana pertenece a la familia Casuarinaceae y no es endémico de México. Su época de floración ocurre en otoño, especialmente en los meses de octubre y noviembre (Trigo *et al.*, 2008) y en regiones con estaciones secas y lluviosas más pronunciadas, la producción de flores y frutos es más regular y ocurre una o dos veces en el año. *Casuarina* tiene un crecimiento favorable cuando hay humedad relativa alta, precipitaciones abundantes y clima cálido (Parrotta, 1993), por tal motivo se encuentra mayor concentración en los meses de junio-julio en este estudio. En el estudio de Toluca este tipo polínico es abundante y representa el 2.1% del total anual con una mayor concentración en verano, con presencia durante todo el año (Cid del Prado *et al.*, 2015), en San Nicolas, N.L. solo se observan 63 GP (Rocha *et al.*, 2008), en el norte y sur de la Ciudad en los trabajos de Rojas (2012) y Olivé (2012) observaron más de 1,000 GP y obtienen la misma estacionalidad de este estudio (junio- julio). Igual que en Monterrey, en la atmósfera del norte de Querétaro la cantidad es inferior a los reportes de la Ciudad de México, esto es porque *Casuarina* no es un árbol representativo de la vegetación que se encuentra en la zona norte y posiblemente los que se encuentran son ornamentales. Durante el PPP, pre-pico y post-pico las variables de humedad relativa y precipitación no favorecen la presencia del polen de *Casuarina*, las mismas variables afectan a la concentración polínica de este tipo en el sur de la Ciudad de México (Rojas, 2012).

El tipo de polinización de este árbol es anemófila, y a pesar de que las cantidades no son superiores a mil granos, estudios previos han demostrado la alergenicidad del polen y este se relaciona con enfermedades de asma bronquial y rinitis alérgica (Bucholtz *et al.*, 1987; Velasco y Velázquez, 2014), por tal motivo se debe considerar como un posible alérgeno que este causando polinosis en verano a pacientes sensibles en Querétaro.

6.2.12 *Populus sp.*

Morfología polínica

Grano de polen inaperturado, apolar y radiosimétrico. Esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano, de 22 a 31 μm de diámetro. Grosor de exina de 1.5 a 3 μm . Superficie aparentemente reticulada (Trigo *et al.*, 2008).

Variación estacional

El mes que tiene una mayor concentración de granos de polen se encuentra en febrero con 45 gp, seguido del mes de enero con nueve gp, diciembre con ocho gp y junio con siete gp (Fig. 40). En los meses de septiembre, abril y mayo no se observan más de dos granos de polen. El polen total observado de *Populus sp.* fue de 74 gp del total anual (4,926 gp), lo cual corresponde al 1.5% del IPA.

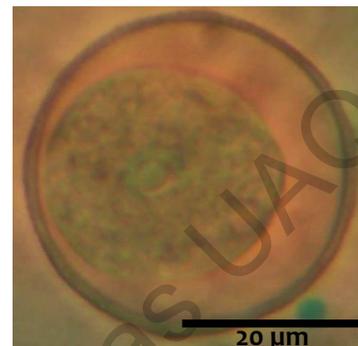


Figura 42. Grano de polen de *Populus sp.* (40 x 10 aumentos)

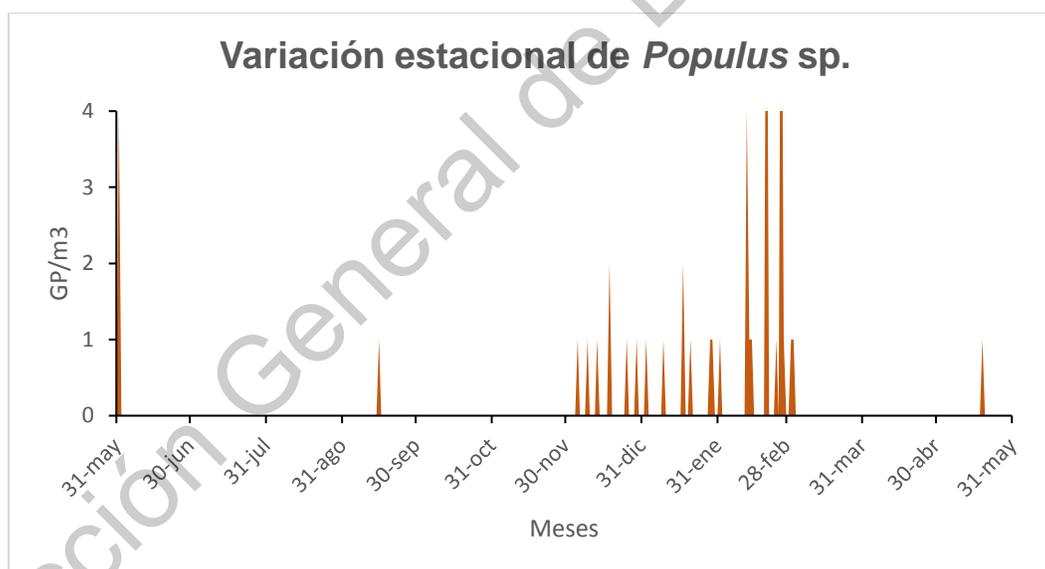


Figura 43. Concentración atmosférica diaria de polen de *Populus sp.* del 31-mayo-2018 al 31-mayo-2019.

Periodo principal de polinación

El PPP de *Populus sp.* comprende 84 días, del 9 de diciembre de 2018 (4.76%) al 3 de marzo de 2019. Para obtener este valor se tomó en cuenta los datos de diciembre, enero, febrero y marzo, esto es porque si se toman todos los meses el PPP sería prolongado y abarca meses donde el polen no se encuentra en la

atmósfera. Se observan dos picos máximos el 20 y 26 de febrero con 8 GP/m³ de aire. El periodo pre-pico duro 74 días, del primer al segundo pico hay una diferencia de cinco días, el periodo post-pico duro seis días.

Variación intradiaria

El índice de distribución intradiaria (ID) en *Populus* sp. es de 0.12, lo cual indica que la liberación de polen es moderada, como se observa en la figura 41 el polen está presente en todo el día, presentando picos máximos a las 2 h, 10 h, 16 h y 22 h, siendo esta ultima hora la que tiene el 16% del polen total.

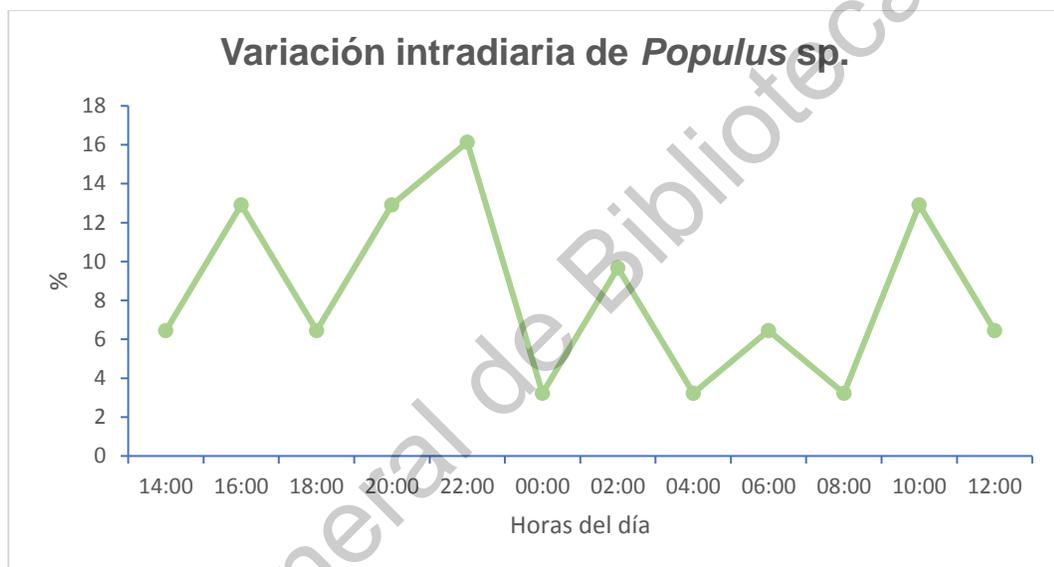


Figura 44. Distribución intradiaria de *Populus* sp. durante el año de muestreo.

