



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis del comportamiento de las concentraciones de polen de Amaranthaceae en el bioaerosol atmosférico de la ciudad de Cartagena, España (1993-2018)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y PROCESOS
SOSTENIBLES**

Autor:	Andrea Roca Alonso
Director:	Stella Moreno Grau
Codirector:	María Luisa Belén Elvira Rendueles



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 2020

Índice

1. Introducción.....	5
2. Objetivos.....	7
3. Antecedentes bibliográficos.....	8
3.1. Aerobiología y palinología.	8
3.1.1. La importancia de la Aerobiología.....	9
3.1.2. Las fuentes de polen.	12
3.1.3. El proceso de polinización.....	15
3.1.4. Técnicas de muestreo.	17
3.1.5. Modelos predictivos.....	22
3.2. La familia Amaranthaceae.....	24
3.2.1. Presencia de la familia Amaranthaceae en la Región de Murcia.	26
3.2.2. Amaranthaceae como fuente de polen.	30
3.2.3. Potencial alergénico del polen de la Amaranthaceae.....	32
4. Materiales y métodos.....	34
4.1. Ciudad de estudio.....	34
4.2. Captación del polen.....	35
4.2.1. Dispositivo de captación.	35
4.2.2. Dispositivo y principio de captación.....	36
4.2.3. Ubicación del captador.....	37
4.2.4. Puesta en marcha del captador.	39
4.2.5. Preparación del tambor para la captación.....	39
4.2.6. Cambio del tambor y transporte de la muestra.....	40
4.2.7. Acondicionamiento de las muestras.	41
4.2.8. Mantenimiento del captador.	44
4.3. Identificación y recuento de los granos de polen.....	45
4.4. Cálculo de la concentración por el método Hirst.	46
4.5. Análisis de datos y métodos estadísticos.	48
4.5.1. Período Principal de Polinización.	48
4.5.2. Datos meteorológicos.	48
4.5.3. Pruebas de normalidad.	49
4.5.4. Correlaciones.....	49
5. Resultados y discusión.	51

5.1. Descripción de los datos de Amaranthaceae.	51
5.2. Distribución de los datos.	61
5.2.1. Datos diarios.....	61
5.2.2. Variables anuales de la meteorología.	65
5.3. Comportamiento intraanual.	67
5.4. Tendencias en la meteorología anual.	72
5.5. Tendencias en la concentración del polen de Amaranthaceae.	76
5.6. Correlaciones entre el polen de Amaranthaceae y las variables meteorológicas. ..	80
5.6.1. Influencia de las precipitaciones sobre las concentraciones de polen de Amaranthaceae a lo largo del tiempo.....	84
5.7. Categorías polínicas para el género Amaranthaceae en Cartagena.	89
6. Conclusiones.	99
7. Bibliografía.	102

1. Introducción.

La aerobiología se define como la ciencia multidisciplinaria que estudia la presencia de partículas biológicas presentes en el aire. Asimismo, también incluye el estudio de partículas o gases abióticos que pueden afectar a organismos vivos (Edmonds, 1979).

Cuando el estudio se centra en la identificación de los granos de polen y esporas presentes en el aerosol atmosférico se denomina Aeropalinología (Cecchi, 2013). La Aerobiología juega un papel importante a la hora de establecer una relación entre la concentración de polen en el aire y determinadas patologías, tanto en humanos (D'Amato et al., 2007) , como en animales (Moreno-Grau, 2015) y vegetales (García-Mozo, 2011).

El contenido alergénico de la atmósfera varía en función del clima, la geografía y la vegetación. Teniendo en cuenta la presencia y prevalencia de los pólenes alergénicos transportados por el aire, obtenidos en investigaciones tanto aerobiológicas como alergológicas, cuando las series temporales son superiores a los 5-7 años, es posible diseñar calendarios polínicos con el periodo de floración aproximado de las plantas en el área en muestreo (Belén Elvira-Rendueles et al., 2019). Del mismo modo, incluso aunque la producción y dispersión del polen año a año dependa de modelos del clima de pretemporada y de las condiciones imperantes en el periodo de la antesis, es posible predecir la probabilidad de encontrar altas concentraciones de polen alergénico en las diferentes áreas (Sofiev & Bergmann, 2013).

Asimismo, diferentes estudios aerobiológicos y alergológicos han mostrado que el mapa polínico de Europa está cambiando debido al resultado de factores culturales, viajes internacionales o al cambio climático ya que sus efectos están afectando a la extensión y duración de la temporada de producción de polen. De igual forma, se ha demostrado que la urbanización, los altos niveles de las emisiones de los vehículos y el estilo de vida occidentalizado están relacionados con el incremento de la frecuencia de la alergia respiratoria inducida por el polen, así como, que las personas que viven en áreas urbanas se ven más afectadas por la alergia respiratoria que las que viven en zonas rurales (D'Amato et al., 2007).

Por otro lado, la fiebre del heno o polinosis es una enfermedad con una etiología ambiental cuyo impacto está relacionado con síntomas bien documentados para el sistema respiratorio. Usualmente, el diagnóstico de la polinosis implica la siguiente secuencia: una historia clínica detallada del paciente y el examen físico correspondiente; la sospecha de una relación causal entre los síntomas y la exposición a alérgenos; y finalmente, la confirmación de la sospecha clínica por medio de pruebas cutáneas (Sánchez-Borges et al., 2011).

La familia Amaranthaceae comprende 65 géneros que incluyen 2500 especies diversas. Siendo estas tanto herbáceas como sufruticosas, anuales o perennes, la mayoría de ellas son hierbas o subarbustos con unos cuantos árboles y trepadoras. Los tallos pueden ser erectos o postrados y las hojas simples, alternas u opuestas, o sin estípulas. Se suelen desarrollar en climas áridos o semiáridos y áreas calurosas, así como, en hábitat especiales como áreas halófitas, marismas, formaciones de yeso o similares (Castroviejo et al., 2017).

La inhalación de polen del taxón Amaranthaceae es la mayor causa de sensibilización alérgica en el medio oeste y oeste de Estados Unidos, norte de África, área mediterránea (Villalba et al., 2014) y algunos países árabes (Al-Dowaisan et al., 2004; Assarehzadegan et al., 2009) pues dada la situación climática que presentan estas áreas geográficas, muchos géneros de esta familia encuentran este hábitat como el ideal para su desarrollo. En España, estas plantas se localizan en el sudeste (Ferrer et al., 2010) y en el Valle del Ebro (Colás et al., 2005; L. Ferrer et al., 2012). Siendo la segunda causa de alergia polínica en la Región de Murcia (Elvira-Rendueles et al., 2017).

El área en el que vamos a centrar nuestro estudio corresponde a una de las más secas de Europa, siendo por tanto un hábitat ideal para el crecimiento de este tipo de taxón. Esta área es Cartagena; se trata de una ciudad mediterránea, situada a nivel del mar, en el Sureste de la Península Ibérica, en la unidad administrativa denominada Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Su clima es mediterráneo con una temperatura media anual de 18,8 °C y unas precipitaciones anuales de 249 mm, por lo que constituye una zona de gran aridez (García, 1990).

El presente Trabajo Fin de Máster persigue analizar la floración de la familia Amaranthaceae a partir de la base de datos aerobiológica de la ciudad de Cartagena en el periodo 1993-2018 (26 años), definiendo las características del periodo principal de polinización, el comportamiento de las variables meteorológicas en el periodo y los valores umbrales para el tipo polínico Amaranthaceae en la ciudad de Cartagena. Así como, predecir los posibles comportamientos posteriores, analizar los parámetros aerobiológicos principales, valorar su evolución a lo largo del periodo considerado y su relación con las variables climáticas con el objetivo de intentar adoptar medidas con el fin de informar y proteger a los grupos afectados.

2. Objetivos.

El objeto global del presente trabajo es llevar a cabo un estudio palinológico de la concentración de polen de la familia Amaranthaceae presente en el bioaerosol atmosférico de la ciudad de Cartagena. Para ello, se han perseguido los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el comportamiento del taxón Amaranthaceae en el bioaerosol atmosférico de Cartagena en base a las variables climáticas y biogeográficas de la zona de estudio y conocer el tipo de distribución al que se ajustan mediante métodos gráficos y estadísticos.
2. Estudiar variabilidad interanual de la familia Amaranthaceae en el bioaerosol de Cartagena definiendo los dos periodos de floración para cada año de la serie, seleccionando la metodología adecuada para el cálculo de ambos valores de los Periodos de Polinización Principales y aplicar dicha metodología de cálculo a cada año de estudio de la serie disponible.
3. Definir los índices polínicos anuales y valores umbrales del taxón Amaranthaceae en Cartagena.
4. Comprender la evolución de la meteorología anual en el periodo estudiado de 26 años, con el objetivo de descubrir relaciones entre los cambios en el clima y la producción de polen de Amaranthaceae.
5. Valorar las correlaciones entre los datos diarios de concentraciones de polen de Amaranthaceae de los Periodos Principales de Polinización y la meteorología diaria.
6. Estudiar las correlaciones entre las variables meteorológicas acumuladas y las variables anuales en los Periodos Principales de Polinización de Amaranthaceae en el periodo estudiado.

3. Antecedentes bibliográficos.

En este apartado explicaremos las bases teóricas que sustentan la investigación del presente trabajo. Definiremos el término de palinología en el contexto de la aerobiología, así como su fundamento, la importancia que tiene la realización de un estudio de polen exhaustivo y las fuentes de polen. Asimismo, describiremos el proceso de polinización, las diversas fuentes de muestreo existentes y los modelos predictivos empleados. Finalmente, se expondrán las características generales de la familia Amaranthaceae, su presencia en la Región de Murcia y su rol como fuente de polen alergénico.

3.1. Aerobiología y palinología.

Tal y como se ha comentado anteriormente, se define el término **aerobiología** como la rama de la biología que estudia las partículas biológicas transportadas de manera pasiva a través del aire, como pueden ser las bacterias, los virus, los granos de polen o las esporas de los hongos (Cecchi, 2013). Por otro lado, la **palinología** es la ciencia que se centra en el estudio de los granos de polen y las esporas de los organismos como son los hongos, helechos o los musgos (palinomorfos). Se define el término palinomorfos como aquellos granos de polen, así como, esporas de hongos, genéricamente microfósiles que poseen una pared orgánica con un tamaño que oscila entre 5 y 500 μm .

Por lo que podríamos definir la **Aeropalinología** como el fruto de una integración de conocimientos multidisciplinares procedentes de diferentes campos de investigación como son las ciencias biológicas, las físicas, las sociales, las biomédicas, puesto que una gran proporción de tipos polínicos y fúngicos pueden interferir en la salud de las personas, o las botánicas, debido a que los vegetales forman granos de polen y esporas de hongos que posteriormente liberan a la atmósfera como mecanismo reproductivo (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

La palinología puede clasificarse en diferentes grupos en función de la aplicación que tenga (Punt et al., 2007):

1. Actuopalinología: hace referencia al estudio de la morfología del polen y las esporas de los organismos vivos. Este grupo a su vez se subdivide en:
 - 1.1. Aeropalinología: engloba el estudio de los palinomorfos de la atmósfera.
 - 1.2. Melisopalinología: analiza el polen de las mieles.
 - 1.3. Bromatopalinología: estudia el polen contenido en los alimentos.

- 1.4. Criminopalinología: se encarga del estudio del polen en los campos de la medicina legal y forense.
- 1.5. Copropalinología: analiza los granos de polen hallados en excrementos, generalmente de animales, con el objetivo de poder obtener información acerca de sus hábitos alimenticios.
2. Paleopalinología: se basa en el estudio de pólenes y esporas fósiles con el objetivo de descubrir aspectos de la naturaleza de épocas pasadas.

Con respecto a la Paleopalinología, en un principio este término hacía referencia a los estudios de la vegetación y al análisis de los granos de polen retenidos en los sedimentos turbosos y minerales. Fue en 1944 cuando Harold Augustus Hyde en una publicación estadounidense conocida con el nombre de Pollen Analysis Circular N.º 7, definió un nuevo concepto la Palinología (Merriam-Webster, Inc, 2003) y describió este término como el estudio de los granos de polen de las plantas, su dispersión y aplicaciones (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

A partir de ese momento surgió otra rama científica, la Aeropalinología o estudio de los granos de polen y las esporas de hongos aerovagantes o transportados a través del aire. A finales del siglo XX este, fue remplazado por el término Aerobiología, el cual había sido ya propuesto hace setenta años, concretamente en el año 1930, por el patólogo americano Fred Campbell Meier (Scheifinger et al., 2013).

El concepto Aerobiología se comenzó a promulgar durante el siglo XX, en la década de los años 40 durante el congreso de Symposium on extramural and intramural aerobiology, aunque tuvo muy poca aceptación. No fue hasta los años 70 cuando los científicos Edmonds y Benninhoff incidieron en que resurgiera con gran fuerza este concepto y la investigación en este ámbito científico (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002). Finalmente, en el año 1974 se creó la Asociación Internacional de Aerobiología, IIA y comenzaron a constituirse las redes nacionales, locales y autonómicas en diversos países europeos.

3.1.1. La importancia de la Aerobiología.

En el año 1819 John Bostock un médico, científico y geólogo de Liverpool definió por primera vez el término de polinosis o fiebre del heno en un trabajo titulado “Un caso de afección periódica de los ojos y el tórax”. En dicho trabajo describió su propia enfermedad, que a

diferencia del coriza común únicamente se le reproducía durante los meses de junio-julio, estación del heno en Inglaterra (Pelta Fernández, 2002).

Más de cuatro décadas después, concretamente en el año 1873 el doctor británico Charles Blackley describió por primera vez la polinosis, a la que llamó fiebre del heno, como la reacción alérgica que sufre el cuerpo al entrar en contacto con el polen. Así en su artículo titulado “Experimental researches on the causes and nature of Catarrhus Aestivus” consiguió demostrar que la causa de la fiebre del heno en trabajos de neumología, alergología y, aerobiología, era el polen aerovagante. Asimismo, estuvo realizando infinitos experimentos con diferentes productos químicos y diversos olores durante más de 40 años hasta que pudo afirmar que el causante principal de la polinosis era el polen. Durante sus años de investigación en una de sus pruebas reaccionó de forma violenta al respirar de manera involuntaria un tipo de polen por lo que decidió llevar a cabo un experimento, donde estudiaba el efecto del polen de 76 especies de plantas con flores en su propio cuerpo. Tras la realización del estudio pudo concluir que el polen de determinadas plantas producía diferentes síntomas, que la intolerancia y continuidad de los síntomas dependía de la cantidad y de las exposiciones a esos pólenes y que la intensidad a dichos pólenes era variable. Por otro lado, en 1924 John Cadham demostró que la definición de polinosis debía incluir también, las reacciones alérgicas producidas no solo por el polen sino también por esporas de hongos (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Actualmente, se define el término de polinosis o fiebre del heno como la inflamación de la mucosa nasal, conjuntival o bronquial causada por alérgenos contenidos en los granos de polen a través de un mecanismo inmunológico IgE mediado. Históricamente, la polinosis se ha asociado únicamente con manifestaciones clínicas nasales y conjuntivales. Sin embargo, también se puede manifestar en forma de asma con grados muy diversos de gravedad dependiendo de las características de cada polen y en porcentajes muy variables. Se estima que un 50% de los casos son producidos por el polen de gramíneas, 20% por el de *Ambrosia*, 30% son debidos a la *Betula*, 40% por la *Olea* y 60% a la *Parietaria* (Valero Santiago & Picado Vallés, 2002).

Lázaro Spallanzani un naturalista italiano, llevó a cabo diversos estudios que facilitaron las posteriores investigaciones de Louis Pasteur (1822-1895), quien demostró la existencia de esporas atmosféricas transportadas por el aire y repartidas desde la fuente, proponiendo la necesidad de realizar de manera regular estudios en las diferentes estaciones del año en un área concreta y en diferentes lugares durante un mismo periodo (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Asimismo, las investigaciones de Pasteur llevaron a Pierre Miquel (1850-1922) un farmacéutico y médico francés a convertirse en el primer aerobiólogo profesional. Realizó diversas investigaciones empleando métodos volumétricos con el fin de estudiar las concentraciones de las partículas en función del tiempo y la influencia de la temperatura con referencia al número de partículas por metro cúbico de aire según la dirección del viento en la ciudad de París (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Paralelo a las investigaciones de Pierre Miquel, debe darse cabida a John Tyndall (1820-1893) un ingeniero civil irlandés que propuso una metodología con el objetivo de estudiar la distribución de la materia invisible flotante del aire. Con su estudio, demostró que la distribución de la misma tenía una estrecha semejanza con la propagación de las epidemias en la población concluyendo que los gérmenes eran arrastrados en grupos o “nubes”, advirtiendo al mundo de la existencia de la materia flotante del aire y de los problemas que estas partículas podían acarrear a la humanidad (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Por otro lado, el biólogo Philip Herries Gregory escribió la obra “The microbiology of the atmosphere”, la cual ha servido como libro de cabecera para muchos aerobiólogos actuales. Asimismo, realizó diversas investigaciones acerca de la producción y dispersión de esporas de determinadas especies fúngicas (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

En 1952 Jim M. Hirst un alumno de Philip Herries Gregory, desarrolló el primer captador de esporas automático y volumétrico con el fin de poder resolver los diversos problemas que planteaba el estudio de la epidemiología del mildiu de la patata (*Phytophthora infestans*). Actualmente, este captador se sigue empleado en los estudios aerobiológicos y se ha establecido como estándar en las redes aerobiológicas españolas y europeas.

Con respecto a los estudios aerobiológicos realizados en España cabe destacar a González Frago y Unamuno con sus investigaciones en base a la patología vegetal, así como, Jiménez Díaz que fue el primer español en emplear papel alergénico en esporas de hongos. Estos estudios comenzaron en el siglo XX y se desarrollaron con mayor intensidad durante los años 80 de la mano de diversos investigadores, médicos y biólogos principalmente botánicos que partieron de una formación en el campo de la palinología hasta enfocar sus trabajos a la aerobiología (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002). Los pioneros de estos trabajos en España fueron el grupo de investigación de los Dres. Seoane-Camba y Suárez-Cervera de la Universidad de Barcelona (Seoane-Camba & Suárez-Cervera, 1983).

Actualmente, los estudios aerobiológicos tienen como objetivo principal la prevención de la aparición de alergias y la utilización de medicamentos en el caso que sean necesarios, en

momentos oportunos. Para ello, se elaboran modelos de previsión, los más sencillos son conocidos **calendarios polínicos** que marcan el inicio y el fin de la presencia de un tipo polínico en el aire en un área concreta, así como la intensidad de la floración. No obstante, la existencia de series temporales largas está intensificando el desarrollo de modelos predictivos tanto estadísticos como numéricos, incluyendo entre las variables a considerar, las relacionadas con la meteorología local (Sofiev & Bergmann, 2013).

Desde el comienzo del siglo XXI y en adelante la preocupación por el cambio climático y el calentamiento global ha ido aumentando, lo que ha supuesto que muchos de estos estudios aerobiológicos intenten tanto deducir estos cambios en las series de datos obtenidos durante los diversos años de estudios como prever cómo pueden verse afectadas las alergias respiratorias.

Finalmente, hoy en día podemos tener la certeza de que en un futuro no muy lejano los estudios aerobiológicos estarán aún más extendidos, especialmente si progresan las investigaciones que se están llevando a cabo y que persiguen el reconocimiento automático o semiautomático de pólenes y esporas aplicando técnicas de tratamiento de imágenes o de identificación de los mismos a partir de técnicas inmunológicas (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

3.1.2. Las fuentes de polen.

Los granos de polen son las células sexuales masculinas de las plantas con flores; estos son formados en el interior de los estambres y tras alcanzar su madurez son liberados al exterior, este proceso de liberación se denomina **dehiscencia**. La función biológica de un grano de polen es alcanzar la parte femenina de una flor de su misma especie con el objetivo de fecundar la ovocélula (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Debido a las condiciones ambientales adversas que pueden llegar a sufrir los granos de polen, estos deben de ser muy resistentes. Por ello, estas células están recubiertas de una pared de notable resistencia conocida con el nombre de exina. La resistencia de dicha pared se debe a que está constituida por uno de los materiales más inalterables de la naturaleza, la esporopolenina la cual le confiere el poder de resistir a ácidos y bases fuertes, así como, a grandes variaciones térmicas muy habituales en la naturaleza (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Los granos de polen se caracterizan en función de su tamaño, su forma, su estructura, la ornamentación de su exina y las posibles aperturas que esta puede presentar. Por ello, para

poder clasificar los granos es necesario observar los tipos de poros, colpos, la combinación de ambos o su ausencia, así como, el número y la disposición de la superficie de grano (B. Elvira-Rendueles et al., 2013). Así, el conjunto de características que posee un tipo de polen es constante para cada tipo de planta lo que facilita la posibilidad de poder identificar con mayor o menor precisión el taxón de procedencia de dicho tipo de polen (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

Se define el término **polinización** como el traslado del grano de polen desde que se produce en su receptáculo, las anteras, hasta que se deposita en el órgano receptor femenino ya sea de la misma flor u otra flor de la misma especie, los estigmas (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002). Dependiendo del tipo de especie, la polinización se efectuará de diversas maneras, de forma que existen dos tipos de fecundación:

- Polinización directa o autopolinización: conocida con el nombre de **autogamia**. En este caso, el grano de polen fecunda a la misma flor.
- Polinización indirecta o cruzada: conocida como **alogamia**. Por el contrario, en este caso el grano de polen va al pistilo de otra flor distinta. Este tipo de fecundación es la que poseen la mayoría de las especies.