Variables climáticas

Como se observa en la Cuadro 14, durante el PPP de *Populus* solo tiene correlación positiva ($p < 0.05$) con la precipitación y las demás variables climáticas no presentan correlación alguna. Solo en el periodo pre-pico del 26 de febrero existe una correlación positiva ($p < 0.05$) con la precipitación.

Cuadro 14. Correlación entre la concentración de granos de polen de *Populus* sp. con las variables climáticas. (*) La correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$. (**) La correlación es significativa en el nivel < 0.01 .

Factor meteorológico	PPP N (84)	Pre-Pico (20 febrero) N (74)	Post-Pico N (11)	Pre-Pico (26 febrero) N (80)	Post-Pico N (5)
Temperatura (°C)	0.08	0.008	0.111	0.043	-0.527
Precipitación (mm)	0.250*	-	0.497	0.261*	0.745
Velocidad del viento (m/s)	0.074	0.081	-0.05	0.077	-0.527
Humedad relativa (%)	-0.011	0.039	0.04	0.021	0.738

Discusión

Populus pertenece a la familia Salicaceae, en México se cultivan algunas especies y pueden ser nativas (*P. deltoides*) o introducidas (*P. alba*) con fines ornamentales o como árboles de sombra, es muy común encontrarlas en calles y avenidas de centros urbanos (Carranza, 1995). En la ciudad de Querétaro se tienen ejemplares en las jardineras y parques de *P. alba* y *P. canadensis*, estos presentan su época de floración en invierno y primavera (Malda *et al.*, 2016) y en este estudio la estacionalidad del polen se observa en invierno, con una mayor concentración en el mes de febrero. En la atmósfera de Monterrey no es un tipo polínico representativo y durante todo el año observan 85 GP (Rocha *et al.*, 2009) y en el norte y sur de la CdMx el índice polínico anual de *Populus* es menor al 1% (Olivé, 2012; Rojas, 2012). En España se tienen registros en los calendarios polínicos, sin embargo, las concentraciones son bajas (Trigo *et al.*, 2008). A pesar de que la cantidad de granos de polen que se observan en el norte de Querétaro es muy baja (74 GP), este tipo polínico es importante debido a que se tienen estudios que indican que este polen causa alergias y es considerado con alergenicidad moderada (IMS Health Incorporated, s.f.; Trigo *et al.*, 2008).

6.3 Tipos polínicos de menor incidencia

Los doce tipos polínicos antes mencionados no fueron los únicos que se observaron en la atmósfera del norte de Querétaro. Durante todo el año de muestreo hubo tipos polínicos que presentaron concentraciones bajas y no llegaron a un IPA >1% y en algunos casos solo se observó un grano de polen durante todo el año. De estos, solo 19 tipos polínicos se lograron determinar (Fig. 42 y 43) y 25 no se ubicaron dentro de un nivel taxonómico de las plantas (en la figura 43 solo se ponen dos ejemplos de granos de polen no identificado), esto es debido a que la técnica de muestreo captura granos de polen con su contenido celular y hace difícil observar ornamentación y/o aperturas que hagan fácil su identificación en comparación con granos de polen acetolizados, además de que en vista ecuatorial o polar la forma de los granos de polen llega a cambiar.

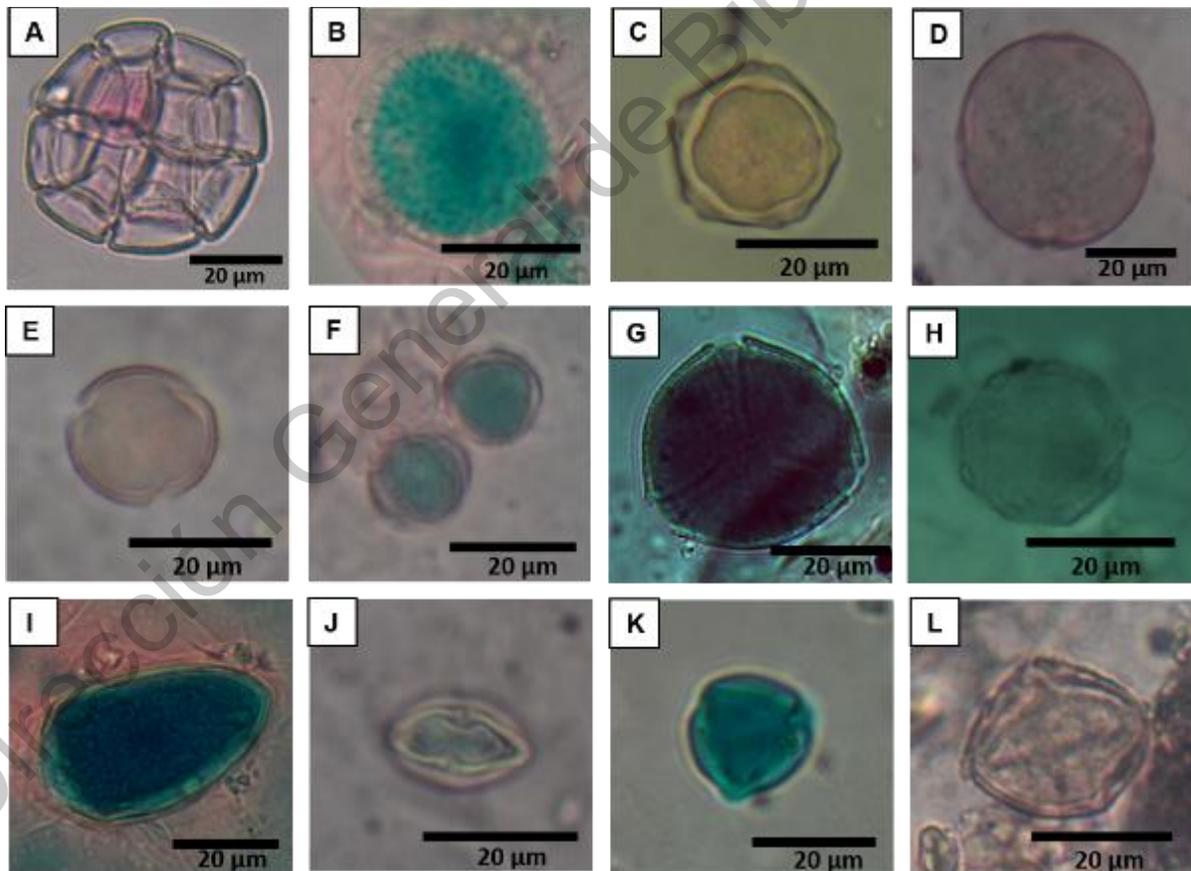


Figura 45. Granos de polen de menor incidencia. A) *Acacia* sp., B) Aizoaceae, C) *Alnus* sp., D) Apocynaceae, E y F) Brassicaceae, G) Cactaceae, H) Caryophyllaceae, I) Cyperaceae, J) Euphorbiaceae, K y L) Fabaceae.

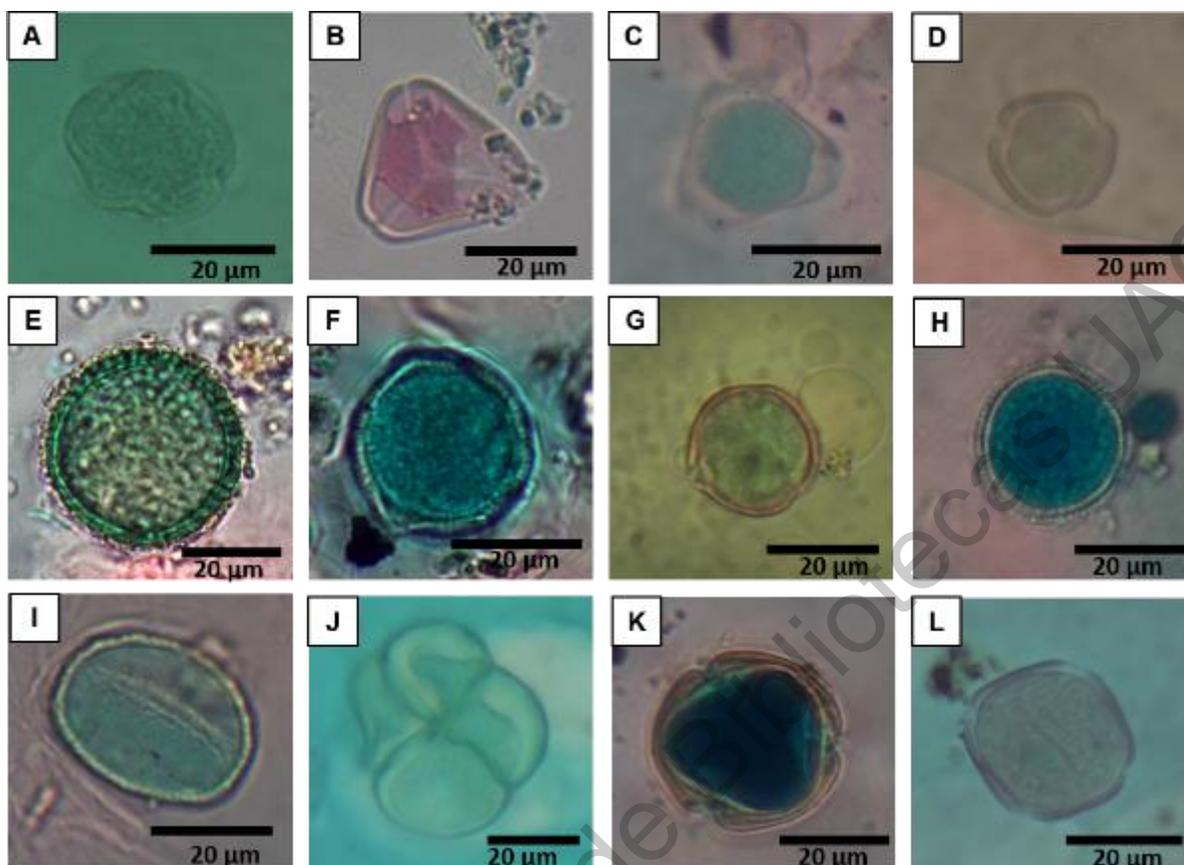


Figura 46. Granos de polen con menor incidencia. A) *Fraxinus* sp., B) Loranthaceae, C y D) Myrtaceae, E) Nyctaginaceae, F) Rosaceae, G) *Schinus molle*, H) Solanaceae, I) Tipo monocotiledónea, J) Typhaceae, K y L) Granos no identificados.

6.4 Esporas en la atmósfera

La trampa de esporas tipo Hirst, aparte de coleccionar granos de polen también es útil para esporas de hongos y otras partículas aerovagantes con un tamaño menor a 10 µm. Por este motivo es que encontramos material fúngico en cualquier ambiente al aire libre y sin heladas (Bush y Madison, 1989).

Durante el año de muestreo se observaron diferentes tipos de esporas de hongos y de helechos, en la figura 44 se observan algunos de estos tipos, de los cuales solo se identificó uno dentro del grupo Ascomycota, dos géneros y una especie de espora de hongos. La mayoría de las esporas se encontraron presentes en una mayor concentración en los meses de junio a septiembre.

Los hongos en su fase asexual son los más abundantes en el aire. Los factores climáticos también influyen en las concentraciones de esporas de hongos, cuando la temperatura es baja las concentraciones disminuyen, una humedad relativa por debajo del 30% inhibe el crecimiento del hongo, por lo cual debe tener un rango de 30 a 70% para su crecimiento.

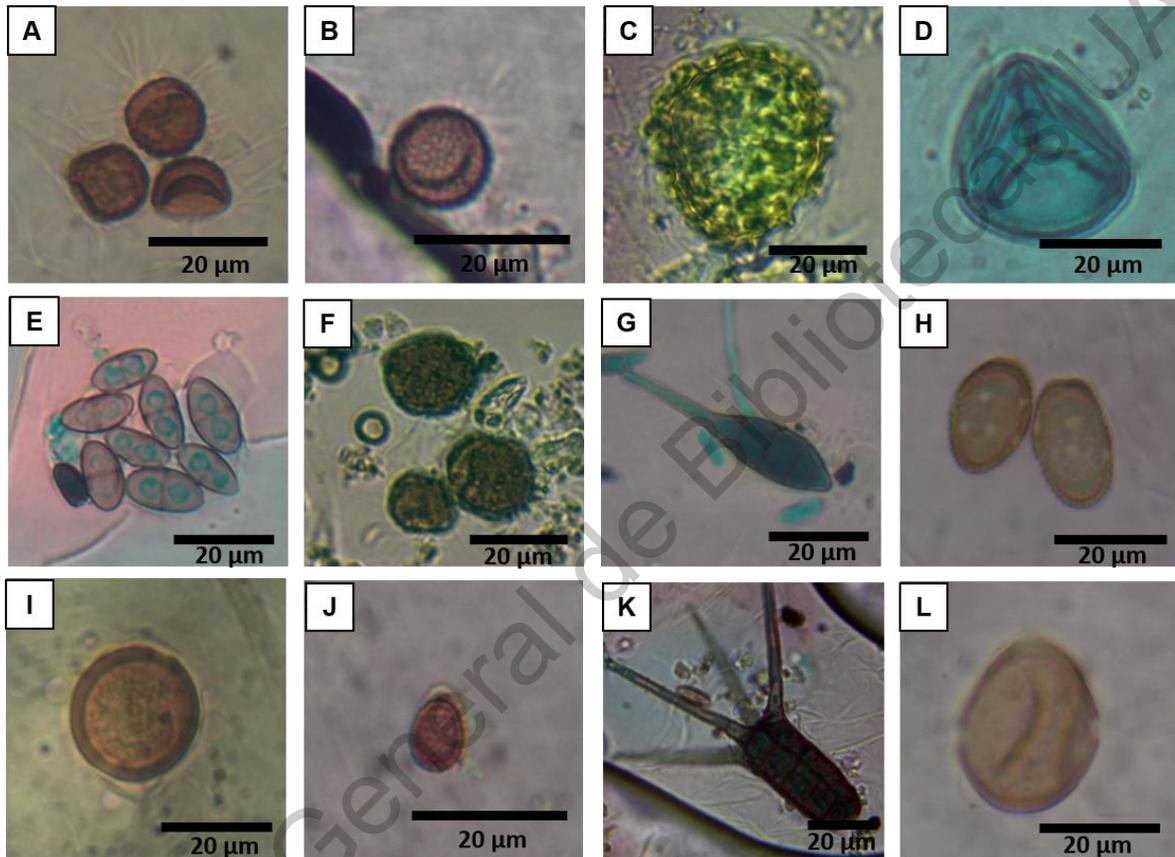


Figura 47. Esporas de hongos y briofitas. A) Espora 1, B) Espora 2, C) Espora 3, D) Espora de helecho, E) Espora 4, F) *Epíococcum* sp., G) Ascomycota, H) *Puccinia graminis*, I) Espora 5, J) *Ganoderma* sp., K) Espora 6, L) Espora 7.