Así, cuando las flores son del mismo individuo se denomina **geitonogamia** y, por el contrario, cuando las flores están en plantas distintas se denomina **xenogamia**.

Además, existen cuatro métodos por los cuales los granos de polen son transportados de forma que se lleve a cabo el proceso de polinización:

- Entomogamia: los granos de polen son transportados desde las anteras hasta los estigmas de las plantas con ayuda de los insectos, como pueden ser abejas, mariposas o escarabajos. Las plantas cuyas flores son polinizadas por insectos se denominan **entomófilas**.
- Anemogamia: los granos de polen son transportados desde las anteras hasta los estigmas de las plantas a través de la atmósfera, siendo el viento el medio de arrastre. Las plantas cuyas flores son polinizadas de esta manera se denominan **anemófilas**.
- Ornitogamia: los granos de polen son transportados desde las anteras hasta los estigmas de las plantas con ayuda de las aves. Las plantas cuyas flores son polinizadas por aves se denominan **ornitófilas**.

- Hidrogamia: los granos de polen son transportados desde las anteras hasta los estigmas de las plantas empleando el agua como medio de transporte. Las plantas cuyas flores son polinizadas a través del agua se denominan **hidrófilas**.

Además, sabiendo que los casos de polinización más comunes de las plantas con semillas son por anemofilia y por entomofilia (Pelta Fernández, 2002), y teniendo en cuenta que el tema principal de este Trabajo Fin de Máster es el “Análisis del comportamiento de las concentraciones de polen de Amaranthaceae en el bioaerosol atmosférico de la ciudad de Cartagena, España (1993-2018)”, nos centraremos únicamente en la fecundación de plantas de especies anemófilas, es decir, aquellas en el que el traslado de polen tiene lugar a través del viento.

En las especies anemófilas la producción de polen varía de forma considerada. Entre las regiones con vegetación que han sido analizadas en estos años, se ha podido contabilizar que anualmente hay por cada kilómetro cuadrado hay entre 12^{12} y 10^{14} granos de polen. Asimismo, un gramo de polen está formado por 10^7 - 10^8 granos de polen, lo que supone que cada año en cada kilómetro cuadrado se difundan entre 0,01-10 toneladas de polen (Akers et al., 1979).

Por otro lado, la distancia que hay entre las plantas puede complicar el proceso de polinización. Sin embargo, existen adaptaciones capaces de aumentar el número de granos de polen producidos en un tiempo conocido, simplemente incrementando las concentraciones instantáneas. De esta forma se mitiga, por tanto, este problema gracias a la precisión de la producción y a la emisión del polen.

Asimismo, la estacionalidad de la polinización anemófila se puede subdividir en tres diversos grupos (Schmidt, 1981):

1. Árboles y arbustos de bosque, de clima templado que emiten polen durante la primavera hasta el comienzo de la temporada de crecimiento.
2. Plantas herbáceas perennes que emiten polen a finales de verano y a principios de otoño, cerca del final de la temporada de crecimiento.
3. Plantas herbáceas que emiten polen a lo largo de toda la temporada de crecimiento.

Actualmente, existen 12 géneros de plantas anemófilas que resultan de especial interés aerobiológico: ambrosía (*Ambrosia*), aliso (*Alnus*), artemisa (*Artemisia*), abedul (*Betula*), pie de ganso (Chenopodiaceae), avellano (*Corylus*), cipreses, incluidos tejos (Cupressaceae/Taxaceae), oliva (*Olea*), plátano de sombra (*Platanus*), hierbas (Poaceae), robles y encinas (*Quercus*) y

Parietaria, siendo su grano de polen indistinguible al de *Urtica* por ello el tipo polínico se define como Urticaceae (*Urtica/Parietaria*) (Sofiev & Bergmann, 2013).

3.1.3. El proceso de polinización.

Como hemos comentado anteriormente, se denomina **proceso de polinización** al recorrido que lleva a cabo el polen, célula masculina de reproducción, desde que se produce en su receptáculo, las anteras, hasta que se deposita en el órgano receptor femenino, los estigmas de las plantas (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002). Este proceso comprende los siguientes puntos: producción del polen, descarga, transporte, dispersión, deposición y resuspensión del mismo.

El objetivo principal de la producción de polen es la reproducción de la planta. Como hemos comentado en el punto anterior, existen dos tipos de polinización. La polinización directa donde, el grano de polen fecunda a la misma flor o la polinización cruzada donde, el grano de polen va al pistilo de otra flor distinta; siendo este último tipo, el más común entre la mayoría de las especies. Así, la polinización cruzada es posible tanto entre flores de la misma planta como entre flores de diferentes plantas de la misma especie.

Las flores de las plantas anemófilas se encargan de producir grandes cantidades de polen en vez de emplear sus recursos en la formación de esencias, néctar o flores atractivas, pues debido a la ligereza de los granos, estos son fácilmente transportables por el aire. Sin embargo, para que el proceso de polinización sea efectivo en el receptor, los estigmas, la cantidad de polen recogida tiene que ser bastante elevada.

A continuación, vamos a describir los diferentes puntos del proceso de polinización de las plantas anemófilas:

1. Producción de polen.

Se trata de un evento que ocurre con relativa precisión en el ciclo de vida de las plantas. Los granos de polen se forman en el interior de los estambres de las plantas con flores y son liberados cuando alcanzan una determinada madurez. La cantidad de polen producida y el momento de liberación del mismo son el resultado de adaptaciones genéticamente controladas de las plantas anemófilas (Akers et al., 1979).

2. Descarga del polen.

Tiene lugar en las anteras de las flores y se trata de un transporte pasivo puesto que no requiere sobrecarga energética.

La descarga del polen depende, sobre todo, de factores meteorológicos. Asimismo, durante la descarga del polen, la flor se abre, las anteras tienden a expandirse, se deshidratan y se rompen. De esta forma, el polen cae por gravedad depositándose en las partes inferiores de las anteras, es decir, en las hojas o en las flores, dependiendo del tipo de planta que se trate. Tras la deposición y en días de viento, se transportan tres cuartas partes de la cantidad de polen generada por una planta anemófila, reduciéndose por el contrario cuando las plantas se encuentran en el proceso de crecimiento o en un ambiente frondoso (Chatigny et al., 1979).

3. Transporte de los granos de polen.

Actualmente existen diversos estudios en los que se demuestra la existencia de una determinada pauta de distribución del polen aerovagante a lo largo de las 24 h del día, esta distribución se conoce con el nombre de **distribución intradiaria**. Asimismo, esta distribución puede variar dependiendo del tipo de especie. Incluso siendo de la misma especie, también puede verse afectada por factores como: el número de especies que comprende el taxón, el clima, la altitud a la que se encuentra la planta productora de polen o la distancia existente entre esta y el punto donde se lleva a cabo el muestreo (Recio et al., 2002).

Asimismo, la temperatura ambiental va aumentando conforme amanece mientras que la humedad relativa va disminuyendo. Las concentraciones más altas de polen se suelen encontrar en el intervalo horario de 10:00-18:00, pues durante estas horas centrales del día los movimientos verticales del aire por convección se ven más favorecidos, por lo que existe una mayor inestabilidad atmosférica, es decir, una mejor mezcla de las partículas aerovagantes. Del mismo modo, sin convección de aire, los granos de polen tienden a caer a la superficie, de esta forma se afirma la importancia que poseen los fenómenos meteorológicos en el transporte del polen. También puede haber la posibilidad de encontrar grandes cantidades de polen en el aire durante la noche, esto puede deberse al transporte de granos de polen provenientes de lugares más alejados de donde se está haciendo el estudio en concreto (Pérez-Badia et al., 2010).

De forma que se puede afirmar que dependiendo del tipo de taxón y del lugar donde se lleva a cabo el estudio, la distribución intradiaria puede variar. Así pues, del mismo modo durante este proceso, también juegan un papel importante las particularidades aerodinámicas de los granos de polen, así como, su forma y su tamaño, pues serán estas

cualidades las que determinarán el tiempo que el polen va a permanecer en suspensión (Valero Santiago & Picado Vallés, 2002).

4. Dispersión de los granos de polen: el polen puede difundirse por el aire a través de procesos como la sedimentación, la impactación o mediante las precipitaciones, siendo este último proceso diez veces más eficaz que los otros dos.

El tamaño y la velocidad terminal de las gotas de lluvia, así como, la dimensión de los granos de polen van a determinar la eficacia de su sedimentación, la cual va a verse afectada conforme se vaya reduciendo el tamaño de las gotas (Starr & Mason, 1966). Este efecto de las precipitaciones sobre la presencia de partículas se denomina lavado de la atmósfera (Elvira-Rendueles et al., 2017).

Los granos de polen poseen un mecanismo denominado harmomegacia (Punt et al., 2007) que les permite incorporar agua cuando la humedad relativa es alta, o perderla, en el caso de que sea baja, aumentando así su peso específico, mecanismo de regulación de su capacidad de flotabilidad, que se adapta a las circunstancias ambientales, permitiendo su sedimentación en las condiciones más favorables para la fecundación.

5. Deposición de los granos de polen: una vez depositado el polen en los estigmas de las plantas, comienza el proceso de germinación. El óvulo es fecundado mediante la transmisión del gameto masculino, naciendo finalmente la semilla. No obstante, la germinación de los granos de polen se ve favorecida en función de las condiciones climáticas.
6. Resuspensión de los granos de polen: en última instancia, cabe la posibilidad de que los granos de polen se resuspendan una vez que estos hayan sido depositados en los estigmas de las plantas para su posterior germinación, volviendo a dispersarse por el aire. En estos casos se repiten los fenómenos de transporte aéreo hasta la deposición, enterramiento o descomposición del grano de polen.

3.1.4. Técnicas de muestreo.

Desde el comienzo de los estudios aerobiológicos, se han ido empleando diversos métodos de monitorización del aire basados en diferentes principios. Por ello, a la hora de seleccionar el método óptimo para capturar las partículas aerovagantes es necesario fijar los objetivos que se

deseen alcanzar según el tipo de estudio que se vaya a llevar a cabo. Estos objetivos podrían estar comprendidos entre:

1. Obtener un registro continuo de la atmósfera o realizar muestreos cortos e intermitentes.
2. Obtener datos horarios, diarios o semanales.
3. Identificar y llevar a cabo un recuento sobre el número total de partículas presentes en el aire o sólo de aquellas que sean viables.
4. Estudiar un grupo taxonómico en concreto o el contenido total de las partículas aerovagantes.
5. Obtener un valor acerca de la lluvia polínica o un valor que represente el número de partículas por volumen de aire.

El propósito principal de los estudios aerobiológicos ha sido la creación de una base de datos que albergara el contenido de polen y esporas aerovagantes a través de un registro continuo de la atmósfera. Para ello, diversos investigadores han participado en el desarrollo de aparatos muestreadores, conocidos también con el nombre de captadores aerobiológicos, capaces de detener las partículas presentes en la atmósfera con el objetivo de su posterior análisis.

En la tabla 1 queda recogido un esquema de los diferentes métodos de muestreo aerobiológico. Posteriormente, se llevará a cabo una breve explicación de los principios en los que se basan y de los métodos más empleados para el estudio de los pólenes y esporas de hongos aerovagantes presentes en la atmósfera, para la explicación de dicho apartado se ha tomado como referencia la sección del libro “Polinosis: polen y alergia” titulada: Introducción (Belmonte Soler & Roure Nolla, 2002).

MÉTODOS DE MUESTREO AERODINÁMICO			
Muestreadores volumétricos	Sedimentación	Captador Durham Captador Tauber	
	Impacto	Captador Durham modificado	
Muestreadores no volumétricos	Filtración	Suárez-Cervera y Seoane-Camba	
	Inerciales	Impacto activo	Hirst Impactadores en cascada
		Impacto pasivo	Cour
		Impacto Intermitente	Rotorod
		Ciclónicos	Ciclón Burkard
		Borboteadores	-
Muestreo centrífugo	RCS		

Tabla 1. Resumen de los diferentes métodos de muestreo aerobiológico. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

- **Muestreadores no volumétricos:** dentro de este grupo albergan dos tipos de captadores, los de sedimentación y los de impacto.

Basándose en el principio de gravedad, los primeros captadores empleados consistían en superficies expuestas de manera horizontal, preparados con sustancias adhesivas o retentivas. Posteriormente, concretamente a principios del siglo XX, se desarrollaron soportes más adecuados que permitían un buen conocimiento de la cualidad y diversidad de las partículas atmosféricas a pesar de solo poder cuantificarlas por unidad de superficie, surgiendo así, los captadores Durham o Tauber.

- **Muestreadores volumétricos:** con el objetivo de que los resultados fueran más exhaustivos, se desarrollaron captadores capaces de medir el polen por unidad de volumen de aire.

Así, aprovechando la inercia de las partículas que se encuentran suspendidas en el aire, diversos investigadores diseñaron captadores capaces de favorecer el impacto de dichas partículas en superficies cubiertas con sustancias adhesivas, quedando así retenidas. Dentro de los captadores de impacto, destacan los de impacto activo, como el captador Hirst o los impactadores en cascada; de impacto pasivo, como el captador Cour; y de impacto intermitente, como el Rotorod.

Uno de los captadores más utilizado actualmente es el Hirst. Este tipo de muestreador está basado en el principio de succión a través de una bomba de vacío, la cual impulsa el aire aspirado contra la superficie receptora de forma que las partículas de este quedan retenidas en dicha superficie. Una variante a estos, son los impactadores en cascada. En estos dispositivos, el aire se introduce dentro del muestreador y atraviesa una o más superficies receptoras, de forma que las partículas quedan retenidas de manera selectiva según su tamaño.



Figura 1. Captador tipo Hirst modelo VPPS 2000 de la casa Lanzoni S.R.L., dispositivo empleado para la realización del presente trabajo. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

Por otro lado, se encuentra los captadores de impacto pasivo. Este tipo de muestreadores se suelen emplear para el estudio de partículas atmosféricas de origen no biológico, empleando membranas o materiales fibrosos para la retención de estas. Dentro de este grupo se encuentra el captador tipo Cour. Se trata de un muestreador formado por un filtro de fibras que consta de un eje vertical, en cuyo extremo se coloca un eje horizontal en forma de L capaz de rotar 360°. En el extremo corto del eje horizontal hay dos marcos captadores (uno semanal y otro mensual) donde se coloca un filtro preparado con una gasa untada con una mezcla de aceite de silicona. El otro extremo hace la función de veleta con la finalidad de que los marcos queden orientados continuamente hacia el viento.



Figura 2. Captador tipo Cour. A la derecha la veleta que orienta el dispositivo en la dirección del viento. A la izquierda los dos paneles muestreadores con sus respectivas viseras. Fuente: Laboratori d'Anàlisi Palinològiques, bajo licencia Creative Commons BY-NC-SA 4.0.

Asimismo, también destacan los captadores de impacto intermitente. Estos muestreadores están basados en el principio de rotación, como el Rotorod. Este muestreador es capaz de retener las partículas que se encuentran suspendidas en el aire debido a que en las superficies receptoras posee dos brazos capaces de girar a gran velocidad gracias a la ayuda de un motor.

Por otro lado, cabe mencionar los muestreadores ciclónicos que emplean la fuerza centrífuga para separar partículas de una corriente líquida o gaseosa. Normalmente, la fuerza centrífuga aplicada es cien veces superior a la aceleración gravitacional. Por ello, los ciclones representan uno de los métodos más eficaces para separar partículas con un diámetro superior a 2 μm . De hecho, son los instrumentos más utilizados en la industria para separar material particulado. Dentro de los captadores ciclónicos destaca el ciclón Burkard. Este dispositivo es un colector de bajo volumen, donde el aire cargado de partículas penetra de forma tangencial en la cámara de muestreo. Así, las partículas de un determinado tamaño impactan en las paredes del dispositivo, abandonando el flujo de aire y quedando finalmente depositadas en el fondo del tubo (Sierra Cabrera & Subiza Garrido-Lestache, 2011).

Finalmente, se encuentran los muestreadores centrífugos. Basándose en la fuerza centrífuga, estos dispositivos generan un torbellino de aire que produce el impacto de

las partículas retenidas en él sobre la superficie de recolección. El captador más común dentro de este grupo es el Biotest RCS (Centrifugal Air Sampler). En este equipo el aire es succionado por el rotor del muestreador, de forma que cuando este gira crea una fuerza centrífuga ocasionando así la impactación de las partículas sobre el medio de cultivo (Hernández, 2008).

De todos los muestreadores descritos en este trabajo, los más comúnmente empleados en Europa para estudios aerobiológicos son el tipo Cour y el Hirst.

3.1.5. Modelos predictivos.

Se define **fenología** como la ciencia que estudia las fases del ciclo de la vida de los seres vivos, y cómo éstos se pueden ver afectados por las variaciones estacionales e interanuales del clima. Dicho estudio no se puede llevar a cabo a través de sensores automáticos, sino que se basa en la observación periódica del entorno y de sus especies.

En el caso de las plantas, los recuentos de polen y sus eventos fenológicos, aun siendo fenómenos totalmente diversos, tienen un origen común: la floración. De este modo, la aerobiología tal y como se ha comentado anteriormente, se define como la rama de la biología que estudia las partículas biológicas transportadas de manera pasiva a través del aire, como pueden ser las bacterias, los virus, los granos de polen o las esporas de los hongos (Cecchi, 2013), incluyendo también la fenología de las plantas a través del polen presente en el aire.

Una predicción consiste en una estimación probabilística o una descripción de un posible futuro valor o condición. Con el objetivo de conseguir que una predicción sea lo más fiable posible, se recomienda que ésta a su vez esté asociada a una correcta planificación y a un buen control, y además que los resultados obtenidos vayan acompañados de una media, un rango, así como, una estimación probabilística de ese rango (Moreno Angosto, 2009).

Actualmente, la aerobiología presenta la posibilidad de establecer herramientas de pronóstico fundamentales para una gran cantidad de aplicaciones concretas. Estas herramientas pueden ser modelos de regresión, de series temporales o de inteligencia artificial capaces de generar medidas con el fin, por ejemplo, de mejorar el día a día de las personas alérgicas (García-Mozo, 2011).

Simplemente empleando modelos de regresión simple además de un gran número de variables independientes y teniendo en cuenta la variabilidad diaria de los recuentos de polen es sencillo

sacar un pronóstico acerca de las fechas de inicio, el día pico y el día final del periodo de polinización de cualquier especie de la cual se posean datos y sea interesante la realización de un estudio. Así pues, los modelos predictivos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Modelos predictivos fenológicos:** al estar basados en los resultados empíricos obtenidos a partir de observar el comportamiento de las plantas en función de las condiciones meteorológicas quedan agrupados dentro de los modelos de procesamiento. A su vez dentro de los modelos predictivos fenológicos existe otra subdivisión; por un lado, aquellos que poseen un enfoque empírico puramente estadístico, donde no son considerados los detalles mecánicos entre el medio ambiente y la fisiología de la planta y donde las temperaturas medias medidas durante un cierto tiempo previo al evento fenológico están relacionadas con las fechas de inicio del periodo de floración. Por otro lado, quedan agrupados aquellos que están basados en estudios experimentales acerca de posibles mecanismos que guardan una estrecha relación entre el medio ambiente y la fisiología de las plantas, estos modelos son conocidos también con el nombre de modelos de procesamiento (Scheifinger et al., 2013).
- **Modelos predictivos observacionales:** estos modelos son construidos sin apenas información de las fuentes, la emisión o los cálculos de difusión y relacionan los registros de polen obtenidos (variable dependiente) con una o más variables (variables independientes). Dentro de los modelos predictivos observacionales se distinguen los modelos de regresión, de series temporales o de inteligencia artificial.

Los modelos de regresión son capaces de pronosticar unos resultados futuros a partir de relaciones previas entre una variable dependiente y una o más variables independientes, como bien hemos comentado anteriormente. La finalidad de dichos modelos es conseguir con ayuda de ecuaciones matemáticas que los valores de la variable dependiente sean lo más parecido a los valores que se hubieran obtenido midiendo.

Dentro de los modelos de series temporales, el método clásico para el análisis y pronóstico de los niveles de polen es el método de Box-Jenkins (Box et al., 2016). Este modelo se basa en el refinamiento sucesivo del modelo mediante el ajuste de diferentes componentes determinísticos y estocásticos de la variabilidad.

3.2. La familia Amaranthaceae.

Las angiospermas, comúnmente conocidas como plantas con flores, forman el mayor número de plantas terrestres. Se tratan de plantas cormofitas, lo que significa que poseen tejidos y órganos perfectamente diferenciados.

Dentro de las angiospermas se encuentra el orden de Caryophyllales. Se trata de un orden muy heterogéneo, pues entre los taxones y especies más representativos quedan incluidos cactus, diversas plantas carnívoras, amarantos, acelgas, espinacas y buganvillas. Bajo este orden se hallan 33 familias entre las que se encuentra las familias Chenopodiaceae y Amaranthaceae, siendo estas últimas objeto de estudio del presente trabajo.