7. DISCUSIÓN GENERAL

7.1 Variación estacional

Los estudios que se hicieron en Ciudad de México, Toluca, Monterrey y Sonora presentan concentraciones polínicas superiores, más de 10,000 GP/m³ de aire durante un año de muestreo, en comparación con la concentración encontrada en el norte de la Ciudad de Querétaro (2,681 GP/m³). Esto puede deberse al tipo de vegetación y clima que presenta la ciudad, tiene dos estaciones muy marcadas que son las lluvias y sequía. Durante el periodo de sequía la vegetación de bosque tropical caducifolio permanece sin hojas y no hay floración durante 6 a 7 meses. El mismo comportamiento presenta la vegetación de matorral xerófito y pastizal, durante los meses de lluvia se observa la vegetación verde y frondosa y en el periodo de secas la vegetación se seca (Zamudio *et al.*, 1992). Otro factor importante es el crecimiento urbano que se presenta en la zona norte de la ciudad (Huacuz y Vázquez, 2018), debido a la gran cantidad de construcciones que se han hecho, los edificios crean un efecto barrera, lo que hace que el polen caiga al suelo. De igual manera el calor producido por el asfalto crea corrientes de aire ascendente que arrastra a los granos de polen a zonas más elevadas de la atmósfera (Valero y Cadahía, 2002).

De acuerdo con la concentración total mensual (Fig. 8), la mayor cantidad de granos de polen se observa en julio, previamente en el mes de junio hay precipitación (273.42 mm), esto tiene relación con Zamudio *et al.* (1992) donde menciona que después de la época de lluvias la vegetación se observa verde y frondosa, lo que conlleva a que algunas plantas desarrollen sus flores. De los tipos polínicos más representativos, su estacionalidad es análoga a la época de floración, de igual manera con la polinización anemófila.

7.2 Variación intradiaria

De acuerdo con Valero y Cadahía (2002) las mayores concentraciones de polen se detectan en las horas de la mañana, ya que las plantas emiten el polen entre las 7-10 horas y al atardecer, por el enfriamiento del aire, los granos de polen tienden a descender de las capas de la atmósfera hacia la superficie del suelo, de los 12 tipos polínicos más importantes solo Poaceae, *Celtis* sp., *Mimosa* sp, Amaranthaceae, *Ricinus communis* y *Casuarina* sp. presentan este comportamiento. Asteraceae, *Pinus* sp., Cupressaceae tienen otro comportamiento y se observa la mayor concentración en las horas de la tarde (14-18 h). *Quercus* sp. y *Populus* sp. presentan una variación con dos o más picos de liberación de polen y se observan granos de polen por la tarde (14 h) y en la madrugada (2 h), de acuerdo con Käpylä (1984) estos dos tipos polínicos tienen un horario diurno máximo y nocturno mínimo. *Morus* presentó la liberación del polen a las 20 h alcanzando un pico máximo a media noche. Estos tres últimos tipos polínicos presentan una variación intradiurna y nocturna, lo que indica que hay una gran distancia entre la fuente de generación de polen y el muestreador, por lo que estos granos de polen se presentan en la noche (Trigo *et al.*, 1997). La aparición de picos en la variación intradiaria depende directamente de los tiempos de dehiscencia de las anteras, que a su vez depende de las variables climáticas como la temperatura y humedad relativa (Trigo *et al.*, 1997), pero también las fuertes convecciones térmicas y turbulencia del aire, hacen que los granos de polen suban a la atmósfera y caigan durante la tarde y la noche (Käpylä, 1984).

Respecto al IDI, se observan solo dos comportamientos de las gráficas: aquellos con un IDI de 0.1 y 0.2 con un pico máximo no muy pronunciado que indica liberación gradual (Poaceae, Asteraceae, *Pinus* sp., *Ricinus communis*, *Morus* sp., Cupressaceae, *Casuarina* sp. y *Populus* sp.) y aquellos con un IDI > 2 con un pico máximo muy pronunciado que indica liberación en un periodo de tiempo determinado (*Celtis* sp., *Mimosa* sp. Amaranthaceae, y *Quercus* sp.), ninguno presentó un pico inestable (IDI <1). De acuerdo con Trigo *et al.* (1997), aquellos

tipos polínicos que se encuentran cerca del sitio de muestreo muestran picos más pronunciados que aquellos que se encuentran lejanos al muestreador, el IDI bajo puede indicar que el tipo polínico ha sido transportado a largas distancias.

7.3 Relación con las variables meteorológicas

Los parámetros meteorológicos actúan en dos niveles: 1) durante las etapas previas a la floración y 2) durante la temporada de polen (Aboulaich *et al.*, 2013). De acuerdo con Trigo *et al.* (1997) las concentraciones de granos de polen en la atmósfera pueden estar influenciadas por parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad relativa, lluvia y velocidad del viento. Para que ocurra la dehiscencia de las anteras en las flores debe haber un aumento de temperatura y una disminución en la humedad relativa. Los fuertes vientos provocan que los granos de polen salgan de la atmósfera, pero también ayuda a que los granos de polen se transporten y lleguen al captador. La lluvia y la humedad relativa hidratan e hinchan a los granos de polen, logrando que se precipiten al suelo (Käpylä, 1984; Guido y Almeida, 2005; Vázquez *et al.*, 2003; Aboulaich *et al.*, 2013)

El mes de julio presenta una lluvia acumulada de 11.3 mm y la temperatura promedio es de 19.9°C, con una humedad relativa del 60%, algunos autores señalan que bajo un ambiente de sequía las paredes de las anteras se deshidratan, promoviendo la ruptura y liberación del polen (Käpylä, 1984; Aboulaich *et al.*, 2013), esto explica porque en este mes la cantidad de granos de polen es mayor en comparación con los meses restantes. Cabe resaltar que previamente el mes de junio es el que presenta la mayor cantidad de precipitación acumulada (273.4 mm) y de acuerdo con Zamudio *et al.* (1992) y Pennington y Sarukhán (2005), la vegetación de selva baja caducifolia, pastizal y matorral xerófito son beneficiados después de la época de lluvias porque en plantas herbáceas la lluvia ayuda en el crecimiento y formación de flores. Los meses de junio y agosto también presentan concentraciones altas de granos de polen, pero son los meses donde la cantidad de precipitación es mayor,

probablemente las variables de temperatura y humedad relativa en esos meses benefician la dehiscencia de las anteras, pero la precipitación hace un lavado en la atmósfera logrando que los granos de polen se precipiten.

En el mes de septiembre a pesar de que la precipitación disminuye (118.6 mm) y la temperatura es adecuada (19°C), es el mes con mayor porcentaje de humedad relativa (71%), lo que posiblemente hace que los granos de polen absorban la humedad y se vuelvan más pesados, por lo que en este mes se observa una baja en la cantidad de granos de polen (Fig. 8). Los meses que tuvieron una temperatura menor al promedio anual del muestreo (23.25°C) fueron: diciembre (14.9°), noviembre (15.8°C) y enero (16°C) y son los meses que tienen una menor concentración polínica. De acuerdo con Guidos y Almeida (2005) las temperaturas inferiores a 10°C suelen inhibir la emisión de granos de polen en las plantas, pero también en estos meses se encuentra el periodo de sequía porque en noviembre la precipitación es mínima (39.9 mm) y diciembre y enero no hay precipitación y los pocos granos de polen que se observan son aquellos que tienen su época de floración invernal. Los meses posteriores de febrero a mayo a pesar de que presentan condiciones favorables para la dehiscencia de las anteras, temperatura arriba de 19°C y una humedad relativa menor al 50%, la cantidad polínica no supera al mes de julio, esto es porque durante esos meses la vegetación de Querétaro presenta un periodo de sequía y la mayoría de las plantas no tienen flores (Zamudio *et al.*, 1992; Martínez *et al.*, 2016). Sin embargo, los únicos granos de polen que se observan en esos meses son de estacionalidad invernal (*Pinus* sp., Cupressaceae y *Populus* sp.) o tienen un amplio espectro de floración (Asteraceae y *Ricinus communis*).