A pesar de que los botánicos consideren las Chenopodiaceae y Amaranthaceae como dos familias diferentes. En la actualidad y basándose en estudio filogenéticos, los taxonomistas clasifican a la Chenopodiaceae como una subfamilia de la Amaranthaceae (Elvira-Rendueles et al., 2017). En la literatura se suelen tratar de forma conjunta por el hecho de que comparten diversas características botánicas, además de un polen similar a visión óptica. Por lo que en el presente trabajo se tratará como una única familia, Amaranthaceae (Alfaya Arias & Marqués Amat, 2002).

La mayoría de los miembros de la familia Amaranthaceae son plantas herbáceas y arbustos, anuales y perennes. Se desarrollan en suelos salados y ambientes áridos de los cuales extraen altas concentraciones de nitrógeno. Son por ello conocidas como plantas xerofitas puesto que son capaces de soportar grandes sequías y se adaptan perfectamente a esa escasez de agua. Asimismo, la mayor parte de las especies de esta familia conjunta presenta un alto contenido en sodio. De ahí a que, en sus orígenes las cenizas de las mismas se emplearan para obtener sosa y vidrios sódicos (Villalba et al., 2014).

La familia Amaranthaceae comprende 65 géneros que incluyen 2500 especies diversas. Siendo estas tanto herbáceas como sufruticosas, anuales o perennes, la mayoría de ellas son hierbas o subarbustos con unos cuantos árboles y trepadoras. Los tallos pueden ser erectos o postrados y las hojas simples, alternas u opuestas, o sin estípulas. Como hemos comentado anteriormente, se suelen desarrollar en climas áridos o semiáridos y áreas calurosas, así como, en hábitat especiales como áreas halófitas, marismas, formaciones de yeso o similares (Castroviejo et al., 2017).

Algunas de estas especies destacan por su interés alimentario como la *Spinacia oleracea*, comúnmente conocida como espinaca, el *Amaranthus gangeticus*, conocido como tampala, que presenta hojas comestibles y de gran tamaño y la *Chenopodium quinoa*, la quinoa. Otras son cultivadas por su interés ornamental como el *Amaranthus caudatus* que presenta inflorescencias rojas y péndulas. Asimismo, la especie más abundante en Europa y que presenta un gran interés alergológico dentro de la familia Amaranthaceae es la *Amaranthus retroflexus*, conocida comúnmente como amaranto sanguinario (Elvira-Rendueles et al., 2017; Villalba et al., 2014).



Figura 3. *Amaranthus caudatus*. En la imagen se pueden apreciar perfectamente las inflorescencias rojas y péndulas. Fuente: Alamy, web de fotografías.

Como hemos comentado anteriormente, estas especies son capaces de adaptarse a ambientes desfavorables y a climas muy secos. Esto es debido a que poseen un mecanismo de dispersión del fruto que involucra a la planta entera, siendo cada planta capaz de producir una cantidad muy abundante de semillas, unas 50.000. Además, algunas de las especies tienen la capacidad de tolerar determinadas toxinas, como el arsénico, que se encuentran en el suelo sin afectar en ningún caso a su crecimiento. Esto hace que algunas de estas especies se empleen como fijadores en suelos altamente contaminados (Villalba et al., 2014).

Dentro de las 2500 especies que incluye la familia Amaranthaceae, 85 se encuentran en la Península Ibérica. A continuación, presentaremos algunas de las especies más características dentro de la Región de Murcia, analizaremos la fuente de polen de esta familia y estudiaremos el potencial alérgico que este taxón presenta.

3.2.1. Presencia de la familia Amaranthaceae en la Región de Murcia.

De las 85 especies de la familia Amaranthaceae presentes en la Península Ibérica, 58 se pueden encontrar en la Región de Murcia. Entre estas especies, destacan por su importancia clínica y botánica (Elvira-Rendueles et al., 2017):

- **Género *Salsola*:** *S. oppositifolia* Desf., *S. genistoides* Juss. ex Poir., *S. kali* L., y *S. soda* L. Estas especies suelen abundar en suelos arcillosos, arenosos, alcalinos, marismas o suelos salobres.
- **Género *Chenopodium*:** *Ch. murale* L. y *Ch. album* L., suelen crecer en zonas rurales, campos, bordes de caminos o en muros abandonados.
- **Género *Atriplex*:** *A. halimus* L. y *A. glauca* L., estas especies se desarrollan en suelos salobres, tanto arenosos como arcillosos.
- **Género *Salicornia*:** *S. ramosissima* Woods. Esta especie suele crecer en marismas, costas, o lagunas salinas.
- **Género *Halimione*:** *H. portulacoides* (L.) Aellen, se halla en pantanos y tierras costeras.
- **Género *Amaranthus*:** *A. retroflexus* L., *A. muricatus* (Moq.) Hieron. y *A. viridis* L., suelen desarrollarse en campos de cultivo, en arcenes de carretera, en caminos rurales o en áreas nitrófilas.

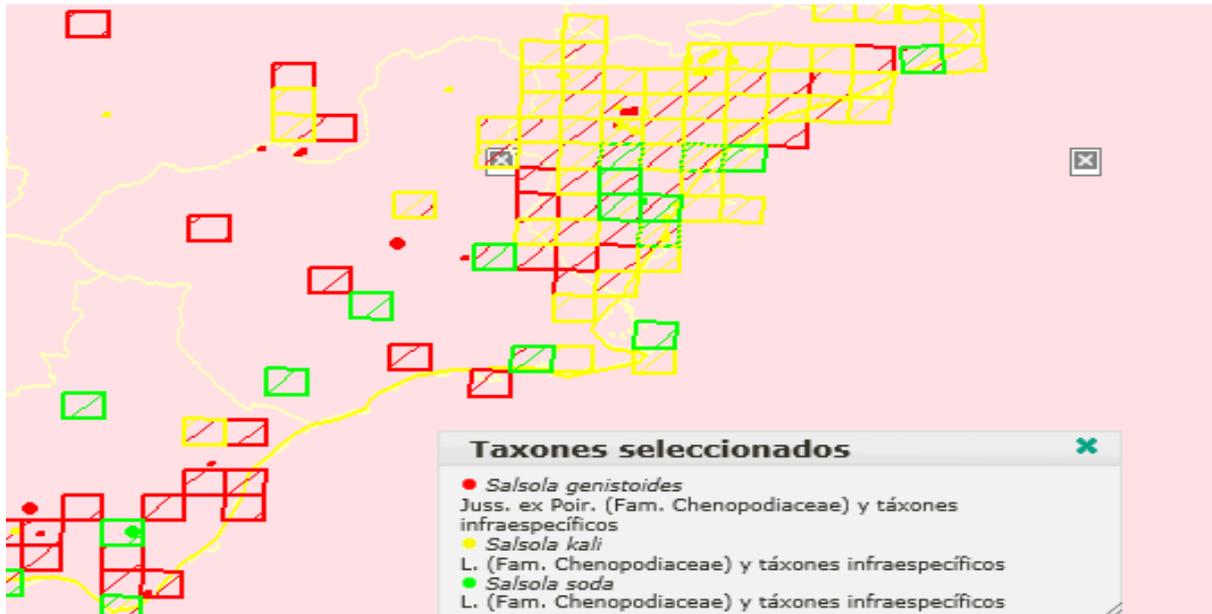


Figura 4. Distribución de algunas de las especies del género *Salsola* de la familia Amaranthaceae en la Región de Murcia. En **rojo** *Salsola genistoides* Juss. ex Poir., en **verde** *Salsola soda* L. y en **amarillo** *Salsola kali* L. (Anthos. Sistema de información sobre las plantas de España, 2020).

Desde el punto de vista clínico, los géneros más relevantes de la familia Amaranthaceae en el área mediterránea son *Amaranthus*, *Salsola* y *Chenopodium*. El polen de la *Salsola kali* L., conocido comúnmente como barrilla borde o almajo de jaboneros, y el de *Chenopodium album* L., conocido como cenizo, se consideran los pólenes más representativos de la familia en términos de incidencia alérgica en España. Hasta la fecha, se han descritos y analizado los principales alérgenos de *S. kali*, *Ch. album* y *A. retroflexus*, existiendo entre ellos, en general, un alto grado de reactividad cruzada (Elvira-Rendueles et al., 2017; Villalba et al., 2014)

- ***Chenopodium album***: como hemos comentado anteriormente, el polen de cenizo es uno de los pólenes alérgicos mejor caracterizados de la familia Amaranthaceae. Se trata de una planta perenne capaz de desarrollarse en todo tipo de suelos, aunque especialmente en zonas áridas y suelos salobres. Su periodo principal de polinización tiene lugar de junio a septiembre (Villalba et al., 2014).



Figura 5. El polen de *Chenopodium album* es una de las principales causas de sensibilización alérgica.

Asimismo, varios estudios han demostrado la existencia de un alto grado de reactividad cruzada con otros pólenes relacionados o no relacionados filogenéticamente. De forma que actualmente los tres alérgenos de reactividad cruzada hallados en el polen de *Chenopodium album* son Che a 1 (Ole e 1-like), Che a 2 (profilina) y Che a 3 (polcalcina). Estos tres alérgenos han sido encontrados en la levadura *Pichia pastoris* y en la bacteria *Escherichia coli* (Villalba et al., 2014).

- ***Salsola kali***: conocida comúnmente como cardo ruso, barrilla borde o almajo de jaboneros. Esta especie al igual que la mayoría de las malezas de la familia Amaranthaceae, es una planta que se desarrolla en suelos salobres o arenosos y zonas muy secas. En España, es muy común en la zona de Andalucía, Murcia, Levante y Aragón. Además, la sensibilización a esta especie en algunas zonas del sureste y centro de España es casi tan frecuente como la sensibilización al olivo o a las gramíneas (Villalba et al., 2014).



Figura 6. *Salsola kali*. Fuente: Pablo Alberto Salguero Quiles, (Getafe Madrid 2004).

Al igual que hemos comentado anteriormente con la especie *Chenopodium album*, se ha detectado un alto grado de reactividad cruzada entre el polen de la *Salsola kali* y los de otras especies de la familia Amaranthaceae e incluso de familias no relacionadas. No obstante, a pesar del complejo alergograma del extracto proteico de este polen, sólo se han identificado y caracterizado seis de sus alérgenos y cuatro de ellos se han producido como proteínas recombinantes. Estos alérgenos son Sal k 1, Sal k 2, Sal k 3, Sal k 4, Sal k 5 y Sal k 6.

Asimismo, dentro del género *Salsola* existen varias especies, a parte de la *Salsola kali*, que producen también sensibilización alérgica, como son *Salsola pestifer*, *Salsola vermiculata* y *Salsola oppositifolia* (Villalba et al., 2014).

- ***Amaranthus retroflexus***: el género *Amaranthus* comprende unas 60 especies, las cuales poseen inflorescencias y follaje en una amplia gama de colores. Este género está extendido por todo el mundo en forma de malezas perennes de vida corta. La mayoría de las especies son arbustos, algunas de las especies destacan por su interés alimentario pues se tratan de hortalizas o cereales y otras se cultivan por su interés ornamental. Dentro del género *Amaranthus*, los pólenes de *A. retroflexus*, *A. viridis* y *A. spinosis* han sido descritos como alergénicos. Sin embargo, la única especie de la que se han podido caracterizar proteínas alérgicas es *A. retroflexus* (Tehrani et al., 2011).



Figura 7. *Amaranthus retroflexus*. Fuente: pflanzenbestimmung.info.

Esta maleza es uno de los principales desencadenantes de reacciones alérgicas en Irán, donde alrededor del 69% de los pacientes alérgicos están sensibilizados a este tipo de polen (Villalba et al., 2014). Asimismo, varios estudios han demostrado la existencia de un alto grado de reactividad cruzada por parte de *Amaranthus retroflexus* con varias especies de la familia Amaranthaceae empleando técnicas inmunológicas siendo la profilina Ama r 2 el único alérgeno de polen identificado (Tehrani et al., 2011).

3.2.2. Amaranthaceae como fuente de polen.

El polen de la familia Amaranthaceae posee una forma esférica con un tamaño pequeño-mediano y un diámetro entre los 20-29 μm . Es pantoporado, es decir, posee numerosos poros repartidos por toda la superficie. Estos poros son no polares y radialmente simétricos, lo que conlleva que a visión óptica este polen parezca una pelota de golf. El número de poros distribuidos sobre la superficie puede variar de 30 a 60 y cada poro presenta un diámetro entre 2-3 μm (Elvira-Rendueles et al., 2017).

En cuanto a la exina, tiene un aspecto ondulado con granulaciones finas y posee un grosor de unos 2-3 μm .



Figura 8. Polen de la familia Amaranthaceae. La imagen de la izquierda está hecha por la autora desde el microscopio en pleno recuento. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

La familia Amaranthaceae posee dos periodos principales de polinización, el primero tiene lugar entre los meses de enero a junio, teniendo su pico de polinización en abril-mayo y el segundo periodo se da entre los meses de junio a noviembre, teniendo su pico en agosto-septiembre. No obstante, la mayoría de las especies que habitan en España presentan los picos de floración entre los meses de agosto y septiembre (Alfaya Arias & Marqués Amat, 2002).

Los granos de polen pueden transportarse a largas distancias. Sin embargo, la cantidad de polen recogido en los puntos de muestreo aerobiológico depende en su gran mayoría de la cantidad de biomasa vegetal cercana, reflejando el contenido cualitativo y cuantitativo de las características de áreas bioclimáticas modificadas por factores antropogénicos (Elvira-Rendueles et al., 2017).

Asimismo, la producción de los granos de polen queda regulada por factores intrínsecos y extrínsecos como son la temperatura y las precipitaciones. La ciudad de estudio del presente trabajo es una de las zonas más secas de Europa y la familia Amaranthaceae resiste perfectamente a este tipo de condiciones, lo que genera que muchos de sus géneros consideren esta área como un hábitat ideal para su desarrollo (Elvira-Rendueles et al., 2017). De hecho, en varios estudios se ha observado que los recuentos de polen se ven incrementados en los años donde ha habido menor cantidad de precipitaciones, es decir, en los años más secos (Alfaya Arias & Marqués Amat, 2002).

3.2.3. Potencial alergénico del polen de la Amaranthaceae.

El polen de la familia Amaranthaceae fue cuestionado como productor de patologías alérgicas debido a las bajas concentraciones que se alcanzan en la atmósfera. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que la concentración de este en el aire es suficiente para producir una alta sensibilización en la piel (Elvira-Rendueles et al., 2017), pues se ha probado que puede provocar síntomas en pacientes sensibles incluso con concentraciones bajas entre 10-15 granos/m³.

La presencia de este tipo polínico se está expandiendo a otras áreas como consecuencia de los efectos del calentamiento global y el cambio climático que está influyendo en la extensión de la desertificación fundamentalmente en regiones del sur mediterráneo. Este fenómeno es debido a la facilidad que poseen estas plantas para adaptarse al stress hídrico (Elvira-Rendueles et al., 2017).

Varios estudios clínicos evidencian su potencial alergénico que lo colocan entre las 6 principales causas de alergia en España, especialmente en el sureste de la Península Ibérica. En la ciudad de Elche se llevó a cabo un estudio donde se realizaron pruebas cutáneas a pacientes con rinitis y asma bronquial obteniendo que el 51% de los pacientes estaban sensibilizados a este tipo de taxón. Por otro lado, en Logroño el género *Chenopodium* constituye la segunda causa de sensibilización alérgica, con un 71% de pruebas cutáneas positivas en pacientes con rinitis o asma estacional (Alfaya Arias & Marqués Amat, 2002).

En países desérticos como Arabia Saudí, Irán o Kuwait este tipo de taxón es una fuente importante de sensibilización debido a las condiciones climáticas a las que está expuesto. Un estudio realizado en los Emiratos Árabes obtuvo un 31% de sensibilizaciones a *Chenopodium album* en niños con síntomas respiratorios y en Arabia Saudí, un 53% de los pacientes atópicos dieron positivo a la sensibilización de este tipo de taxón (Alfaya Arias & Marqués Amat, 2002).

Al-Dowaisan et al. (2004) presentan los resultados de un estudio que llevaron a cabo en Kuwait con el objetivo de analizar la sensibilización alérgica provocada por diversos tipos de polen, entre ellos, el polen de Amaranthaceae. En el estudio participaron 451 pacientes, de los cuales 200 tenían rinitis alérgica aislada, 212 rinitis alérgica y 39 poseían únicamente asma. Los resultados obtenidos confirmaron la sensibilización frecuente al *Chenopodium* por parte de la mayoría de los pacientes y algunos de ellos reaccionaban más frecuente y fuertemente al género *Salsola*, confirmando la importancia clínica de este taxón.

En 2011 Tehrani y colaboradores incluyen un nuevo alérgeno de *Amaranthus retroflexus*, Ama r 2 en pruebas cutáneas de sensibilización a 12 pacientes con alergia respiratoria en Irán en la Clínica de Alergia Ambulatoria de Mashhad. Sus resultados fueron que todos los pacientes se mostraron positivos al extracto de polen de *A. retroflexus*, así como, al de *Chenopodium album* y al de la *Salsola kali*. En el trabajo se especifica que la profilina Ama r 2 es el único alérgeno de polen de *Amaranthus retroflexus* identificado, por el momento (Tehrani et al., 2011).

Estudios clínicos y aerobiológicos realizados en la Región de Murcia y Almería ponen en evidencia que el polen de Amaranthaceae es el segundo, después del polen del olivo, en causar polinosis en la población alérgica estudiada. Se observa una mayor sensibilización a *Salsola* que a *Chenopodium*. Los estudios realizados en la Región de Murcia indican que el 61% de los pacientes con polinosis, estaban también sensibilizados a la Amaranthaceae (Elvira-Rendueles et al., 2017).

4. Materiales y métodos.

4.1. Ciudad de estudio.

Cartagena es una ciudad de España situada en la costa mediterránea, más concretamente al sureste de la Península Ibérica y perteneciente a la comunidad autónoma de la Región de Murcia. El municipio de Cartagena abarca unos 558,08 km² y cuenta con una población de 214.802 habitantes (INE, 2019).

El término municipal está delimitado al norte por San Javier, Los Alcázares, Murcia y Torre Pacheco; al sur por el mar Mediterráneo; al este por La Unión y al oeste por Fuente Álamo y Mazarrón. El casco histórico de la ciudad se encuentra rodeado por cinco pequeñas colinas, conocidas con los nombres de Molinete, Monte Sacro, Monte de San José, Despeñaperros y Monte de la Concepción.

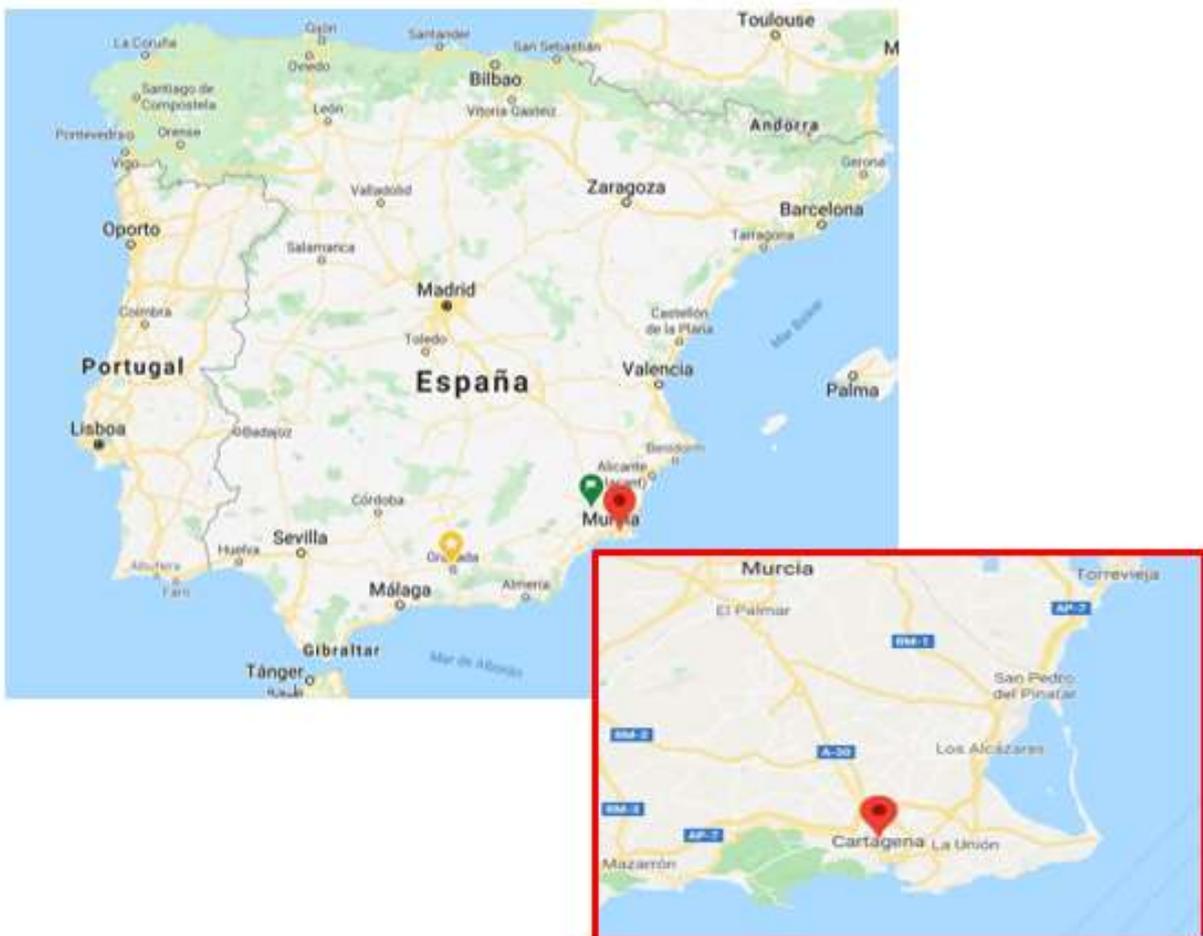


Figura 9. Situación geográfica de la ciudad de estudio. Fuente: Google Maps.

El clima de la zona es un clima mediterráneo de tipo árido o subárido, donde predominan generalmente los días soleados con vientos débiles o en calma. Asimismo, este clima suele venir acompañado de situaciones anticiclónicas y de estabilidad atmosférica lo que genera un ambiente agradable en el municipio. Sin embargo, estos fenómenos evitan la renovación del aire presente en la atmósfera, lo que supone que los episodios de contaminación se vean agravados. Además, debido al efecto barrera que generan las sierras litorales de las cordilleras Béticas sobre la ciudad de Cartagena, los vientos en el municipio se encuentran completamente dominados por las brisas; de forma que cuando la dirección del viento proviene del sureste, se genera un viento débil con un porcentaje de humedad relativa bastante bajo. Por el contrario, cuando el viento proviene del noreste suele ocasionar lluvias. En cuanto a las precipitaciones anuales, no son homogéneas y la mayor parte de las lluvias se suelen concentrar en pocos días, alrededor de los meses de otoño y normalmente de manera torrencial, siendo los valores típicos entre 136 y 400 milímetros. Finalmente, en cuanto a las temperaturas, al ser un municipio próximo a la costa, las temperaturas son bastante suaves con una media anual de unos 20 °C; siendo el mes más frío, enero con una temperatura media de 13.7 °C, y el mes más caluroso, agosto con una temperatura media de 28.7 °C (Conesa García, 1990).

4.2. Captación del polen.

Se define el **proceso de captación de polen** como el proceso que tiene por finalidad la retención del polen del bioaerosol atmosférico con el objetivo de poder realizar posteriormente su conteo con el microscopio. En los puntos que vienen a continuación, se presentan la instrumentación y los métodos empleados para la realización del presente trabajo. Para la explicación de los apartados 4.2, 4.3 y 4.4 se ha tomado como referencia el Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología, así como, su página web (Galán Soldevilla et al., 2007; *Red Española de Aerobiología*, s. f.).

4.2.1. Dispositivo de captación.

En Cartagena para la captación de los granos de polen del bioaerosol atmosférico se emplea un equipo tipo Hirst, un captador volumétrico tipo Hirst modelo VPPS 2000 de la casa Lanzoni S.R.L. Estos dispositivos son los sistemas de muestreo empleados por todos los grupos de investigación pertenecientes a la red internacional European Aeroallergen Network, dentro de la cual se encuentra integrada la Red Española de Aerobiología y a través de ella el grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

Entre las ventajas de emplear este tipo de captador destacan la robustez del aparato, pues al tener que estar ubicado en el exterior puede estar sometido a inclemencias meteorológicas. También destaca su eficacia, la simplicidad de su manejo y los mínimos requerimientos que necesitan para su funcionamiento de forma que, una vez elegido el sitio de ubicación, simplemente necesita una toma de corriente permanente, un sistema de anclaje a la superficie, una calibración semanal y un mantenimiento adecuado.

Asimismo, este tipo de muestreador permite un registro continuo de la atmósfera con un porcentaje de eficiencia muy elevado, pues es capaz de aspirar aire con una tasa similar a la respiración humana, 10 L/min. Así, este captador proporciona datos homologables independientemente de las características geográficas y climáticas de la zona de muestreo en cuestión. Además, ofrece datos semanales a partir de los cuales se extraen los datos diarios permitiendo incluso, hacer aproximaciones horarias.

4.2.2. Dispositivo y principio de captación.

El captador tipo Hirst se basa en el principio de impacto activo (Hirst, 1952). Este principio consiste en el choque de una corriente de aire contra una superficie de captación. Para ello, el captador consta básicamente de tres unidades: bomba de vacío, unidad de impacto y veleta.

- **Bomba de vacío:** con ayuda de una bomba de succión y gracias al vacío que esta genera, el aire es forzado a entrar al interior del dispositivo a través de una ranura. El caudal de succión de la bomba ajustado para poder realizar el análisis de partículas aerotransportadas en el aire es de 10 L/min, similar al volumen de inhalación de aire por el pulmón humano. Una vez en el interior, el aire impacta contra una superficie conocida con el nombre de unidad de impacto, cuya función es retener las partículas que posean un determinado diámetro.
- **Unidad de impacto:** esta consta de un orificio de entrada de 14 x 2 mm y de un soporte circular, tambor, sobre el que se quedan adheridas las partículas. Este soporte circular está conectado a un reloj que tiene un mecanismo de giro lo que permite el movimiento del soporte a razón de 2 milímetros cada hora. De esta forma, se puede realizar el muestreo continuo de la atmósfera y obtener datos tanto diarios como horarios. El soporte circular está compuesto por una cinta transparente impregnada de una sustancia adhesiva capaz de retener las partículas aerovagantes. Esta cinta transparente está fabricada con un tipo de polietileno, cuyo nombre comercial es Melinex y el

adhesivo que la impregna está compuesto por una disolución de silicona en tetracloruro de carbono. De esta forma, las partículas que son succionadas desde el exterior a cierta velocidad pueden quedar adheridas y se minimiza así los posibles efectos de rebote. Bajo estas condiciones, únicamente quedarán adheridas en dicha superficie las partículas que posean un diámetro entre 2-200 μm . De forma que las partículas más grandes caerán por su propio peso y las más pequeñas chocarán con la cinta sin llegar a impactar.

- **Veleta:** la veleta se encuentra adosada al exterior de la estructura metálica que protege la unidad de impacto. Su función es mantener el orificio de entrada en la dirección de los vientos dominantes, de forma que aumenta la eficacia de captación de las partículas aerotransportadas por las corrientes de aire.

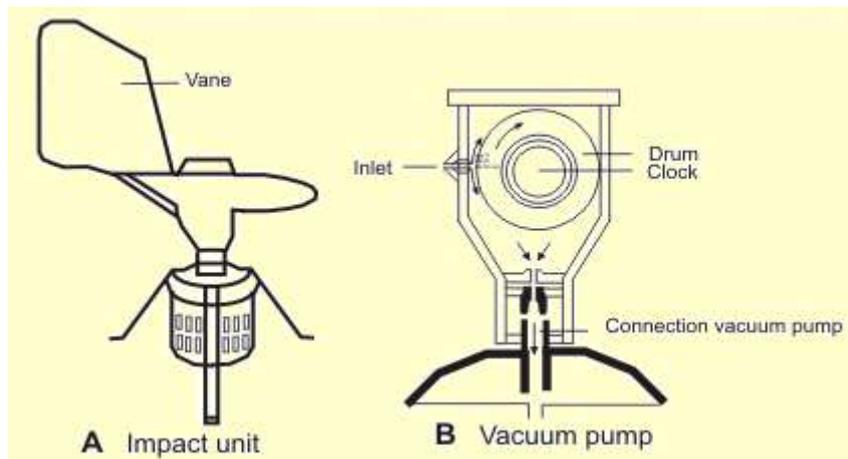


Figura 10. A: Aparato volumétrico tipo Hirst; B: Unidad de impacto (Hirst, 1952).

4.2.3. Ubicación del captador.

La ubicación del captador es un parámetro fundamental puesto que determina si la muestra del bioaerosol extraído es representativa o no de la zona que se pretenda muestrear.

En nuestro caso, el captador empleado para la realización del presente trabajo se encuentra instalado a 10 metros de altura, en una azotea de la estación de Renfe de Cartagena (37°36'19.3"N 0°58'29.5"W). El área periférica está totalmente urbanizada, salvo al este del captador, y prácticamente libre de parques y jardines.

Con el objetivo de conseguir mitigar los errores que se pudieran generar por una mala ubicación del captador, la Red Española de Aerobiología emitió una serie de requisitos necesarios que debían cumplir los captadores a la hora de ubicarlos. Estas normas de ubicación son (Galán Soldevilla et al., 2007):

1. “El captador se debe colocar sobre una superficie horizontal, plana y de fácil acceso.
2. Evitar que los edificios colindantes hagan de pantalla e impidan el flujo libre del aire. Para ello, se recomienda ubicar el captador encima de un edificio a una altura que depende de la ciudad, así como, de la altura de los edificios próximos al emplazamiento seleccionado.
3. Es aconsejable ubicar el muestreador a cierta elevación sobre la superficie de instalación, para evitar asimismo los efectos del rozamiento de las capas de aire. Esto puede conseguirse con una torreta de ensamblaje que lo eleva sobre la superficie elegida. Algunos estudios revelan la existencia de turbulencias a nivel del suelo provocadas por el rozamiento de las capas inferiores del aire con la superficie de este.
4. Debe evitarse en lo posible la proximidad del captador a fuentes de emisión masiva de partículas, tanto fijas como móviles, de material biológico y no biológico. Puesto que la existencia de poblaciones vegetales monoespecíficas en el entorno inmediato al de ubicación del equipo de muestreo propiciará la sobrerrepresentación de algún tipo polínico sobre otros, lo que origina datos distorsionados y no representativos del radio de cobertura geográfica del muestreador. Asimismo, la proximidad a fuentes de material no biológico tanto fijas como móviles puede, por otro lado, favorecer una presencia masiva de residuos en las muestras, lo que incrementa de forma considerable la dificultad en la identificación.
5. Evitar instalar el aparato cerca del borde del edificio para eliminar en lo posible las turbulencias generadas por el choque del viento contra el obstáculo”.

En el año 2019 se ha publicado la norma EN 18686, “Ambient air – Sampling and analysis of airborne pollen grains and fungal spores for networks related to allergy – Volumetric Hirst method” que ha normalizado a nivel europeo la metodología de muestreo y análisis. Recientemente ha sido publicada en España como UNE-EN 16868:2020 “Aire ambiente.

Muestreo y análisis de granos de polen y esporas de hongos transportados por el aire para las redes relacionadas con la alergia. Método volumétrico de Hirst”.

4.2.4. Puesta en marcha del captador.

Una vez que se ha seleccionado la ubicación óptima del captador, hay que anclar el aparato a la superficie. Este tiene que ser firme debido a que puede estar expuesto a condiciones meteorológicas nefastas como puede ser, por ejemplo, velocidades de viento muy elevadas.

Tras la instalación y fijación del muestreador, simplemente es necesario conectarlo a una toma de corriente eléctrica de forma permanente, debido a que el mecanismo de succión que posee el equipo en su interior necesita un suministro eléctrico continuo. Además, es apropiado proteger el cable de conexión con alguna cubierta aislante para evitar cualquier tipo de fallo eléctrico.

En el momento en que el cable de conexión sea enchufado a la fuente de alimentación eléctrica, la bomba de succión comenzará a funcionar y el captador empezará a tomar medidas.

4.2.5. Preparación del tambor para la captación.

El tambor se dispone sobre un soporte giratorio (Figura 11) para proceder a la instalación de una cinta de Melinex impregnada con un adhesivo que permitirá recoger las partículas aerovagantes durante el muestreo semanal. El adhesivo usado es el indicado en el protocolo de trabajo de la REA, y se trata de un fluido de silicona de la marca LANZONI S.R.L. sustancia compuesto por una disolución de silicona pura diluida en tetracloruro de carbono. Una de sus principales ventajas es que sus propiedades físicas permanecen inalterables en un rango de temperaturas comprendido entre los -20 y los +150°C, lo que lo hace adecuado para cualquier tipo de zona geográfica.

Según el Manual de la REA, el adhesivo empleado para la retención de los granos de polen debe de cumplir las siguientes características (Galán Soldevilla et al., 2007):

1. Debe ser insoluble en agua.
2. No debe secarse ni evaporarse.
3. El grosor de la película extendida debe permanecer inalterable en el tiempo, no cambiar con la temperatura ni con la humedad.

4. Debe tener buena capacidad de retención y evitar el rebote de las partículas impactadas.
5. No debe permitir el crecimiento de hongos ni bacterias.
6. No debe ser opaco bajo la luz del microscopio.
7. Debe ser fácil de utilizar.

El adhesivo se extiende de forma uniforme sobre la cinta de Melinex con ayuda de una brocha que posee un diámetro similar al de la cinta. Esta acción es necesaria realizarla bajo la campana de gases debido al carácter tóxico y volátil que posee el tetracloruro de carbono.

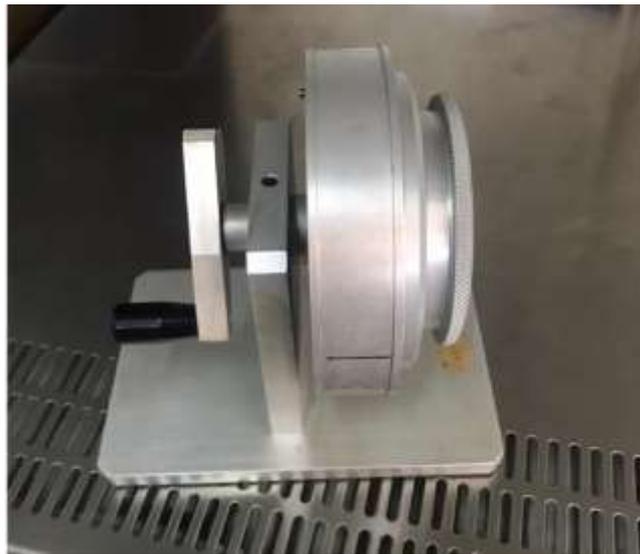


Figura 11. Cinta de Melinex dispuesta sobre el tambor para la posterior aplicación del fluido de silicona. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

4.2.6. Cambio del tambor y transporte de la muestra.

Tras haber preparado el tambor con la cinta impregnada del adhesivo, este se transporta hasta el lugar donde se encuentra ubicado el captador. Con el objetivo de eliminar la posibilidad de contaminación durante el transporte, el tambor se lleva protegido en un recipiente metálico conocido con el nombre de porta-tambor, herméticamente cerrado y minimizando los posibles riesgos de roce con la cinta de Melinex.

Justo antes de cada cambio del tambor se realiza un pequeño protocolo de mantenimiento para comprobar que el captador no ha sufrido ninguna anomalía a lo largo de la semana. Una vez concluidas todas las comprobaciones, se cambia el tambor siguiendo el siguiente orden:

1. Fijar la veleta para que se pueda proceder sin problema, así también se evita que ésta pueda golpear al operario y provocar un accidente.
2. Apagar la bomba de succión y comprobar si el volumen de succión es el adecuado, 10 L/min. Si no es así, volverlo a ajustar.
3. Sacar el tambor antiguo.
4. Poner el tambor nuevo y dar cuerda al reloj mecánico del muestreador para que vaya girando a lo largo de la semana. Es importante colocar el tambor en la posición indicada como inicio de muestreo, ya que así se podrá conocer la secuencia en la toma de muestras durante todo el periodo muestreado, correspondiendo al primer día la longitud de la cinta inmediatamente posterior a las bandas indicadoras del inicio de muestreo (Figura 12).
5. Liberar la veleta y encender la bomba de succión de nuevo para continuar con la toma de datos.



Figura 12. Tambor del captador tipo Hirst. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

4.2.7. Acondicionamiento de las muestras.

Tras haber finalizado el periodo semanal de muestreo, se inicia de nuevo el montaje del tambor en el laboratorio, traslado al punto donde se encuentra ubicado el captador y sustitución del tambor. El tambor correspondiente al muestreo realizado con anterioridad se traslada al laboratorio en el porta-tambor en las mismas condiciones comentadas anteriormente. Una vez en el laboratorio, comienza el proceso de preparación de las muestras, evitando en todo momento la contaminación de este.

Para el acondicionamiento de las muestras es necesario:

- **Pliego de papel secante:** su función es proteger la superficie donde se vaya a realizar el montaje de las muestras, absorber el líquido que pueda derramarse y aumentar el contraste entre la preparación a montar y la superficie.
- **Regla para el montaje:** se trata de una regla de metacrilato transparente de más de 1 centímetro de grosor y con marcas establecidas a modo de hendiduras cada 48 milímetros (Figura 13). Estas hendiduras facilitan la división de la cinta Melinex, que se dispone sobre la regla, en fragmentos de 48 milímetros correspondientes a 24 horas de muestreo continuado.

La cinta de Melinex se fija por ambos extremos a la regla empleando una porción de cinta adhesiva que nunca debe alcanzar la superficie impactada. Normalmente, la regla lleva incorporada una goma de succión, la cual va conectada al grifo de agua y permite la fijación de la cinta a la regla mediante vacío de aire para facilitar los cortes.



Figura 13. Regla de metacrilato milimetrada que ayuda al corte de la cinta de Melinex. 48 mm representan un día de muestreo. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

- **Porta objetos para microscopio:** previamente a la realización de los cortes de la cinta de Melinex en fragmentos, se disponen sobre el papel absorbente tantos portaobjetos como fragmentos de 48 milímetros haya. De forma que contenga el total de la cinta impactada, hasta un máximo de 7 días que corresponde a un muestreo semanal completo.
- **Preparación de la glicerogelatina:** para la elaboración de un lote de glicerogelatina teñida con fucsina es necesario 50 ml de glicerina, 7 g de gelatina y 1 g de fenol junto

con una cantidad mínima de fucsina básica. Una vez que tenemos la solución, se diluye con 42 ml de agua destilada y se mezcla todo con un agitador eléctrico bajo la campana de extracción de gases. Esta composición ha sido seleccionada porque cumple con las propiedades exigidas por la Red Española de Aerobiología y porque es compatible con la disolución de silicona empleada como sustancia adhesiva en la cinta de Melinex. Previamente a utilizar la glicerogelatina y glicerogelatina teñida con fucsina, es necesario calentarlas con ayuda de una placa calefactora ya que estas son sólidas a temperatura ambiente.

- **Montaje de las muestras diarias:** Una vez en el laboratorio, separamos la cinta de Melinex del tambor con cuidado de no tocarla ni mancharla y se coloca encima de la regla de metacrilato. La cinta se corta en porciones diarias de 48 mm que corresponde a 24 horas de cada día del muestreo semanal. Cada portaobjetos se identifica con una etiqueta adhesiva donde se anota la estación a la que pertenece y la fecha del día; posteriormente, cada fracción diaria se deposita usando unas pinzas sobre su portaobjetos con unas gotas de glicerogelatina. A continuación, se añaden unas gotas de glicerogelatina teñida de fucsina en el cubreobjetos y se deposita sobre la cinta para teñir los granos de polen y así facilitar su visualización al microscopio para el posterior conteo. Una vez añadidas las gotas de glicerogelatina teñida con fucsina, se pone el cubreobjetos y se presiona ligeramente para eliminar las posibles burbujas que queden en la glicerogelatina. Para finalizar el acondicionamiento de las muestras, se recomiendan que se sellen por el borde del cubreobjetos con una sustancia que sea estable en el tiempo. Para ello, se empleó laca-esmalte transparente debido a su bajo coste, rapidez de secado y fácil adquisición. Una vez montadas las muestras, es conveniente esperar un tiempo antes de observarlas al microscopio (Figura 14). De esta forma la glicerogelatina actuará como adhesivo entre la cinta y el cubreobjetos, favorecerá que los distintos tipos polínicos se colorean y hará que la identificación al microscopio sea menos costosa. Una vez leídas al microscopio se limpian con cuidado y se archivan en contenedores específicos para cada punto de muestreo, denominados combi-box, estas muestras bien almacenadas duran mucho tiempo.



Figura 14. Conjunto de 8 portaobjetos con muestras diarias preparadas para su lectura al microscopio óptico. Fuente: Grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental ETSII-UPCT.

4.2.8. Mantenimiento del captador.

Según lo indicado en el Manual de calidad de la REA (Galán Soldevilla et al., 2007) para un adecuado mantenimiento del captador se aconseja que cuando se procede al cambio semanal del tambor se siga un pequeño protocolo de revisión que incluye:

1. “Comprobar que el flujo de la bomba de succión es de 10 L/min y si no es así, se vuelve a ajustar.
2. Medir el caudal de salida del aire, se anota su valor y las posibles incidencias.
3. Comprobar que el orificio de entrada del aire al equipo esté limpio y no esté obstruido. En caso negativo, con ayuda de un pincel untado en alcohol o acetona se intenta eliminar cualquier tipo de suciedad.
4. Entre la superficie colectora y el lado interno del orificio de entrada del aire debe haber una distancia de $0,7 \pm 0,05$ mm. Esta debe de mantenerse constante durante todo el periodo de muestreo.
5. Es necesario comprobar que el anclaje del equipo es totalmente seguro. Para ello, el cuerpo debe estar adherido a la superficie que lo sustenta firmemente, de forma que el orificio de entrada esté situado a una altura de al menos un metro.
6. Tras haber hecho el cambio de tambor y haber vuelto a poner en marcha el equipo, es necesario comprobar que la veleta funciona correctamente.
7. En el caso de que varíen las condiciones del entorno o se cambie de emplazamiento es necesario comprobar el emplazamiento del captador”.