8. CONCLUSIONES

La mayor cantidad y diversidad de granos de polen se observan en los meses de julio, junio y agosto, estos meses corresponden al inicio de la temporada de lluvias, época de calor y floración de plantas. La menor concentración y diversidad de granos de polen se encuentra en los meses de noviembre a febrero, estos meses abarcan el periodo de sequía de Querétaro y donde la temperatura desciende (invierno).

Las familias Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae y los géneros de *Celtis* y *Mimosa* se encuentran representados en los tipos de vegetación que existe en la zona norte de la Ciudad de Santiago de Querétaro. Sin embargo, los árboles de *Quercus* sp., *Populus* sp., *Casuarina* sp., *Pinus* sp., *Morus* sp. y Cupressaceae son plantas que no pertenecen a la vegetación, algunos son cultivados y son ornamentales. *Ricinus communis* es un arbusto exótico y no nativo de México.

Este tipo de estudio tiene importancia en la medicina, debido a que los granos de polen son considerados alérgenos que pueden desencadenar reacciones alérgicas. Conocer la temporada, cuáles y cuántos granos de polen hay en el aire, ayudaría a prevenir polinosis en la Ciudad. De los tipos polínicos más representativos, Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, *Celtis* sp., *Ricinus communis*, *Morus* sp., Cupressaceae, *Quercus* sp., *Casuarina* sp. y *Populus* sp. son potencialmente alérgicos. El polen de *Pinus* sp. no es alérgico y *Mimosa* sp. no presenta estudios que comprueben alergenidad.

La zona norte de Querétaro se encuentra en constante crecimiento urbano, esto implica que hay más movilización de autos y extracción de vegetación para construcciones. Los estudios aeropalínológicos son muy importantes porque ayudan a medir la calidad de aire en las ciudades y también ayudan a conocer la evolución, riqueza y concentración de la vegetación de un lugar.

Este estudio es el primero para la Ciudad de Querétaro y la zona del Bajío y debido a su importancia en la salud es necesario seguir con un monitoreo continuo para confeccionar un calendario polínico que permita conocer los periodos del año de mayor riesgo alérgico para aquellos pacientes que sufren de polinosis. A partir de

este calendario polínico se puede predecir y/o determinar el periodo de polinización de las plantas, además de tener un control de las especies que no deben ser plantadas en parques o jardines.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

9. REFERENCIAS

- Aboulaich N., L. Achmakh, H. Bouziane, M.M.Trigo, M. Recio, M. Kadiri, B. Cabezudo, H. Riadi y M. Kazzaz. 2013. Effect of meteorological parameters on Poaceae pollen in the atmosphere of Tetouan (NW Morocco). *International Journal of Biometeorology*, 57: 197-205.
- Akdis Cezmi A. y I. Agache. (Edits). 2014. *Global Atlas of Allergy*. European of Allergy and Clinical Immunology. Editorial Board.
- Andersen T.B. 1991. A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana* 30: 269–275.
- Andrade M. G., G. Calderón de Rzedowski, S.L. Camargo-Ricalde, M.H. Hernández, A. Martínez-Bernal, L. Rico, J. Rzedowski y M.S. Sousa. 2007. Familia Leguminosae, Subfamilia Mimosoideae. En: Rzedowski J. y G. Calderón de Rzedowski (eds.) *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. Fascículo 150. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 230 pp.
- Andrade O.A. s.f. Morfología de polen y esporas. Vi: 15/11/2019. Obtenido de: http://www3.uah.es/antonia_andrade/morfopolinol.htm
- Anónimo. 2008. *Perspectivas del medio ambiente urbano: Geo zona metropolitana Querétaro*. PNUMA, Gobierno del Estado, CONCYTEQ. México. 153 pp.
- Baltasar Drago M.A. 2005. Polinosis infrecuentes En: Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García. *Polinosis II: Polen y Alergia*. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 163-181 pp.
- Baltazar J., M. Martínez y L. Hernández. 2004. *Guía de plantas comunes del parque nacional El Cimatario y sus alrededores*. UAQ. 85 pp.
- Belmonte Soler J. y J.M. Roure Nolla. 2002. Introducción. En Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García (Eds). *Polinosis: Polen y alergia*. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 7-16 pp.
- Belmonte Soler J.y J.M. Roure Nolla. 2005. La polinosis a través del tiempo. En Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García (Eds). *Polinosis II: Polen y alergia*. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 25-31 pp.
- Bermejo Ramos D. 2011. Evolución y situación actual de los estudios del polen atmosférico, referencia a la polinización en Zaragoza. Edit. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza. Zaragoza, España.
- Bucholtz G.A., A.E. Hensel, R.F. Lockey, D. Serbousek y R.P. Wunderlin. 1987. Australian pine (*Casuarina equisetifolia*) pollen as an aeroallergen. *Annals Allergy* 59:52-56.
- Burkard Scientific. S.f. 7 day & hour Hirst Spore Sampler: Operating Instructions. Agronomics Division.

- Bush Robert K. y M.D. Madison Wis. 1989. Allergens/ antigens. Chapter 27: Aerobiology of pollen and fungal allergens. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 84 (6).
- Calderón-Ezquerro M.C., C. Guerrero-Guerra, B. Martínez-López, F. Fuentes-Rojas, F. Téllez-Unzueta, E.D. López-Espinosa, M.E. Calderón-Segura, A. Martínez-Arroyo y M.M. Trigo-Pérez. 2016. First airborne pollen calendar for Mexico City and its relationship with bi-climatic factors. Aerobiología, 32: 225-244.
- Calderón-Ezquerro M.C., C. Guerrero-Guerra, C. Galán, N. Serrano-Silva, G. Guidos-Fogelbach, M.C. Jiménez-Martínez, D. Larenas-Linnemann, E.D. López-Espinosa y J. Ayala-Balboa. 2018. Pollen in the atmosphere of México City and its impact on the health of the pediatric population. Atmospheric Environment, 186: 198-208.
- Cariñanos P., C. Galán, P. Alcázar y E. Domínguez. 2004. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula. Environmental and Experimental Botany, 52 (1): 11-22.
- Carranza G. E. 1995. Salicaceae. En: Rzedowski, J y G. Calderón de Rzedowski (eds.) Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo 37. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 21 pp.
- Cid-del Prado M., B. Piedras-Gutiérrez, A. Visoso-Salgado y M. Becerril-Ángeles. 2015. Estudio aerobiológico de pólenes anemófilos en la ciudad de Toluca, México. Revista Alergia México, 62: 8-14.
- Cervigón Morales P., M. Gutiérrez-Bustillo y R. Pérez-Badía. 2016. Aerobiología y salud. Revista Salud ambiental, 16 (1): 1-5.
- D'Amato G., L. Cecchi, S. Bonini, C. Nunes, I. Annesi-Maesano, H. Behrendt, G. Liccardi, T. Popov y P. van Cauwenberge. 2007. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. Allergy, 62: 976-990.
- Del Mar San Miguel Moncín M. 2002. Ricino: *Ricinus communis*. En Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García (Eds). Polinosis: Polen y alergia. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 91-95 pp.
- Edmonds R.L. y W.S. Benninhoff. Aerobiology and its modern applications. En: US/IPB Aerobiology Report nº 3. Ann Arbor, Michigan: Botany Department, University of Michigan. 1973. pp. 1-18.
- Fuentes Rojas F. 2012. Estudio aeropalínológico del sur de la Ciudad de México. (Tesis de maestría). Universidad Simón Bolívar, México, D.F.
- Galán Soldevilla C., P. Cariñanos González, P. Alcázar Teno y E. Domínguez Vilches. 2007. Manual de gestión y calidad de la Red Española de Aerobiología. Servicio de publicaciones. Universidad de Córdoba. 39 pp.
- García González J.J., B. Bartolomé-Zavala, M. del Mar Trigo-Pérez, J.M. Barceló-Muñoz, S. Fernández-Meléndez, M.A. Negro-Carrasco, M.J. Carmona-