4.3. Identificación y recuento de los granos de polen.

El análisis de las muestras se realiza a microscopía óptica a 50x10 aumentos. En el presente trabajo se empleó el microscopio Olympus modelo BH-3, con óptica plan acromática para llevar a cabo el conteo y el reconocimiento de los granos de polen, pero en un principio cualquier equipo microscópico es adecuado si ofrece una buena imagen y resolución.

Normalmente, la observación microscópica cuantitativa se realiza con cuatro barridos horizontales con el objetivo de inmersión 50x y el ocular 10x y se emplea el objetivo de 100x, ambos de inmersión, para poder llevar a cabo la identificación completa de aquellos tipos polínicos que lo requieran.

El análisis microscópico de las muestras aerobiológicas constituye un proceso fundamental en la obtención de los resultados. Esta etapa es una de la que más tiempo consume debido a la exigencia que conlleva, pues para llevarla a cabo correctamente se requiere de personal con una formación intensa en el reconocimiento de los taxones polínicos durante varios años.

Asimismo, la calidad de la imagen que nos proporcione el microscopio es esencial para la identificación y reconocimiento de los diversos tipos polínicos. Por ello, es importante que el enfoque esté ajustado, que el haz de luz sea blanco y que no difumine, pues todo esto ayuda a conseguir una mayor precisión en la identificación de los tipos polínicos y a minimizar los errores.

Los tipos polínicos se identifican a partir de sus características morfológicas como son la simetría y la polaridad, las unidades, la forma, las aperturas, el tamaño o la arquitectura de la pared del grano de polen. Estos caracteres morfológicos permiten diferenciar e identificar un tipo de polen de otro. Asimismo, para conseguir esta identificación, los investigadores formados en este campo se ayudan de claves o atlas para su identificación.

4.4. Cálculo de la concentración por el método Hirst.

Para llevar a cabo el cálculo de la concentración media diaria se ha seguido el procedimiento aprobado por el manual de la Red Española de Aerobiología publicado en 2007. Los parámetros que intervienen en dicho cálculo son:

- a) El número de partículas contadas en un día (N).
- b) La superficie analizada al microscopio (S).
- c) El área total de la muestra diaria (A).
- d) El volumen de aire aspirado por el captador (V).

De forma que los resultados obtenidos para el captador de tipo Hirst corresponden a las concentraciones media diarias de granos de polen por metro cúbico. Así, la ecuación de la concentración media diaria (C_{md}) quedaría como:

$$C_{md} = \frac{N}{V} \cdot \frac{S}{A}$$

Como el volumen de aire que aspira el captador son 10 litros por minuto, en un día entero el volumen de aire aspirado será:

$$V = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} \cdot 24 \frac{\text{hora}}{\text{día}}$$

$$V = 14400 \text{ L/día} = 14400 \text{ dm}^3/\text{día}$$

$$V = 14400 \frac{\text{dm}^3}{\text{día}} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{dm}^3} = 14,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

El área total de cada tira es el largo por el ancho de esta:

$$A = 48 \text{ mm} \cdot 14 \text{ mm}$$

$$A = 672 \text{ mm}^2$$

Por otro lado, para calcular la superficie de muestra analizada se necesita conocer el número de líneas barridas al microscopio, su longitud y su anchura. Sabiendo que la anchura depende del microscopio con el que se lleve a cabo el análisis de las muestras, la superficie será:

$$S = N^{\circ} \text{ líneas} \cdot \text{longitud} \cdot \text{anchura}$$

$$S = 4 \cdot 48 \text{ mm} \cdot 0,398 \text{ mm}$$

$$S = 76,416 \text{ mm}^2$$

Por lo que finalmente, la expresión de la concentración media diaria va a depender de la cantidad de granos de polen contados (N):

$$C_{\text{md}} = \frac{N \text{ granos de polen}}{14,4 \text{ m}^3} \cdot \frac{672 \text{ mm}^2}{76,416 \text{ mm}^2}$$

$$C_{\text{md}} = 0,61 \cdot N \frac{\text{granos de polen}}{\text{m}^3}$$

4.5. Análisis de datos y métodos estadísticos.

Para la realización del presente trabajo se dispone de una base de datos aerobiológica de la ciudad de Cartagena 1993-2018 (26 años). Para poder llevar a cabo el análisis de los datos extraídos, se ha empleado el Microsoft Excel versión 2016. Por otro lado, para la realización de las pruebas estadísticas y para el cálculo de las correlaciones, se ha hecho uso del paquete de software IBM SPSS versión 25 (SPSS-Chicago, Illinois, EE. UU.).

4.5.1. Período Principal de Polinización.

En aerobiología, se conoce el término de **Periodo Principal de Polinización** (PPP) como el periodo del año en el que se registra la mayor cantidad de polen total acumulado. Tal y como se indica en el apartado 3.2.2., en el caso del taxon de la familia Amaranthaceae existen dos periodos principales de polinización en un mismo año, a los que se les hace referencia como Periodo de Polinización 1 (PPP1) y Periodo de Polinización 2 (PPP2).

En el presente trabajo, se ha utilizado el método propuesto por Andersen (1991) sobre dicho periodo. El PPP comienza el día en el que la concentración acumulada de polen equivale a un 2,5% del total anual y finaliza cuando alcanzan un 97,5%. Para los cálculos se han considerado dos periodos en el año, para el PPP1 desde el 1 de enero al 30 de junio y para el del PPP2 desde el 1 de julio al 31 de diciembre.

4.5.2. Datos meteorológicos.

Para poder llevar a cabo la discusión de los datos obtenidos durante la realización del presente trabajo, era de requerimiento disponer de los datos meteorológicos de la zona de estudio. Para ello, se descargaron los datos diarios meteorológicos a través del servicio web de la Agencia Estatal de Meteorología ("AEMET OpenData," 2018). Las variables obtenidas para la ciudad de Cartagena fueron: temperaturas diarias máximas, medias y mínimas, en grados Celsius; las precipitaciones acumuladas diarias, en mm; y la velocidad media del viento diaria (m/s).

No obstante, la AEMET limita la descarga a un máximo de 31 días de datos simultáneamente. Por ello, nuestro compañero Daniel Bañón Gómez diseñó un macro para descargar la meteorología de manera sistemática a través del programa AutoHotkey ("AutoHotkey," 2018),

de esta forma conseguimos recopilar los datos diarios meteorológicos desde el 21 de marzo de 1993, hasta el 21 de marzo de 2018.

4.5.3. Pruebas de normalidad.

Es necesario conocer a qué tipo de distribución se ajustan los datos obtenidos. Puesto que, si se trata de una distribución normal, esta determinará el empleo de un tipo de estadística paramétrica u otra. Por tanto, antes de poder continuar con el análisis de los datos es necesario realizar las pruebas correspondientes para poder conocer a qué tipo de distribución nos enfrentamos.

Los procedimientos más comunes para evaluar si una muestra proviene de una población con distribución normal son los métodos gráficos como histogramas, o gráficos Q-Q; métodos numéricos, como los coeficientes de asimetría o curtosis; y pruebas formales de normalidad. Dentro de esta última categoría, existen varias pruebas estadísticas como la prueba de Shapiro-Wilk, Kolmogórov-Smirnov, Lilliefors o Anderson-Darling. Se ha comprobado mediante el método de Monte Carlo que el test de mayor poder estadístico de los cuatro anteriores es el de Kolmogórov-Smirnov (Mohd Razali & Yap, 2011). Por este motivo y la sencillez de su aplicación, en el presente trabajo se han realizado los test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para los datos que pertenecen a los dos Periodos Principales de Polinización de cada uno de los años, con el objetivo de comprobar si los datos provienen de una población de distribución normal.

La prueba de Kolmogórov-Smirnov plantea como hipótesis nula que una muestra proviene de una población normalmente distribuida. Por tanto, si el p-valor es menor que el nivel de significancia, alfa, entonces la hipótesis nula se rechaza, y por consiguiente se concluye que los datos no provienen de una población con distribución normal. Por el contrario, si p-valor es mayor que alfa, se concluye que la distribución de los datos se ajusta a una distribución normal.

4.5.4. Correlaciones.

Con el objetivo de poder analizar la influencia que presenta el clima sobre las concentraciones de polen detectadas, se ha llevado a cabo diversas correlaciones con las variables meteorológicas. De forma que se calculó el coeficiente de regresión de Pearson para los datos que se ajustaban a una distribución normal, y el coeficiente de Spearman (ρ) para los datos

que no pertenecían a una población con distribución normal. Así, las significaciones de las rectas de regresión se han denotado con un asterisco si son ≤ 0.05 , al 95 % de confianza, y con dos asteriscos si son ≤ 0.01 , al 99 % de confianza.

5. Resultados y discusión.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras el análisis y procesamiento de los datos de polen correspondientes al muestreo del polen de *Amaranthaceae* durante un periodo de 26 años (1993-2018) en la ciudad de Cartagena, España.

En primer lugar, se ha llevado a cabo una descripción estadística de los datos. Para ello, se han realizado pruebas de normalidad para comprobar si el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal. Posteriormente, se han analizado las correlaciones entre el polen de *Amaranthaceae* y la meteorología en forma de datos diarios, estacionales y anuales. Asimismo, también se ha estudiado la tendencia temporal de la meteorología de la ciudad de Cartagena, y la de algunas de las variables anuales de los periodos principales de polinización (PPP) del polen de *Amaranthaceae*. Finalmente, se han revisado los umbrales de polen que definen las categorías polínicas del taxón en la ciudad de Cartagena en base a los datos de estudio.

5.1. Descripción de los datos de *Amaranthaceae*.

La familia *Amaranthaceae* posee dos periodos de floración bien diferenciados en Cartagena, el primero tiene lugar durante la primavera y el segundo periodo sucede durante las estaciones de verano-otoño. Sin embargo, la duración de los periodos, así como, las fechas de inicio y fin puede variar a lo largo de los años.

Para estudiar la presencia de polen en el aire en series temporales largas se suele utilizar el Periodo Principal de Polinización (PPP). Pues, los datos pertenecientes al PPP son los que aportan información útil para los análisis de tendencias del comportamiento de polen en el aire. No obstante, los datos de polen que quedan fuera del periodo pueden ofrecer información de eventos puntuales que pasan desapercibidos en un análisis con series temporales largas.

Una vez definidos los periodos principales de polinización, se ha analizado para cada uno de los periodos los datos anuales recogidos en la base de datos. En la Tabla 2 y 3, se muestran los datos obtenidos, perdidos y totales del polen de *Amaranthaceae* durante todos los años en los que se ha llevado a cabo el muestreo, considerando los PPP de las dos floraciones. La Tabla 2 corresponde únicamente a los datos recogidos durante el primer periodo de polinización, es decir, entre los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio. Por el contrario, la Tabla 3 muestra los datos recogidos durante el segundo periodo de polinización, el cual tiene lugar en los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. El número de datos totales de estas tablas se corresponde con la duración para cada año del PPP en días.

	CASOS: PPP1					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
1993	60	95,2%	3	4,8%	63	100,0%
1994	122	85,3%	21	14,7%	143	100,0%
1995	111	84,1%	21	15,9%	132	100,0%
1996	104	100,0%	0	0,0%	104	100,0%
1997	114	100,0%	0	0,0%	114	100,0%
1998	145	100,0%	0	0,0%	145	100,0%
1999	84	95,5%	4	4,5%	88	100,0%
2000	93	100,0%	0	0,0%	93	100,0%
2001	89	100,0%	0	0,0%	89	100,0%
2002	136	100,0%	0	0,0%	136	100,0%
2003	76	100,0%	0	0,0%	76	100,0%
2004	102	100,0%	0	0,0%	102	100,0%
2005	50	47,2%	56	52,8%	106	100,0%
2006	92	98,9%	1	1,1%	93	100,0%
2007	95	100,0%	0	0,0%	95	100,0%
2008	121	100,0%	0	0,0%	121	100,0%
2009	92	94,8%	5	5,2%	97	100,0%
2010	83	91,2%	8	8,8%	91	100,0%
2011	96	96,0%	4	4,0%	100	100,0%
2012	102	100,0%	0	0,0%	102	100,0%
2013	146	100,0%	0	0,0%	146	100,0%
2014	143	100,0%	0	0,0%	143	100,0%
2015	141	100,0%	0	0,0%	141	100,0%
2016	164	100,0%	0	0,0%	164	100,0%
2017	128	100,0%	0	0,0%	128	100,0%
2018	146	98,6%	2	1,4%	148	100,0%

PPP primera floración

Tabla 2. Clasificación los datos de polen de Amaranthaceae en válidos, perdidos y totales, durante el primer periodo de polinización para los 26 años de estudio (1993-2018).

	CASOS: PPP2					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
1993	128	100,0%	0	0,0%	128	100,0%
1994	101	91,8%	9	8,2%	110	100,0%
1995	82	92,1%	7	7,9%	89	100,0%
1996	111	100,0%	0	0,0%	111	100,0%
1997	97	93,3%	7	6,7%	104	100,0%
1998	63	87,5%	9	12,5%	72	100,0%
1999	59	80,8%	14	19,2%	73	100,0%
2000	27	100,0%	0	0,0%	27	100,0%
2001	23	100,0%	0	0,0%	23	100,0%
2002	29	100,0%	0	0,0%	29	100,0%
2003	32	100,0%	0	0,0%	32	100,0%
2004	22	100,0%	0	0,0%	22	100,0%
2005	42	100,0%	0	0,0%	42	100,0%
2006	57	100,0%	0	0,0%	57	100,0%
2007	24	72,7%	9	27,3%	33	100,0%
2008	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
2009	23	100,0%	0	0,0%	23	100,0%
2010	47	95,9%	2	4,1%	49	100,0%
2011	94	94,9%	5	5,1%	99	100,0%
2012	101	100,0%	0	0,0%	101	100,0%
2013	65	100,0%	0	0,0%	65	100,0%
2014	135	100,0%	0	0,0%	135	100,0%
2015	90	90,0%	10	10,0%	100	100,0%
2016	96	100,0%	0	0,0%	96	100,0%
2017	138	100,0%	0	0,0%	138	100,0%
2018	135	84,4%	25	15,6%	160	100,0%

PPP segunda floración

Tabla 3. Clasificación los datos de polen de Amaranthaceae en válidos, perdidos y totales, durante el segundo periodo de polinización para los 26 años de estudio (1993-2018).

De forma general, los registros de valores diarios de datos anuales de polen de muchos taxones están dominados por ceros, es decir, los valores que indican la no presencia de ese polen en ese

periodo de tiempo. Otros sin valor se consideran “valores nulos”, o perdidos, es decir, indican ausencia de datos por diferentes causas, generalmente de tipo fallo técnico o del equipo de muestreo.

El conocimiento de estos datos es importante para conocer el número de datos perdidos en cada año y validar la base de datos que se va a analizar, sobre todo cuando estos datos afectan al PPP puesto que aportan datos útiles para analizar las tendencias del comportamiento del polen en el aire. Los valores “cero” dentro del PPP generalmente son causa de coincidencia con precipitaciones intensas que lavan la atmósfera.

En la Tabla 2 se puede observar cómo durante el primer periodo de polinización, el porcentaje de datos perdidos es nulo en la mayoría de los años: 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, 2007, 2008, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, y 2017. Asimismo, en el año 1993 hay un 4,8% de datos perdidos debido a que el captador tomó su primera medida el 21 de marzo de ese año y no al comienzo, como es el caso del resto de datos. En los años 1999, 2006, 2009, 2010, 2011 y 2018 se presenta pérdidas de datos muy bajas entre el 1 y el 9 %. Durante los años 1994 y 1995 se presentan perdidas entre el 14 y el 16 % que corresponden con averías esporádicas del captador. Finalmente, en el año 2005 hay un 52,8 % de datos perdidos. Esto es debido a que ese año el captador de polen se averió gravemente e imposibilitó prácticamente la toma de muestras durante los meses de febrero, marzo y abril.

Por otro lado, en la tabla 3 observamos que durante el segundo periodo de polinización el porcentaje de datos perdidos también es nulo en la mayoría de los años: 1993, 1996, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2012, 2013, 2014, 2016 y 2017. En los años 1994, 1995, 1997, 2010, 2011 y 2015 se presentan pérdidas de datos muy bajas entre 4 y 10%. Asimismo, durante en los años 1998, 1999 y 2018 se presentan perdidas entre 12 y 19% que corresponden con averías ocasionales del captador, así como, fallos en el muestreo. Finalmente, en el año 2007 se presentan pérdidas del 27,3%. Estas son debidas a que, durante los meses de agosto y septiembre, el captador se encontraba en reparación.

La duración de los dos PPP varía de un año a otro. En general, por el método de cálculo utilizado, floraciones más intensas dan lugar a un PPP más corto. En cuanto al número de casos perdidos depende de problemas en el muestreo y averías del captador, que en función de la gravedad pueden tener una mayor o menor incidencia.

En la tabla 4 se representan las concentraciones mensuales de polen de Amaranthaceae para cada año del periodo estudiado. La última columna corresponde a la Integral Anual de Polen (IAP), que es la suma de las concentraciones medias diarias del polen medida en granos/m³ en

un año dado. En esta tabla podemos ver cómo más del 74% del polen del taxón acumulado se concentra en el segundo periodo de polinización, siendo septiembre el mes de mayor concentración acumulada con un 64% del polen total de todos los años. El año con mayor IAP es el 2008 con 6992 granos/m³, mientras que el año con menor IAP, es el 2001 con 602 granos/m³.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	IAP
1993	-	-	12	257	1215	347	187	220	1662	111	62	26	4099
1994	22	12	29	114	263	135	100	65	1269	56	29	2	2096
1995	22	41	19	221	473	167	93	165	1597	32	28	2	2860
1996	5	7	16	183	244	108	46	188	1076	125	34	12	2044
1997	13	20	41	234	373	47	23	22	427	23	6	2	1231
1998	32	12	40	186	150	59	8	62	932	16	4	10	1526
1999	0	7	18	110	225	22	13	12	735	18	2	0	1162
2000	0	3	18	112	129	23	2	15	321	1	1	0	625
2001	0	2	42	156	82	18	0	-	287	11	4	0	602
2002	68	61	41	200	431	84	21	176	2131	19	2	4	3238
2003	0	5	27	287	487	63	4	120	1535	17	0	1	2546
2004	4	18	34	154	385	126	10	61	2260	39	3	0	3094
2005	0	1	10	0	94	37	2	466	1515	37	0	2	2164
2006	1	7	39	397	292	63	45	511	2434	77	2	4	3872
2007	6	11	57	416	408	81	53	200	4704	30	1	4	5971
2008	8	13	75	264	136	143	25	169	6148	7	4	0	6992
2009	7	10	39	316	563	54	4	172	3063	40	6	5	4279
2010	1	13	18	160	552	162	38	261	2463	31	15	5	3719
2011	5	11	32	338	276	82	113	200	2036	127	20	0	3240
2012	7	10	31	254	374	99	52	198	1944	73	52	8	3102
2013	27	31	36	151	268	273	40	279	2366	83	33	5	3592
2014	22	22	39	148	73	87	88	240	1160	57	50	34	2020
2015	28	45	74	230	222	63	43	45	1390	28	22	16	2206
2016	25	32	27	112	120	66	61	324	1347	55	27	18	2214
2017	17	33	72	354	372	136	94	81	583	70	22	23	1857
2018	26	13	68	303	188	138	113	66	98	25	18	46	1102
Total	346	440	954	5657	8395	2683	1278	4318	45483	1208	447	229	71453
%	0,5	0,6	1,3	7,9	11,7	3,8	1,8	6,0	63,7	1,7	0,6	0,3	100

Tabla 4. Concentraciones mensuales de polen de Amaranthaceae en Cartagena para cada año del periodo estudiado. En la última columna, Integral Anual de Polen (IAP), en granos / m³. En la penúltima y última fila el total para cada mes, en granos / m³, y su porcentaje frente al total. Integral Anual de Polen (IAP): suma de las concentraciones diarias de polen de Amaranthaceae en un año dado.

Los resultados de la Tabla 4 sirven para describir el comportamiento estacional del polen de Amaranthaceae en nuestra atmósfera y conocer cuáles son los meses predominantes de presencia de este tipo polínico de gran importancia en Cartagena. En esta tabla podemos ver cómo más del 74% del polen del taxón acumulado se concentra en el segundo periodo de polinización, siendo septiembre el mes de mayor concentración acumulada con un 64% del polen total de todos los años. Abril y mayo recolectan el 20% del polen total cuyo pico se produce en la primavera y conforma el PPP1.