- Bueno, J.M. Vega-Chico, C. Muñoz-Román, R. Palacios-Peláez, B. Cabezudo-Artero y J. Martínez-Quesada. 1999. Pollinosis to *Ricinus communis* (castor vean): an aerobiological, clinical and immunochemical study. *Clinical and Experimental Allergy*, 29: 1265-1275.
- García-Mozo H., C. Galán, M.J. Aira, J. Belmonte, C. Diaz de la Guardia, D. Fernández, A.M. Gutiérrez, F.J. Rodríguez, M.M. Trigo y E. Domínguez-Vilches. 2002. Modelling start of oak pollen season in different climatic zones in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110: 247-257.
- García-Mozo H., R. Perez-Badía y C. Galán. 2008. Aerobiological and meteorological factors' influence on Olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha. *Aerobiología*, 24 (1): 13-18.
- García Ortega P. y J. Belmonte Soler. 2002. Pinos: *Pinus*. En Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García (Eds). *Polinosis: Polen y alergia*. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 139-142 pp.
- Gastaminza G., M. Lombardero, G. Bernaola, I. Antepara, D. Muñoz, P.M. Gamboa, M.T. Audicana, C. Marcos y I.J. Ansotegui. 2009. Allergenicity and cross-reactivity of pine pollen. *Clinical & Experimental Allergy*, 39: 1438-1446.
- González-Lozano Ma. C., A. Cerezo-Moreno, Ma. Del Carmen González-Macías y L. Salazar Coria. 1999. Comportamiento de las partículas suspendidas y polen en la atmósfera de la región norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 43 (5): 155-164.
- González Minero F.J. y P. Candau. 1995. La aeropalinología como modelo de previsión de cultivos. Los viñedos del condado Huelva. *Polen* 7: 59-63.
- González Minero F.J. y J. Cebrino. 2016. Importancia de los recuentos polínicos en el aire, un ejemplo. *Salud Ambiental*, 16 (1):43-51.
- Gregory PH. 1973. *Microbiology of the atmosphere*. Aylesbury: Reino Unido.
- Guidos F.G. y V.M. Almeida. 2005. Polinosis y aeroalérgenos. *Alergia, Asma e Inmunología pediátricas*, 14 (2): 52-55.
- Hernández-Sandoval L., M. Martínez y Y. Pantoja. 2010. Flora y vegetación en La Cañada, una visión multidisciplinaria. En: Anónimo. *La ruta del agua, historia, cultura y naturaleza La Cañada, Querétaro*. ISBN 978-607-7740-38-4. UAQ- INAH. p 139-148. México.
- Hirst, J.M. 1991. *Aerobiology in Plant Pathology*. *Grana* 30: 25-29
- Huacuz Elías R. de J. y R. del R. Vázquez Cruz. 2018. El proceso de Metropolitización en Querétaro 1990-2010. *Contexto*, XII (16).
- IMS Health Incorporated. s.f. Cottonwood, Poplar (*Populus*). Obtenido de: <http://www.pollenlibrary.com/Genus/Populus>. Vi: 19/11/2019.
- Jato V., I. Iglesias y M.J. Aira. 2001. *Atlas de Polen Alergígeno*. Xunta de Galicia.

- Jato V., F.J. Rodríguez-Rajo, P. Alcázar, P. de Nuntiis, C. Galán y P. Mandrioli. 2006. Mayo the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiología*, 22: 13-25.
- Juárez J. C. y H. Figueroa. 1977. Técnicas biológicas selectas de laboratorio y campo. Editorial Limusa. México. p 240.
- Käpylä Markku. 1984. Diurnal variation of tree pollen in the air in finland. *Grana*, 23 (3): 167-176.
- Lacey M.E. y J.S. West (eds). 2006. Introduction to Aerobiology. The Air Spora. Springer, Boston, MA.
- Latorre F. 1999. El polen atmosférico como indicador de la vegetación y de su fenología floral. (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- López Pérez G., M.B.M. Morfín, L.J. Huerta, C.F. Mejía, L.J. López, G. Aguilar, P.J.L. Rivera, M.L. López y F. Vargas. 2009. Prevalencia de las enfermedades alérgicas. *Revista Alergia México*, 56 (3): 72-77.
- Malda Barrera G., E. Romero Valencia y A. González Hernández. 2016. Plantas y Arbustos de la Ciudad de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro, Editorial Universitaria. Santiago de Querétaro, Qro, México.
- Mardones P. P., G. Donoso, R. Rocha, A. Córdova y M. Grau. 2011. Caracterización y registro del polen atmosférico en la ciudad de Temuco. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 27: 7-15
- Martínez y Díaz de Salas M., L. Hernández Sandoval, Y. Pantoja Hernández, M. Gómez Sánchez, R. Bárcenas Luna y A. Cabrera Luna. 2017. Guía ilustrada de la flora del valle de Querétaro. Editorial Universitaria. Santiago de Querétaro, Qro., México.
- Martínez y Díaz de Salas M., L. Hernández-Sandoval, M. Gómez-Sánchez, R. Bárcenas-Luna, A. Guevara Escobar, H. Suzán Azpiri y G. Malda Barrera. 2016. Flora y vegetación del municipio de Querétaro y la zona conurbada. En R. W. Jones y V.S. Cárdenas. *Historia Natural de Querétaro*. Querétaro, México: Editorial Universitaria. 133-153 pp.
- Medical University of Vienna. (s.f.). Polleninfo. Vi: Agosto-2019. Obtenido de: <https://www.polleninfo.org/ES/es/aerobiologie/methodik/messungen.html>
- Mondragón Pichardo J. y H. Vibrans. 2009. Malezas de México, Ficha: *Ricinus communis* L. Vi: 13/11/2019. Obtenido de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinus-communis/fichas/ficha.htm>
- Moore P.D., J.A. Webb y M.E. Collinson. 1991. Pollen analysis. 2nd Edition. Blackwell Science. 216 pp.
- Nitiu D.S., A.C. Mallo y E.J. Romero. 2003. Quantitative aeropalynology in the atmosphere of Buenos Aires city, Argentina. *Aerobiología* 19: 1- 10.

- Olivé Arrijoja M. 2012. Estudio aeropalínológico de Chapultepec, Ciudad de México: Variación espacio-temporal y efectos en la salud. (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Ortega Rosas C. I., M. del Carmen Calderón-Ezquerro y O.G. Gutiérrez-Ruacho. 2019. Fungal spores and pollen are correlated with meteorological variables: effects in human health at Hermosillo, Sonora, México. *International Journal of Environmental Health Research*.
- PalDat- *Palynological Database*. (5 de Septiembre de 2019). Obtenido de: <https://www.paldat.org/>
- Parrotta John A. 1993. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. & G. Forst. Casuarina, Australian pine. SO-ITF-SM-56. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 11 p.
- Pennington T.D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Ediciones Científicas universitarias, 3er edición. FCE, UNAM, México.
- Pérez-Calix E. y E. Carranza González. 1999. Ulmaceae. En: Rzedowski J y G. Calderón de Rzedowski (eds.) *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. Fascículo 75. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 30 pp.
- Piotrowska K. y A. Kubik-Komar. 2012. The effect of meteorological factor son airborne *Betula* pollen concentrations in Lublin (Poland). *Aerobiología*, 28 (4): 467-479.
- Ramos P. y R. Bárcenas. 2008. Catálogo de encinos (*Quercus* spp.) del herbario de la UAQ, en el estado de Querétaro, México. *Memorias del Programa Verano de la Ciencia*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. Vi: 14/11/2019. Obtenido de: <https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2008/7VeranoUAQ/11GutierrezRamos.pdf>
- Recio M. 1999. *Aerobiología: Breve introducción histórica*. REA 5: 9-11.
- Recio M., M.M. Trigo, F.J. Toro y B. Cabezudo. 1998. Incidencia del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta de Botánica Malacitana* 23:121-131.
- REMA. Red Mexicana de Aerobiología UNAM. 2019. Obtenido de: <http://rema.atmosfera.unam.mx/rema/Default.aspx>
- Rocha-Estrada A., M.A. Alvarado Vázquez, R. Foroughbakhch Pournavab y J.L. Hernández Piñero. 2009. Polen atmosférico de importancia alergológica en el área metropolitana de Monterrey (Nuevo León, México), durante el periodo marzo 2003- febrero 2005. *Revista Polibotánica*, 28: 191-212.
- Rocha-Estrada A., M.A. Alvarado Vázquez, T.E. Torres-Cepeda y R. Foroughbakhch Pournavab. 2008. Principales tipos polínicos presentes en el

- aire de la zona norte del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. *Ciencia UANL*, 11 (1).
- Rojas Villegas G. y J.M. Roure Nolla. 2001. Atmospheric pollen in Santiago, Chile. *Grana* 40: 126- 132.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Saenz R.C. 1978. Polen y esporas. Introducción a la palinología y vocabulario palinológico. Ed. H. Blume Ediciones. Madrid, España. pp. 219.
- Salazar-Coria L. 1995. Estudio anual de polen atmosférico en la zona sur de la ciudad de México (tesis de licenciatura). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Salazar M.M. 1940. Estudio de los pólenes de la atmósfera de la ciudad de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 1: 147-164.
- Salinas Soto P. 2009. La graminiflora en el municipio de Querétaro y zona conurbada. (tesis individual). Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro.
- Sánchez Landaverde E. 2014. Patrones fenológicos reproductivos y análisis climático de un encinar en Amealco de Bonfil, Querétaro. (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, México.
- Schüler L. y A. Hemp. 2016. Atlas of pollen and spores and their parent taxa of Mt Kilimanjaro and tropical East Africa. *Quaternary International*, XXX: 1-86.
- Servando Carvajal. 2007. Moraceae. En: Rzedowski J y G. Calderón de Rzedowski (eds.) *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. Fascículo 147. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 59 pp.
- Stennett P.J. y P.J. Beggs. 2004. Pollen in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationships with meteorological parameters. *Grana* 43: 209-216.
- Stevens, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>. (Missouri Botanical Garden)
- Terán L.M., M.M.M. Haselbarth-López y D.L. Quiroz-García. 2009. Alergia, Pólenes y medio ambiente. *Gaceta Médica México*, 145 (3).
- Torres R. G y F.F. Flores. 2013. Reporte de polen atmosférico durante la estación primaveral de 2007 en la ciudad de San Salvador de Jujuy, Argentina. *Revista del museo argentino de ciencias naturales*, 15 (2): 175-182.
- Tovar Alvarez A.L. y M. Martínez y Díaz de Salas. 2008. Estado actual de la flora y la vegetación nativa del mpio. de Querétaro y zona conurbada (Fenología de la flora del Mpio. de Querétaro). En *Memorias del 10° verano de la ciencia de*

la Región Centro. Vi: 13/11/2019. Obtenido de:
<https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2008/7VeranoUAQ/21TovarAlvarez.pdf>

- Trigo M.M., V. Jato, D. Fernández y C. Galán. 2008. Atlas aeropalínológico de España. Sec. De Publicaciones. Universidad de León.
- Trigo M.M., M. Recio, F.J. Toro y B. Cabezudo. 1997. Intradivisional fluctuations in airborne pollen in Málaga (S. Spain): A quantitative method. Grana, 36:39-43.
- Valero Santiago A.L. y C. Picado Vallés. 2002. Polinosis. En Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García (Eds). Polinosis: Polen y alergia. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 17-21 pp.
- Valero Santiago A.L. y A. Cadahía García. (Eds). 2002. Polinosis: Polen y alergia. Barcelona, España: MRA Ediciones, S.A. 173 pp.
- Velasco-Medina A.A. y G. Velázquez-Sámamo. 2014. Sensibilización al polen de *Casuarina equisetifolia* y *Pinus* spp. en pacientes con rinitis alérgica y asma en la Ciudad de México. Revista Alergia México, 61: 9-13.
- Vázquez L.M., C. Galán y E. Domínguez-Vilches. 2003. Influence of meteorological parameters on olea pollen concentrations in Córdoba (South-western Spain). International Journal of Biometeorology, 48: 83-90.
- Zamudio S. y E. Carranza. 1994. Cupressaceae. En: Rzedowski J y G. Calderón de Rzedowski (eds.) Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo 29. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 20 pp.
- Zamudio R.S., J. Rzedowski, E. Carranza y G. Calderón de Rzedowski. 1992. La vegetación del estado de Querétaro. Panorama preliminar. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. Querétaro, México.

10. ANEXOS

Anexo 1. Cálculo del factor de corrección

Para obtener el número de granos de polen que corresponden a cada m³ de aire aspirado, se multiplican los granos de polen obtenidos por un factor que se obtiene de la fórmula:

$$\left(\frac{\text{Superficie total muestreada}}{\text{Superficie analizada}}\right) \times \left(\frac{1}{\text{volumen de succión}}\right) = \text{Factor corrector}$$

Volumen de succión: 10 l/min = 600 l/min = 14400 l/día = 14.4 m³

Diámetro del campo de visión del 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 de largo x 14 mm de ancho = 672 mm²

Contenido de partículas por metro cubico de aire = N x 0.54

N= número de granos de polen en los cuatro barridos

Anexo 2. Cálculo de Periodo Principal de Polinación (PPP) por el método del 5% (Ándersen 1991).

1. Se calcula el IPA para cada tipo polínico, 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 calculan los porcentajes acumulados para cada una de las concentraciones medias diarias, el porcentaje acumulado de la última concentración media diaria debe ser 100%.
3. Dentro de la serie de porcentajes acumulados se buscan aquellos correspondientes al 2.5% y al 97.5%, estos indican el inicio y el final del PPP.
4. Dentro del PPP se ubica el pico máximo, este corresponde al día en el cual se registra la mayor concentración de granos de polen/m³ de aire.
5. A partir del pico máximo, se obtiene el periodo pre-pico, este 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 3. Cálculo de variación intradiaria.

1. Para el taxón de interés se calcula la media anual del índice polínico anual, dividiéndolo entre los días que duró el muestreo (365 días).
2. Se seleccionan los días que tienen una concentración media diaria de GP/m³ ≥ a la media calculada anteriormente, y que se encuentren dentro del PPP, para trabajar con los recuentos directos por hora.
3. Una vez extraídos los datos horarios, se calcula una Σ por cada una de las 24 horas del día, también se obtiene una Σ total (este valor se toma como 100%).
4. Las Σ horarias se transforman a porcentajes y se grafican, obteniéndose una curva que describe el comportamiento de las concentraciones atmosféricas de polen a lo largo de las 24 horas del día. Se puede generalizar más el comportamiento intradiario graficando porcentajes acumulados en periodos de dos horas.

Anexo 4. Cálculo del índice de distribución intradiaria (IDI).