Se han definido los dos Periodos Principales de Polinización (PPP1 y PPP2) del taxón de Amaranthaceae conforme a los criterios de Andersen 1991. En las tablas 5 y 6 muestran las características de los dos periodos principales de polinización de la familia Amaranthaceae durante los 26 años de estudio. Se han calculado los parámetros: día de inicio del periodo, día de fin del periodo, día pico, concentración máxima de polen del taxón en el día pico, duración en días del PPP, total de granos de polen de Amaranthaceae durante el PPP, polen total recogido durante el PPP y porcentaje de polen de Amaranthaceae frente al resto de tipos polínicos (polen total).

- **Primer Periodo principal de Polinización de polen de Amaranthaceae, PPP1 (1993-2018):**

En la tabla 5 podemos observar como la concentración mínima de polen de Amaranthaceae recogida durante el primer periodo de polinización, tuvo lugar en el año 2000 y fue de 265 granos/m³, se corresponde con el año de la serie de menor registro de polen total y supone el 5% del polen total recogido en ese periodo. Se ha descartado el valor registrado en el año 2005 porque el captador estaba averiado en este primer periodo afectando al total de datos recogidos durante el PPP1 y se ha suprimido el año 2003 ya que el muestreo aerobiológico en Cartagena se inició el 21 de marzo de ese año. La concentración máxima de polen del taxón durante el PPP1 tuvo lugar en el año 2009 y fue de 924 granos/m³, que supone el 5% del polen total en ese periodo.

El PPP1 tiene una duración mínima de 76 días registrada en el año 2003 y hasta una máxima de 164 días registrada en el año 2016, siendo la media de duración del primer periodo de polinización de más de dos meses, 75 días.

El inicio del PPP en el periodo estudiado abarca desde el día 6 hasta el 87, siendo el día promedio el 47. El final del PPP tiene lugar a mediados del mes de junio y su día promedio es el 157. En el año 2003 se registra el valor pico más alto con una concentración de polen de Amaranthaceae de 73 granos/m³ que representa el 9% del

polen total y se trata del año con el PPP1 más corto. La concentración de polen mínima es de 14 granos/m³ registrada tanto en el año 2000 como en el 2014. La concentración media alcanzada en el día pico es de 37 granos/m³.

Finalmente, en la última columna podemos observar como el porcentaje de polen de Amaranthaceae frente al resto de los tipos polínicos durante el primer periodo de polinización presenta valores bastante bajos entre el 3 y el 15%.

PRIMER PERIODO DE POLINIZACIÓN (PPP1)											
Año	Inicio		Fin		Pico		C _{max}	PPP	Amar	Total	%
1994	19-ene.	19	10-jun.	161	11-abr.	101	32	143	506	10694	6
1995	02-feb.	33	13-jun.	164	03-may.	123	64	132	865	12775	7
1996	03-mar.	63	14-jun.	166	04-may.	125	27	104	510	6879	5
1997	14-feb.	45	07-jun.	158	07-may.	127	52	114	686	9424	8
1998	19-ene.	19	12-jun.	163	21-abr.	111	27	145	446	11281	6
1999	09-mar.	68	04-jun.	155	02-may.	122	23	88	354	7153	6
2000	12-mar.	72	12-jun.	164	04-may.	125	14	93	265	3435	5
2001	12-mar.	71	08-jun.	159	18-abr.	108	21	89	286	4012	7
2002	29-ene.	29	13-jun.	164	03-may.	123	55	135	833	10307	7
2003	28-mar.	87	11-jun.	162	27-abr.	117	73	76	818	9934	9
2004	29-feb.	60	09-jun.	161	18-may.	139	43	102	683	7991	6
2005	04-mar.	63	17-jun.	168	12-may.	132	21	106	141	3277	15
2006	11-mar.	70	11-jun.	162	23-abr.	113	66	93	750	11941	9
2007	06-mar.	65	08-jun.	159	23-abr.	113	65	95	918	10551	7
2008	17-feb.	48	16-jun.	168	24-abr.	118	32	121	571	10506	6
2009	07-mar.	66	11-jun.	162	11-may.	131	50	97	924	11739	5
2010	13-mar.	72	11-jun.	162	04-may.	124	58	91	831	12086	7
2011	03-mar.	62	10-jun.	161	29-abr.	119	35	100	671	9724	5
2012	05-mar.	65	14-jun.	166	24-abr.	115	44	102	722	11817	6
2013	23-ene.	23	17-jun.	168	01-jun.	152	32	146	720	12008	4
2014	26-ene.	26	17-jun.	168	15-jun.	166	14	143	350	6602	4
2015	23-ene.	23	12-jun.	163	06-may.	126	27	141	603	11171	4
2016	06-ene.	6	17-jun.	169	28-abr.	119	16	164	350	7052	5
2017	07-feb.	38	14-jun.	165	01-may.	121	31	128	900	9462	3
2018	21-ene.	21	17-jun.	168	22-abr.	112	29	148	673	14733	4

Tabla 5. Primer Periodo Principal de Polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018).

Inicio: día de inicio del Periodo Principal de Polinización (PPP), en fecha y día del año. Final: día final del PPP, en fecha y día del año. Pico: día de máxima concentración de polen de Amaranthaceae, en fecha y día del año. C_{max}: concentración del día pico, en granos/m³. PPP: duración del PPP, en días. Chen: concentración de polen del taxón recogida durante el PPP, en

granos/m³. Total: concentración acumulada de todos los tipos de polínicos durante el PPP, en granos/m³. %: porcentaje de polen de Amaranthaceae con respecto al resto de los tipos polínicos.

SEGUNDO PERIODO DE POLINIZACIÓN (PPP2)											
Año	Inicio		Fin		Pico		C _{max}	PPP	Chen.	Total	%
1993	28-jun.	179	02-nov.	306	14-sep.	257	155	128	2207	4244	52
1994	29-jun.	180	10-oct.	289	17-sep.	260	128	110	1484	2647	56
1995	08-jul.	189	04-oct.	277	17-sep.	260	171	89	1847	2487	74
1996	14-jul.	196	01-nov.	306	03-sep.	247	95	111	1417	2155	66
1997	09-jul.	190	20-oct.	293	09-sep.	249	103	104	483	765	63
1998	10-ago.	222	20-oct.	293	19-sep.	262	99	72	1003	1106	91
1999	22-jul.	203	02-oct.	275	14-sep.	257	103	73	750	798	94
2000	26-ago.	239	21-sep.	265	12-sep.	256	62	27	324	344	94
2001	13-sep.	256	05-oct.	278	14-sep.	257	88	23	294	305	96
2002	23-ago.	235	20-sep.	263	10-sep.	253	484	29	2234	2307	97
2003	20-ago.	232	20-sep.	263	06-sep.	249	245	32	1596	1672	95
2004	30-ago.	243	20-sep.	264	04-sep.	248	686	22	2253	2309	98
2005	16-ago.	228	26-sep.	269	14-sep.	257	228	42	1930	2023	95
2006	07-ago.	219	02-oct.	275	05-sep.	248	417	57	2928	3075	95
2007	19-ago.	231	20-sep.	263	05-sep.	248	960	33	4678	4772	98
2008	29-ago.	242	17-sep.	261	08-sep.	252	1259	20	6018	6113	98
2009	30-ago.	242	21-sep.	264	05-sep.	248	543	24	3160	3223	98
2010	08-ago.	220	25-sep.	268	11-sep.	254	315	49	2697	2862	94
2011	08-jul.	189	14-oct.	287	12-sep.	255	213	99	2402	2919	82
2012	24-jul.	206	01-nov.	306	06-sep.	250	246	101	2225	2694	83
2013	13-ago.	225	16-oct.	289	11-sep.	254	301	65	2689	3226	83
2014	08-jul.	189	19-nov.	323	09-sep.	252	171	135	1559	2349	66
2015	13-jul.	194	20-oct.	293	07-sep.	250	245	100	1478	1817	81
2016	20-jul.	202	23-oct.	297	11-sep.	255	149	96	1747	2123	82
2017	28-jun.	179	12-nov.	316	10-sep.	253	128	138	859	2022	42
2018	23-jun.	174	29-nov.	333	17-ago.	229	14	159	341	2822	12

Tabla 6. Segundo Periodo Principal de Polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018).

Inicio: día de inicio del Periodo Principal de Polinización (PPP), en fecha y día del año. Final: día final del PPP, en fecha y día del año. Pico: día de máxima concentración de polen de Amaranthaceae, en fecha y día del año. C_{max}: concentración del día pico, en granos/m³. PPP: duración del PPP, en días. Amar: concentración de polen del taxón recogida durante el PPP, en granos/m³. Total: concentración acumulada de todos los tipos de polínicos durante el PPP, en granos/m³. %: porcentaje de polen de Amaranthaceae con respecto al resto de los tipos polínicos.

- **Segundo Periodo principal de Polinización de polen de Amaranthaceae, PPP2 (1993-2018):**

En la tabla 6 podemos observar cómo el comienzo del segundo periodo de polinización tiene lugar entre los meses de junio, julio, agosto o septiembre dependiendo del año. La concentración mínima del polen de Amaranthaceae recogida durante este periodo, tuvo lugar en el año 2000 y fue de 324 granos/m³. Esto, sin tener en cuenta el año 2001 ya que el captador tuvo varias averías durante este periodo. En cuanto a la concentración máxima, tuvo lugar en el año 2008 y fue de 6018 granos/m³, siendo la media de la concentración de polen de Amaranthaceae durante el segundo periodo principal de polinización de 1946 granos/m³.

El PPP tiene una duración mínima de 20 días registrada en el año 2008 y hasta una máxima de 159 días registrada en el año 2018, siendo la media de duración del segundo periodo de floración de más de dos meses, 75 días, al igual que en el primer periodo de polinización.

El inicio del PPP en el periodo estudiado abarca desde el día 174 hasta el 256, siendo el día promedio el 212. El final del PPP abarca desde el 261 hasta el 332, siendo el día promedio el 285. En el año 2008 se registra la concentración máxima alcanzada en el día pico con un valor de 1259 granos/m³ y la mínima concentración se da en el año 2000 con 62 granos/m³. Pues, aunque el 2018 registra la concentración mínima alcanzada en el día pico, esta es debida a fallos de muestreo durante el mes de noviembre. La concentración media alcanzada en el día pico durante el segundo periodo de floración es de 293 granos/m³.

Finalmente, podemos observar cómo el porcentaje de polen de Amaranthaceae frente al resto de los tipos polínicos durante el segundo periodo de polinización presenta valores entre el 42 y el 98%, sin tener en cuenta el año 2018 pues como hemos comentado anteriormente en el mes de noviembre se presentaron fallos durante el muestreo. Así, podemos volver a corroborar como el segundo periodo de polinización es mucho más significativo que el primero.

Elvira-Rendueles et al. (2017) en la investigación que llevaron a cabo sobre la importancia aerobiológica del polen de Amaranthaceae en climas áridos también analizaron los parámetros de los dos periodos principales de polinización (PPP) del polen del taxón durante los 4 años que duró su estudio (2010-2014) y mostraron cómo el segundo pico de floración en Cartagena es mucho más pronunciado que el primero. Además, probaron cómo entre el 20 de agosto y el 1 de octubre el polen de Amaranthaceae alcanzaba más del 90% del polen total, corroborando así que durante el segundo periodo principal de polinización este taxón es prácticamente el único tipo de polen en la atmósfera de Cartagena pudiendo producir un impacto muy significativo en la salud de las personas sensibilizadas (Elvira-Rendueles et al., 2017).

5.2. Distribución de los datos.

Se dice que una muestra presenta **normalidad** cuando los valores de una variable dependiente aleatoria siguen una distribución normal en la población a la que pertenece la muestra. Existen dos posibles pruebas de normalidad, la de Kolmogórov-Smirnov que se emplea cuando el tamaño de la muestra es mayor o igual que 50 datos u observaciones y la de Shapiro-Wilk que se realiza cuando el tamaño de la muestra es menor de 50 datos u observaciones.

Asimismo, para saber el tipo de distribución que siguen los datos de estudio es necesario realizar una prueba de hipótesis. Se hablará de hipótesis nula (H_0) cuando la variable de estudio presente una distribución normal, mientras que cuando la variable de estudio no presente una distribución normal se hablará de hipótesis alterna (H_1).

Una vez realizada la prueba de normalidad al 95% de confianza se obtendrá el nivel de significancia o p-valor. De esta forma, cuando el p-valor es mayor de 0,05, se acepta la hipótesis nula y se afirma que la muestra presenta una distribución normal. Por el contrario, cuando el p-valor es menor de 0,05, se acepta la hipótesis alterna y se confirma que la muestra no sigue una distribución normal.

5.2.1. Datos diarios.

Se llevó a cabo una prueba de normalidad al 95% de nivel de confianza tanto del conjunto de datos de los dos periodos principales de polinización de todos los años como de los datos de ambos PPP de cada uno de los años estudiados por separado. En todos los casos el p-valor obtenido con la prueba de Kolmogórov-Smirnov fue menor de 0,05 por lo que se rechazó la hipótesis nula y se confirmó que ninguno de los conjuntos seguía una distribución normal. Se escogió la prueba de Kolmogórov-Smirnov porque el número de datos de estudio superaba los 50.

Asimismo, también se puede demostrar de forma visual el tipo de distribución de un conjunto de datos mediante la realización de un diagrama Q-Q o un histograma. Podemos observar mediante histogramas que, tanto para el primer periodo de polinización (Figura 15) como para el segundo periodo (Figura 16), los datos no presentan una distribución normal. En ambos casos, el conjunto de datos presenta una distribución exponencial negativa pues conforme los valores aumentan, las frecuencias disminuyen. De hecho, se observa como en las frecuencias más altas se encuentran los valores más bajos, este comportamiento describe la realidad del estudio. Esto

es debido a que como hemos comentado anteriormente son más probables los días con concentraciones de polen bajas, pues la duración de ambos periodos no supera los 75 días.

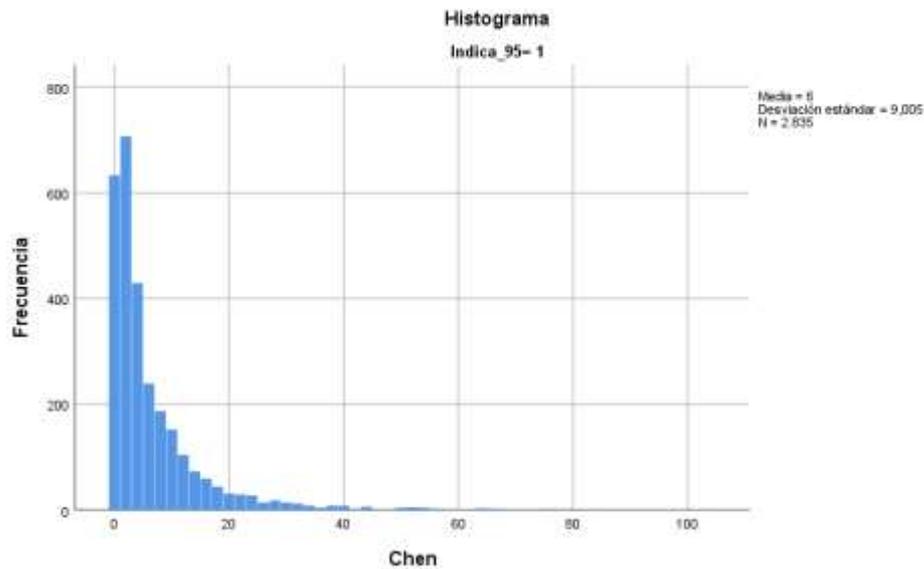


Figura 15. Histograma para los datos diarios de concentración de polen de -Amaranthaceae en el primer periodo de polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018).

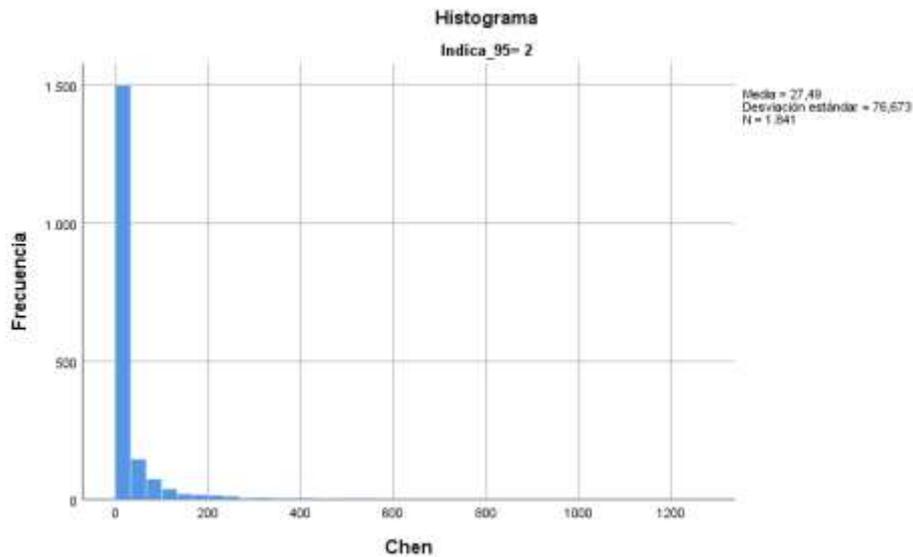


Figura 16. Histograma para los datos diarios de concentración de polen de Amaranthaceae en el segundo periodo de polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018).

Se comprobó si una transformación de la variable podía convertir la distribución de los datos en una distribución normal, de esta forma sería posible realizar cálculos paramétricos con la variable transformada. Para ello, se calculó el logaritmo decimal de los datos de la concentración

diaria de polen de Amaranthaceae en los dos periodos principales de polinización tanto de todos los años estudiados como de cada año por separado.

Pruebas de normalidad de las concentraciones de polen en el PPP1						
Kolmogórov-Smirnov (b)				Shapiro-Wilk		
Año	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
1993	-	-	-	-	-	-
1994	0,255	122	0,000	0,712	122	0,000
1995	0,226	111	0,000	0,733	111	0,000
1996	0,188	104	0,000	0,838	104	0,000
1997	0,245	114	0,000	0,668	114	0,000
1998	0,248	145	0,000	0,695	145	0,000
1999	0,201	84	0,000	0,789	84	0,000
2000	0,212	93	0,000	0,792	93	0,000
2001	0,190	89	0,000	0,802	89	0,000
2002	0,277	136	0,000	0,631	136	0,000
2003	0,190	76	0,000	0,749	76	0,000
2004	0,235	102	0,000	0,761	102	0,000
2005	0,246	50	0,000	0,674	50	0,000
2006	0,240	92	0,000	0,617	92	0,000
2007	0,228	95	0,000	0,696	95	0,000
2008	0,209	121	0,000	0,736	121	0,000
2009	0,217	92	0,000	0,798	92	0,000
2010	0,188	83	0,000	0,824	83	0,000
2011	0,177	96	0,000	0,815	96	0,000
2012	0,180	102	0,000	0,795	102	0,000
2013	0,197	146	0,000	0,791	146	0,000
2014	0,250	143	0,000	0,787	143	0,000
2015	0,252	141	0,000	0,792	141	0,000
2016	0,236	164	0,000	0,795	164	0,000
2017	0,193	128	0,000	0,833	128	0,000
2018	0,193	146	0,000	0,812	146	0,000
PPP primera floración						
b. Corrección de significación de Lilliefors						

Tabla 7. Pruebas de normalidad aplicado al logaritmo decimal de las concentraciones diarias de polen de Amaranthaceae para el primer periodo principal de polinización durante cada uno de los 26 años de estudio. Estadístico: valor del estadístico de la prueba; Sig.: p-valor, probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

Pruebas de normalidad de las concentraciones de polen en el PPP2						
Kolmogórov-Smirnov (b)				Shapiro-Wilk		
Año	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
1993	0,309	128	0,000	0,543	128	0,000
1994	0,297	101	0,000	0,583	101	0,000
1995	0,262	82	0,000	0,659	82	0,000
1996	0,270	111	0,000	0,661	111	0,000
1997	0,360	97	0,000	0,394	97	0,000
1998	0,277	63	0,000	0,680	63	0,000
1999	0,319	59	0,000	0,563	59	0,000
2000	0,209	27	0,004	0,777	27	0,000
2001	0,333	23	0,000	0,558	23	0,000
2002	0,236	29	0,000	0,704	29	0,000
2003	0,256	32	0,000	0,754	32	0,000
2004	0,293	22	0,000	0,619	22	0,000
2005	0,230	42	0,000	0,745	42	0,000
2006	0,292	57	0,000	0,569	57	0,000
2007	0,288	24	0,000	0,716	24	0,000
2008	0,189	20	0,059	0,819	20	0,002
2009	0,270	23	0,000	0,762	23	0,000
2010	0,258	47	0,000	0,711	47	0,000
2011	0,329	94	0,000	0,540	94	0,000
2012	0,340	101	0,000	0,519	101	0,000
2013	0,284	65	0,000	0,606	65	0,000
2014	0,344	135	0,000	0,525	135	0,000
2015	0,343	90	0,000	0,465	90	0,000
2016	0,335	96	0,000	0,599	96	0,000
2017	0,359	138	,000	0,370	138	0,000
2018	0,186	135	,000	0,842	135	0,000
PPP segunda floración						
b. Corrección de significación de Lilliefors						

Tabla 8. Pruebas de normalidad aplicado al logaritmo decimal de las concentraciones diarias de polen de Amaranthaceae para el segundo periodo de polinización durante cada uno de los 26 años de estudio. Estadístico: valor del estadístico de la prueba; Sig.: p-valor, probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

En el primer periodo principal de polinización se analizó un conjunto de datos de N=2835 y en el segundo periodo se analizó un conjunto de N=1841, como en ambos casos el tamaño de la muestra era superior a 50 únicamente se tuvo en cuenta la prueba de Kolmogórov-Smirnov.

En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados de la prueba de normalidad para los dos periodos principales de polinización. En el caso de la Tabla 7 no se han tenido en cuenta las pruebas de normalidad en el año 1993 debido a que el captador comenzó a medir en marzo de ese año y no desde su inicio, como en el resto de los casos. Así, en ambas Tablas se puede comprobar cómo, el nivel de significancia (sig.) o p-valor es menor que 0,05. Con este hecho, se descarta la hipótesis nula y se confirma que el conjunto de datos la concentración diaria de polen de Amaranthaceae en los dos periodos principales de polinización tanto de todos los años estudiados como de cada año por separado no siguen una distribución normal.

5.2.2. Variables anuales de la meteorología.

También se analizó el tipo de distribución que seguían las variables meteorológicas en los dos periodos principales de polinización durante los 26 años de estudio al 95% del nivel de confianza. Para ello, se estudió la tendencia que seguían las precipitaciones acumuladas: lluvia, las temperaturas máximas: T_{max} , las medias: T_{med} y las mínimas: T_{min} . Como para todas las variables el tamaño de la muestra es superior a 50, únicamente se tuvo en cuenta la prueba de Kolmogórov-Smirnov para comprobar si la tendencia era normal.

Pruebas de normalidad de las variables meteorológicas en el PPP1						
Variables meteorológicas	Kolmogórov-Smirnov (b)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Lluvia	0,435	2894	0,000	0,168	2894	0,000
T_{max}	0,027	2894	0,000	0,997	2894	0,000
T_{min}	0,028	2894	0,000	0,995	2894	0,000
T_{med}	0,038	2894	0,000	0,994	2894	0,000
PPP primera floración						
b. Corrección de significación de Lilliefors						

Tabla 9. Prueba de normalidad aplicada a las variables meteorológicas durante el primer periodo de floración para los años 1993-2018. Estadístico: valor del estadístico de la prueba; Sig.: p-valor, probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

Lluvia: precipitación acumulada. T_{min} , T_{med} y T_{max} : temperatura mínima, media y máxima respectivamente.

Pruebas de normalidad de las variables meteorológicas en el PPP2						
Variables meteorológicas	Kolmogórov-Smirnov (b)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Lluvia	0,451	1859	0,000	0,130	1859	0,000
T _{max}	0,070	1859	0,000	0,958	1859	0,000
T _{min}	0,103	1859	0,000	0,934	1859	0,000
T _{med}	0,068	1859	0,000	0,979	1859	0,000
PPP segunda floración						
b. Corrección de significación de Lilliefors						

Tabla 10. Prueba de normalidad aplicada a las variables meteorológicas durante el segundo periodo de floración para los años 1993-2018. Estadístico: valor del estadístico de la prueba; Sig.: p-valor, probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

Lluvia: precipitación acumulada. T_{min}, T_{med} y T_{max}: temperatura mínima, media y máxima respectivamente.

En las tablas 9 y 10 se muestran los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas de normalidad en los dos periodos principales de polinización. Como podemos observar, el nivel de significancia obtenido (Sig.) o p-valor es menor de 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se confirma que al igual que las concentraciones diarias de polen del taxón, las variables meteorológicas tampoco siguen una distribución normal.

5.3. Comportamiento intraanual.

- **DATOS DIARIOS.**

En las Figura 17 quedan representados los datos sin transformar de la concentración de polen de Amaranthaceae para cada uno de los años estudiados (1993-2018). Como se puede observar, el comportamiento de la concentración de polen varía notablemente de un año a otro.

Asimismo, dentro de un mismo año se pueden observar diversos picos de concentración. Por ello, es importante realizar la representación de las concentraciones diarias pues aparte de ser una muestra real de los valores obtenidos cada día, un paciente alérgico puede presentar síntomas al registrarse en un único día una concentración de polen alta, aunque durante el resto de esa semana los valores de polen obtenidos hayan sido muy bajos.

Sin embargo, al realizar medias semanales o mensuales estos picos reales de concentración no son detectados. Por este hecho, es muy importante conocer los valores máximos de polen diarios para poder valorar mejor la capacidad alérgica de un tipo polínico. No obstante, al representar los datos diarios, la variabilidad es muy amplia lo que dificulta el análisis de concentración de los picos de concentración intraanuales, así como el estudio del comportamiento general que sigue el taxón. Por ello, es conveniente el empleo de técnicas de suavizado como medias semanales o mensuales donde los datos queden homogenizados y se muestren tendencias mucho más claras (Recio et al., 2018).

En la Figura 17 se puede observar de forma bastante clara los dos periodos principales de polinización que corresponden con los picos más diferenciados representados en las gráficas. Se observa que durante el segundo periodo de polinización la cantidad de polen recogida es mucho mayor que el primero. Además, se puede ver como más o menos siempre a partir del día 244 del año, que corresponde con el comienzo de septiembre, se registra la mayor concentración de polen recogida, pues ya comentamos en puntos anteriores que el mes de septiembre es donde se registra la mayor concentración acumulada con un 64% del polen total de todos los años.

Con respecto al año 1993, únicamente se ha representado la concentración de polen recogida durante el segundo periodo principal de polinización pues no se tienen datos del año completo ya que el captador empezó a funcionar el 21 de marzo de ese mismo año.

Por otro lado, se puede observar como la cantidad de polen registrada durante el segundo periodo principal de polinización en el año 2001 es muy baja, esto es debido a que el captador estuvo estropeado durante bastante tiempo.

Del mismo modo, en el año 2005 se puede observar como la concentración de polen durante el primer periodo de polinización es prácticamente nula, esto es debido a que el captador tuvo que ser reparado durante ese año.

Así, las anomalías presentes en algunos de los años corresponden a averías del captador o a fallos durante el muestreo como ya comentamos anteriormente. Por ejemplo, se puede observar en el año 2018 que los picos que representan los periodos principales de polinización no están tan definidos como en el resto de los años, esto es debido a que durante este año hubo bastante fallos a la hora de la realización del muestreo.

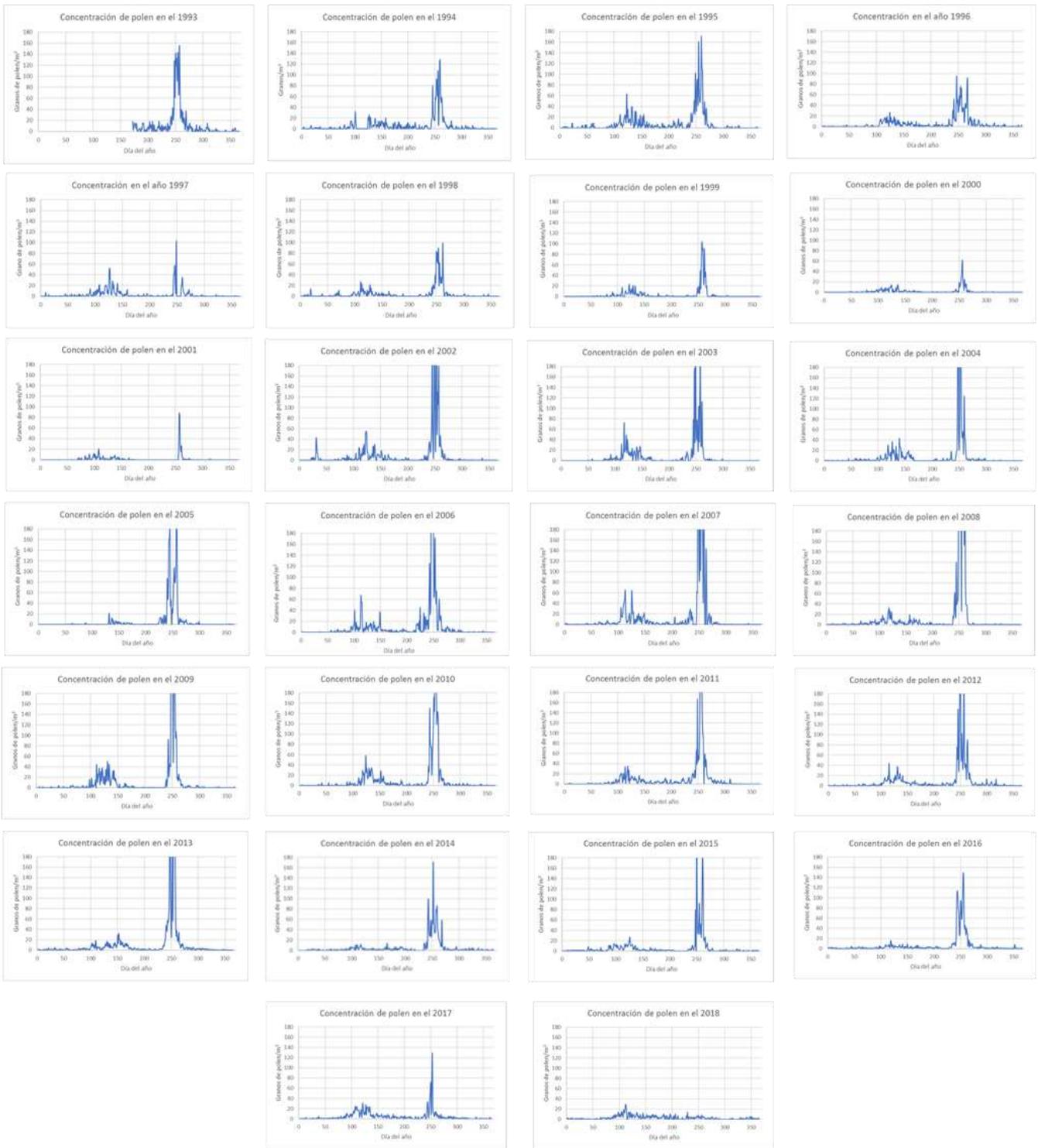


Figura 17. Datos diarios de concentración de polen de Amaranthaceae desde 1993 a 2018. Unidades del eje vertical: granos de polen / m³. Unidades del eje horizontal: día del año.

- **DATOS SEMANALES.**

En la Figura 18 se representa la media semanal de la concentración diaria del polen de Amaranthaceae frente a la semana del año para los 25 años de estudio. El objetivo de esta representación gráfica no es otro que tener una visualización mejor del comportamiento interanual del polen en la atmósfera de la ciudad de Cartagena.

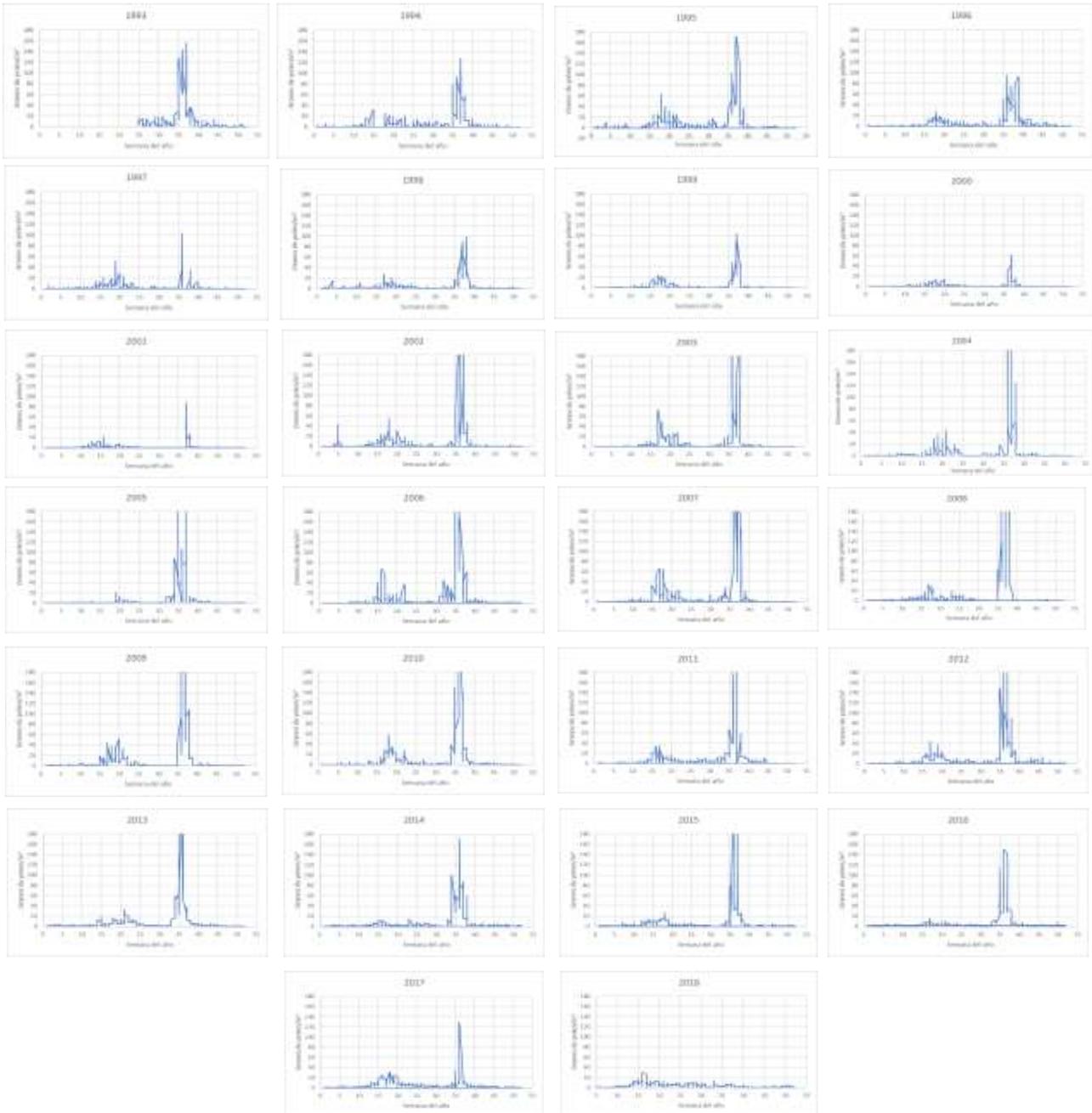


Figura 18. Media semanal de la concentración del polen de Amaranthaceae para cada uno de los años estudiados (1993-2018). Unidades del eje vertical: granos de polen/m³. Unidades del eje horizontal: semana del año.

De acuerdo con la norma ISO 8601 se considera que la primera semana del año es aquella que tiene el primer jueves del año. Así, para conseguir una comparación más homogénea de los datos, se han ajustado a 52 semanas todos los años de estudio. De esta forma, los años que tuvieran días en la semana 53 se han dividido entre la semana 52 del año anterior (última semana de diciembre) y la primera semana del año posterior (primera semana de enero).

Comparando las gráficas semanales con las diarias se pueden observar con mayor nitidez algunos de los picos de los periodos principales de polinización. Estos pueden estar atribuidos a diferentes factores dependiendo del año, pero en general las causas principales podrían ser: la floración de especies que pertenecen al mismo género en épocas distintas y el transporte de polen a larga distancia. De hecho, esta afirmación se puede contrastar con el estudio realizado por Fernández-Illescas et al. en 2010.

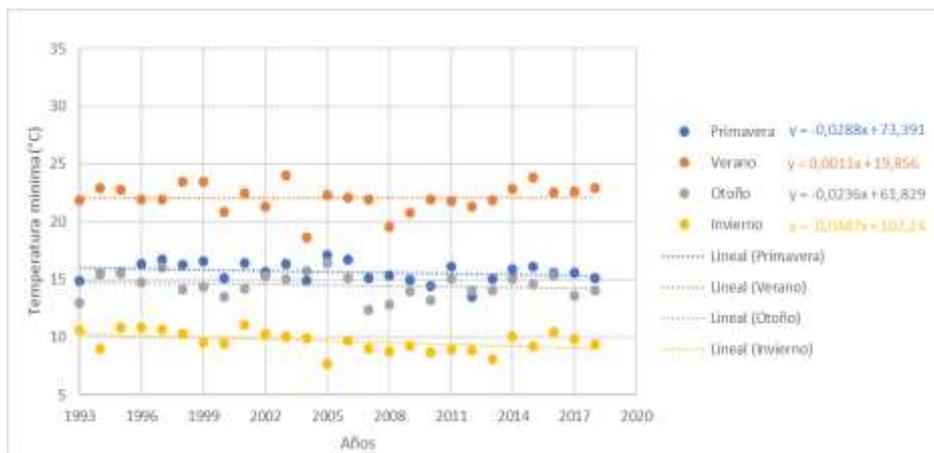
Fernández-Illescas et al. (2010) llevaron a cabo una investigación dónde calculaban la producción de polen anual de siete especies diferentes de la familia Amaranthaceae durante el 2006-2007 en el paraje natural de las marismas de Odiel en Huelva, Andalucía. Tras la realización del estudio fenológico, observaron que para este taxón existían dos periodos principales de floración: el primero de marzo a junio y el segundo de junio a noviembre. Además, mostraron que, de las siete especies estudiadas, *Suaeda vera* y *Arthocnemum macrostachyum* florecían durante el primer periodo y el resto de las especies: *Atriplex halimus*, *Halimione portulacoides*, *Sarcocornia fruticosa*, *Sarcocornia perennis* y *Salsola vermiculata* florecían durante el segundo periodo. Asimismo, probaron también cómo la cantidad de polen recogida durante el segundo Periodo Principal de Polinización era superior al primer Periodo (Fernández-Illescas et al., 2010), al igual que podemos observar en el presente trabajo con las gráficas representadas en las Figuras 17 y 18.

5.4. Tendencias en la meteorología anual.

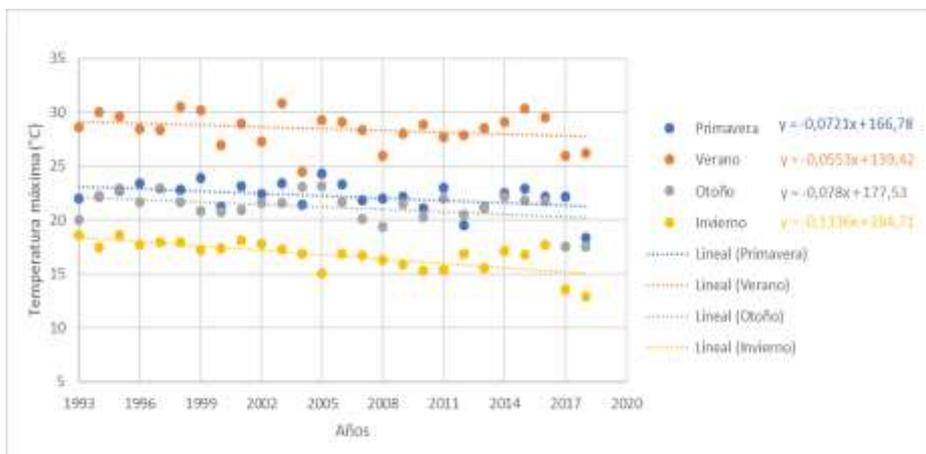
Se llevó a cabo un análisis por año y por estación de las temperaturas máximas, mínimas y promedio, y de las precipitaciones en la ciudad de Cartagena durante los 26 años de estudio (1993-2018).

La Figura 19 muestra los valores promedio de las temperaturas máximas (a), promedio (b) y mínimas (c) diarias por estación meteorológica. Además, se presentan las líneas de tendencias, junto con las ecuaciones de regresión lineal correspondientes. Por otro lado, la Figura 19 (d) muestra los valores promedio de las temperaturas mínimas, medias y máximas diarias de cada año, así como, las líneas de tendencias y las ecuaciones de regresión lineal.

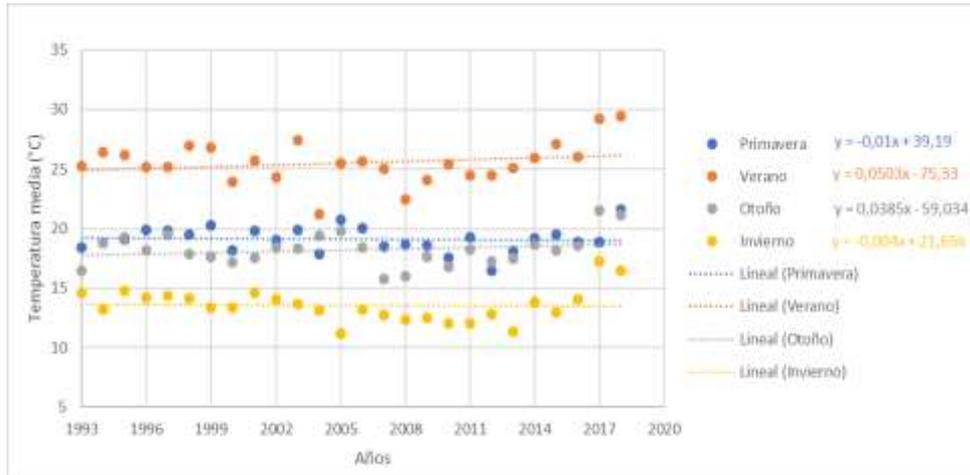
- a) Media de las **temperaturas mínimas** diarias de cada estación de los años estudiados (1993-2017), en °C.