Se calcula con la siguiente formula:

$$IDI = \frac{M - m}{T}$$

Donde M corresponde al valor máximo de las Σ horarias

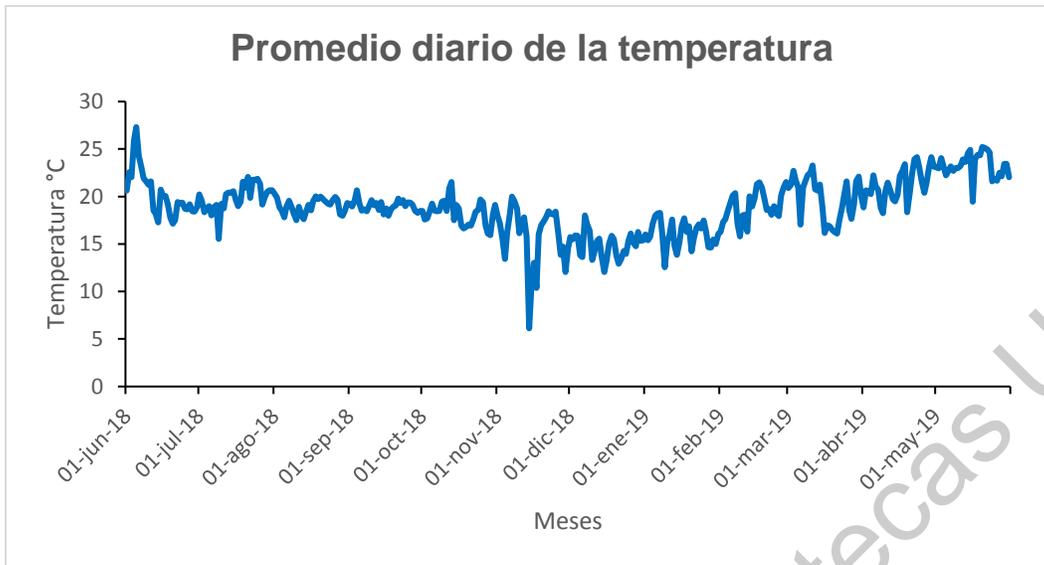
Donde m corresponde al valor mínimo de las Σ horarias

Donde T corresponde al valor de la Σ total

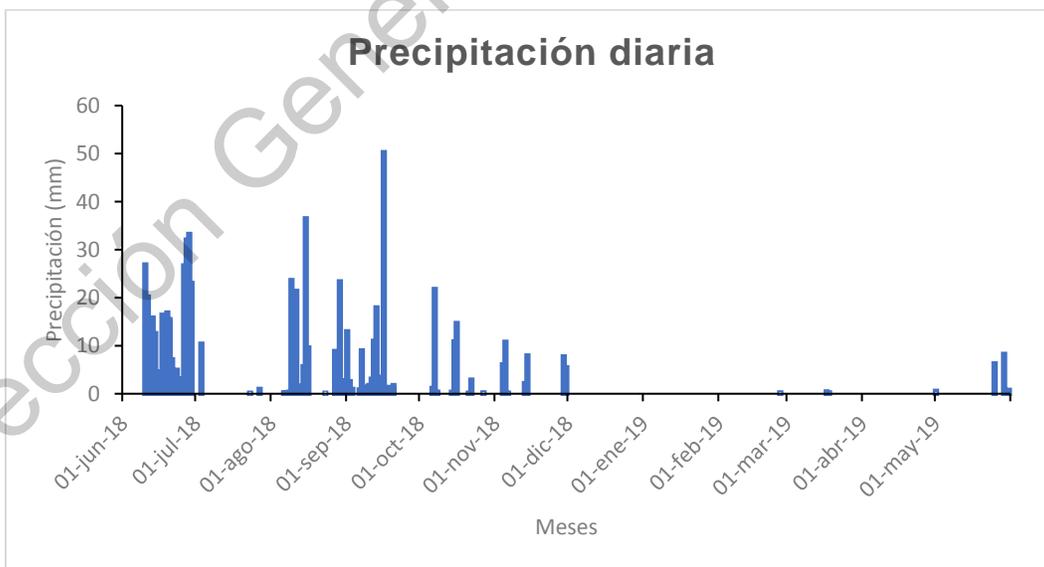
Si el IDI es <0.1 indica que los picos son inestables y se pueden presentar en cualquier hora del día. Si el IDI oscila entre 0.1 y 0.2 los picos son moderados y hay un aumento gradual en la liberación de polen a la atmósfera. Si el IDI es > 0.2 el pico es estable y el taxón presenta una liberación de polen en un periodo de tiempo determinado.

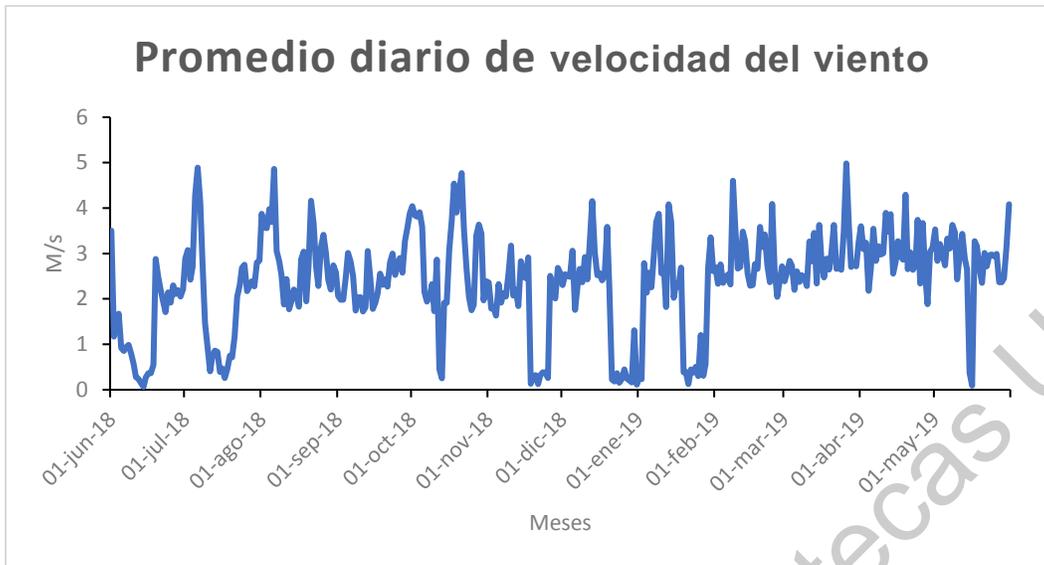
Anexo 5. Gráficas de las variables climáticas.

El promedio de la temperatura durante el año de muestreo (31 mayo de 2018 al 31 de mayo de 2019) fue de 23.25°C, la temperatura máxima fue de 25.22°C y la mínima de 19.45°C. Los meses con la temperatura promedio más baja fueron enero (16.06°C), noviembre (15.87°C) y diciembre (14.9°C). Los meses que presentaron una temperatura promedio más alta fueron mayo (23.2°C), abril (21.2°C) y junio (20.3°C).



Durante todo el año de muestreo, la cantidad total de lluvia acumulada fue de 387.3 mm. Los meses con mayor cantidad de lluvia fueron: junio (273.42 mm), agosto (148.9 mm) y septiembre (148.9 mm). Los meses que tienen menor de 100 mm son: octubre (51.9 mm), noviembre (39.9 mm), mayo (15.9 mm) y julio (11.3 mm). Los meses que no presentan precipitación son diciembre, enero y abril, febrero tuvo 0.2 mm y marzo 0.6 mm de precipitación.





El promedio de máxima humedad relativa se presentó en el mes de septiembre (71.5%) y octubre (70.8 %) y la mínima en el mes de abril (30.5%) seguido de mayo (36.4%) y marzo (42.1%). En los meses restante el promedio de humedad relativa oscila entre el 60 y 66%.