- b) Media de las **temperaturas máximas** diarias de cada estación de los años estudiados (1993-2017), en °C.



- c) Media de las **temperaturas medias** diarias de cada estación de los años estudiados (1993-2017), en °C.



- d) Media de las **temperaturas mínimas, medias y máximas** diarias de cada año (1993-2017), en °C.

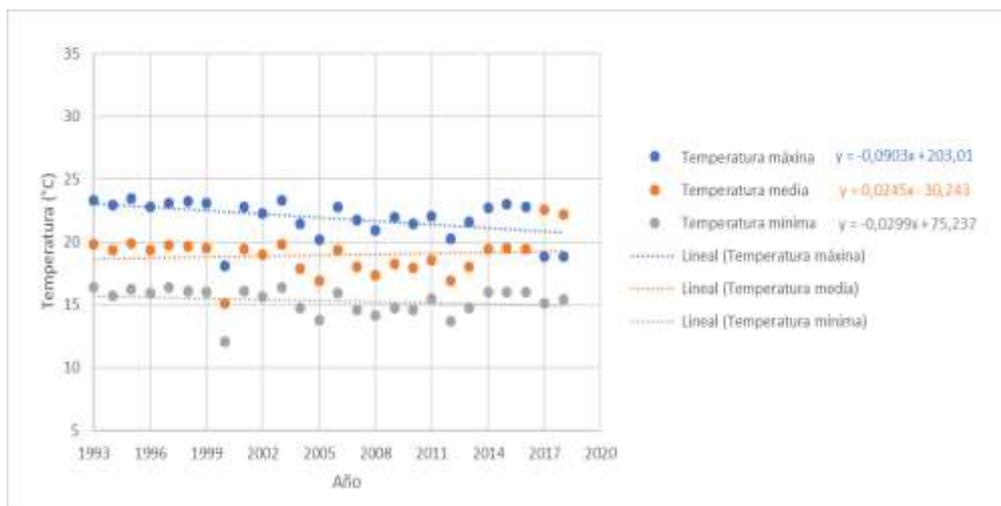


Figura 19. a-c) Valores promedio para las estaciones del año de la temperatura máxima (a), promedio (b) y mínima diaria (c) para cada año del periodo estudiado, °C. d) Promedio anual de las temperaturas máximas, medias y mínimas entre el 1993 y 2018, °C.

En la Figura 19 (a) se observa cómo la línea de tendencia del promedio de las temperaturas mínimas diarias por estaciones para los años 1993 a 2018 en la ciudad de Cartagena muestra una disminución con respecto al tiempo para todas las variables y estaciones, excepto en verano. Por otro lado, la línea de tendencia del promedio de las temperaturas máximas diarias por

estaciones muestra una disminución con respecto al tiempo para todas las variables y estaciones, Figura 19 (b). Asimismo, la línea de tendencia del promedio de las temperaturas medias diarias por estaciones muestra únicamente una disminución con respecto al tiempo en las estaciones de primavera e invierno, Figura 19 (c).

Finalmente, cuando el análisis se lleva a cabo para las temperaturas medias anuales (máximas, medias y mínimas), la línea de tendencia muestra una disminución en las temperaturas máximas y mínimas, Figura 19 (d). Es decir, podría decirse que las temperaturas medias muestran una tendencia decreciente, con una disminución de las temperaturas máximas, y temperaturas mínimas menores. Por lo que, esta información podría apuntar a que los efectos del cambio climático no se manifiestan a escala local en la ciudad de Cartagena en los 26 años que se ha realizado el estudio.

Por otro lado, en la Figura 20 quedan representadas mediante un diagrama de barras las precipitaciones anuales en la ciudad de Cartagena durante los 26 años de estudio (1993-2018).

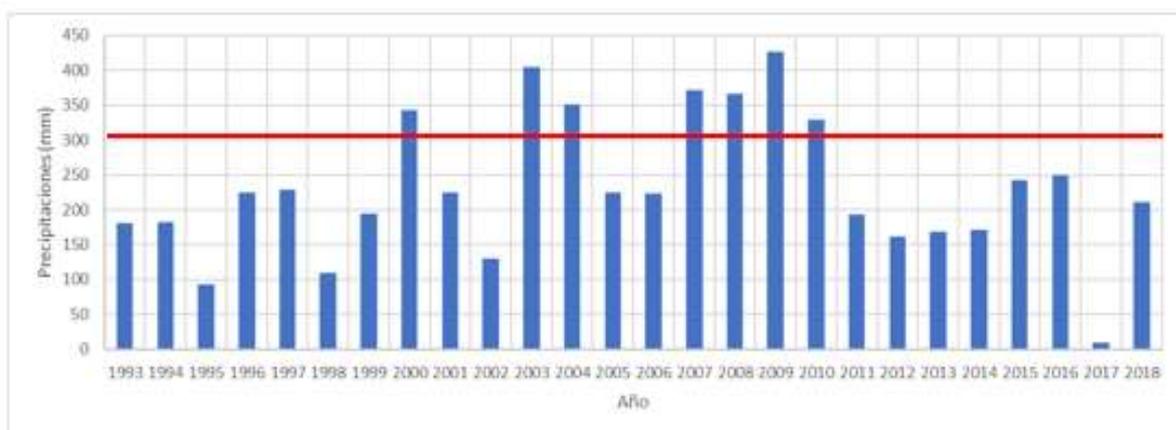


Figura 20. Diagrama de barras para las precipitaciones anuales durante los 30 años de estudio (1993-2018) en la ciudad de Cartagena.

En la Figura 20 se puede observar una línea roja, esta representa una isoyeta. Se define isoyeta o isohieta como una isolínea que une los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. En este caso, esta isoyeta representa el valor medio de precipitaciones recogido en la ciudad de Cartagena durante 30 años, siendo este de 300 mm.

De esta forma podemos observar como, al igual que hemos comentado anteriormente, la ciudad de Cartagena presenta un clima bastante seco perfecto para el crecimiento de este tipo

de taxón pues únicamente en siete de los veintiséis años de estudio la cantidad de precipitaciones recogidas ha superado los 300 mm.

Asimismo, se ha realizado un diagrama de áreas apiladas donde se muestra la proporción de las precipitaciones de cada estación durante los 26 años de estudio (Figura 21).

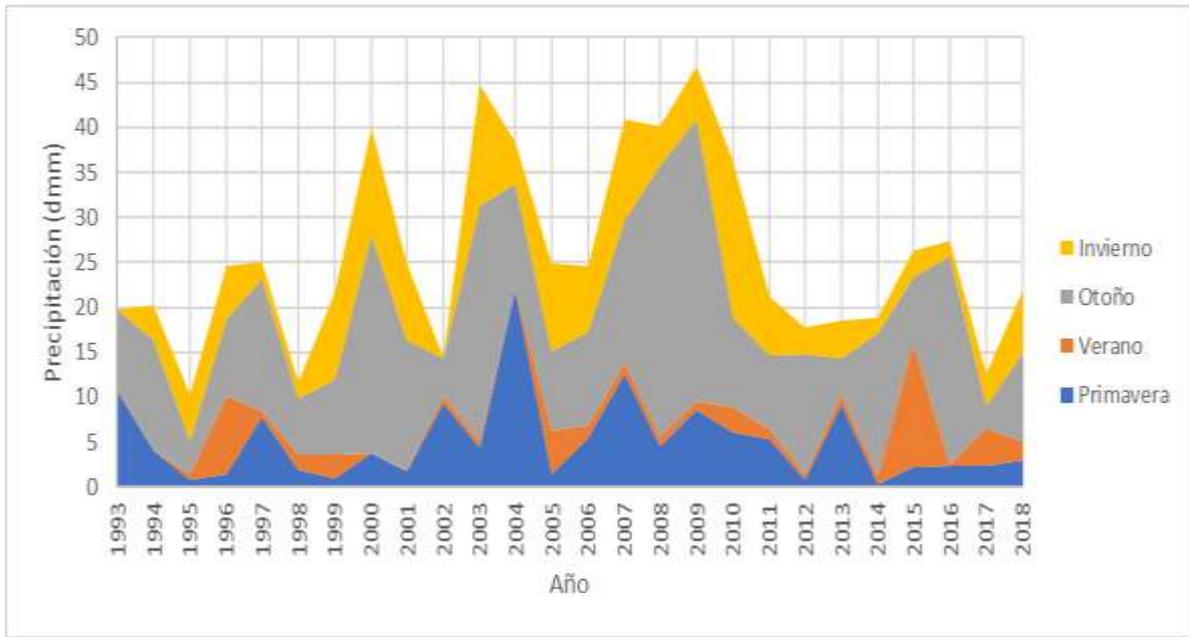


Figura 21. Diagrama de áreas apiladas que muestra la precipitación acumulada anual en la ciudad de Cartagena dividida en área según la precipitación de cada estación (invierno: amarillo; otoño: gris; verano: naranja; primavera: azul), dmm.

Como podemos apreciar en el diagrama (Figura 21), se trata de lluvias torrenciales, de alta intensidad y corta duración, donde la mayor parte de las precipitaciones se acumulan en otoño y siendo el verano la estación donde menor cantidad de precipitaciones se acumulan. El carácter torrencial encontrado está en acuerdo con lo que describe los registros meteorológicos de la zona: precipitaciones concentradas con episodios de ciclogénesis explosiva (Trigo et al., 2002).

5.5. Tendencias en la concentración del polen de Amaranthaceae.

A continuación, se representa la evolución temporal de los parámetros de los dos periodos principales de polinización (PPP) del polen de Amaranthaceae durante los 26 años de estudio (1993-2018).

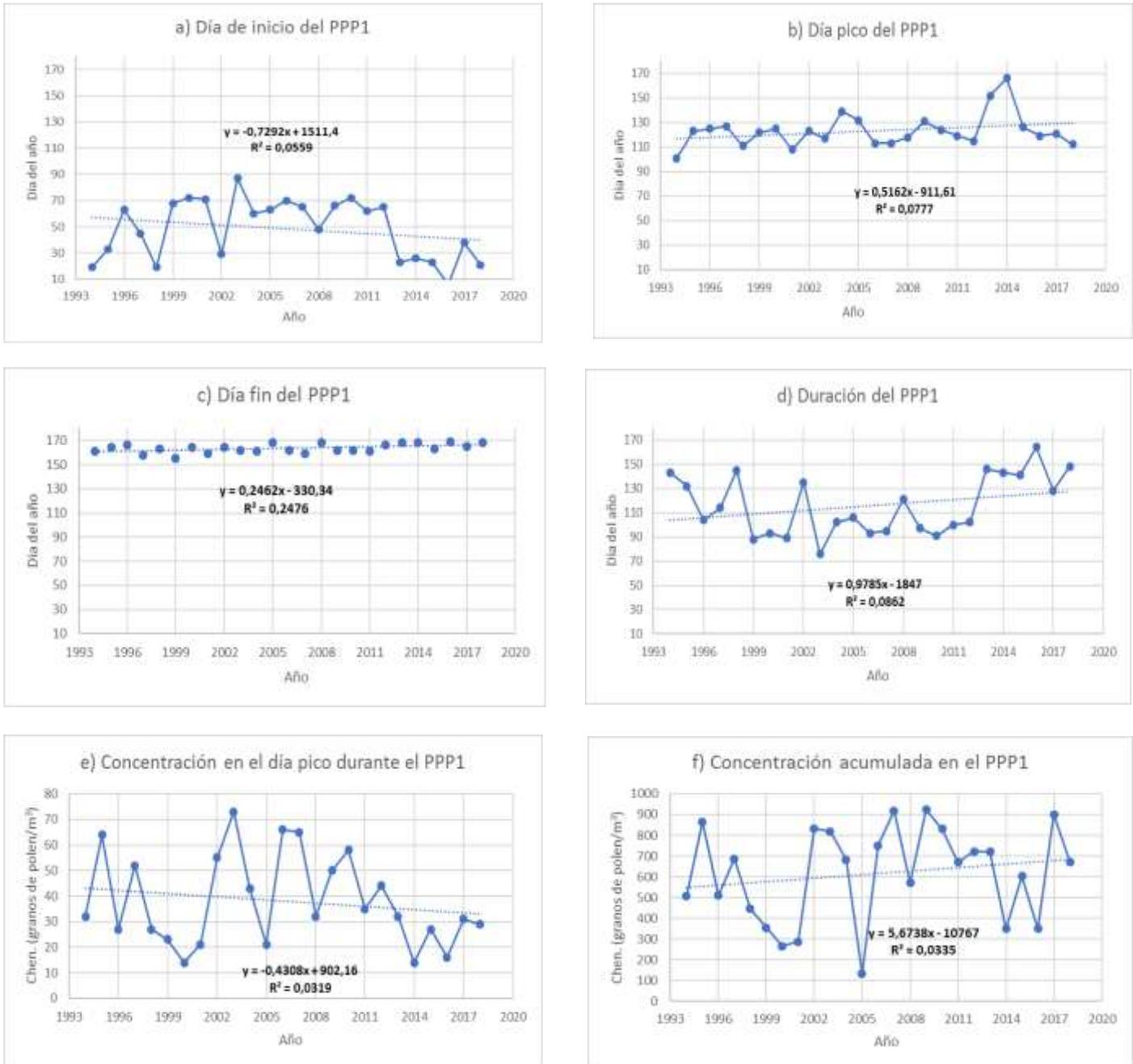


Figura 22. Evolución temporal de las variables del primer periodo principal de polinización de Amaranthaceae en Cartagena durante los 26 años de estudio (1993-2018).

La Figura 22 (a-f) representa de forma gráfica las variables de la Tabla 5, adjuntada anteriormente: día inicial (a), día pico (b), día final (c), duración del PPP medida en días (d), concentración de polen en el día pico medida en granos de polen/m³(e) y la concentración de polen de Amaranthaceae acumulada en el primer periodo principal de floración medida en granos de polen/m³ (f), con respecto al tiempo (1993-2018). Así mismo, en cada gráfica también se muestran las líneas de tendencia junto con las ecuaciones de regresión lineal y los coeficientes de determinación (R²).

Como podemos observar, la evolución temporal de las variables anuales del primer periodo de polinización muestra una gran variabilidad interanual. Si observamos la recta de regresión del día inicio, vemos que es negativa, esto significa que el comienzo del PPP1 se está adelantando. En cambio, la recta de regresión del día fin es positiva lo que supone que el fin del PPP1 se está retrasando. Estos hechos conllevan a que la duración del PPP1 se esté alargando, es decir, el primer periodo de polinización está aumentando en duración y en tiempo.

Por otro lado, las líneas de tendencia muestran un aumento de las concentraciones acumuladas de polen del taxón durante el primer periodo de polinización, aunque una disminución de la concentración en el día pico. Esto puede indicar que la concentración media está aumentando con el paso de los años, pero a su vez se están reduciendo los eventos extremos, es decir, el polen se distribuye con máximos de concentración menores, pero existiendo un aumento neto en la concentración total anual. Este hecho, podría implicar que al aumentar tanto la concentración neta anual como la duración del PPP podría agravar los síntomas en los pacientes alérgicos.

A continuación, se representa la evolución temporal de las variables del segundo periodo de polinización del taxón en la ciudad de Cartagena durante los 26 años de estudio (1993-2018). La Figura 23 (a-f) representa de forma gráfica las variables de la Tabla 6, adjuntada anteriormente: día inicial (a), día pico (b), día final (c), duración del PPP medida en días (d), concentración de polen en el día pico medida en granos de polen/m³(e) y la concentración de polen de Amaranthaceae acumulada en el segundo periodo principal de floración medida en granos de polen/m³ (f), con respecto al tiempo (1993-2018). Así mismo, en cada gráfica también se muestran las líneas de tendencia junto con las ecuaciones de regresión lineal y los coeficientes de determinación (R²).

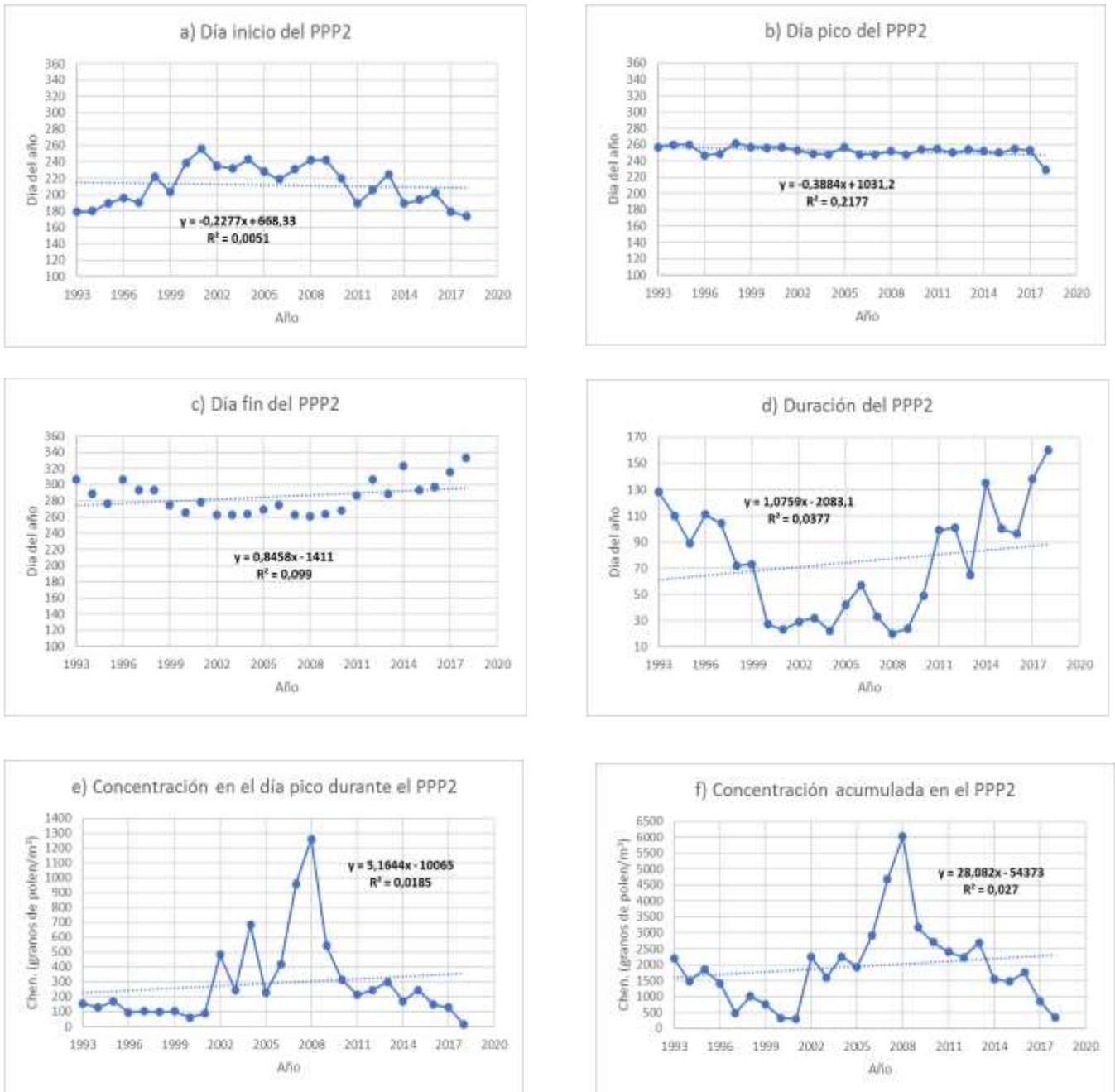


Figura 23. Evolución temporal de las variables del segundo periodo principal de polinización de Amaranthaceae en Cartagena durante los 26 años de estudio (1993-2018).

Como podemos observar, al igual que en el primer periodo de polinización la evolución temporal de las variables anuales en el segundo periodo muestra también una gran variabilidad interanual. Si observamos la recta de regresión del día inicio, vemos que es negativa, al igual que en el periodo anterior esto significa que el comienzo del PPP2 se está adelantando. Sin embargo, la recta de regresión del día fin es positiva lo que supone que el fin del PPP2 se está retrasando. Estos hechos conllevan a que la duración del PPP2 se esté alargando, es decir, el segundo periodo de polinización está aumentando en duración y en tiempo. Por tanto, podríamos afirmar que conforme pasan los años los dos periodos de polinización son más duraderos.

Por otro lado, las líneas de tendencia muestran un aumento de las concentraciones acumuladas de polen del taxón, así como, un aumento en la concentración del día pico. Lo que significa que la cantidad de polen va aumentando conforme se va avanzando temporalmente, este hecho podría suponer una mayor sensibilización alérgica en los pacientes.

Finalmente podríamos concluir diciendo que con el paso de los años la duración de ambos periodos de polinización se ve incrementada, así como la cantidad de polen generada. Por lo que es conveniente advertir a los pacientes alérgicos ya que esta situación es bastante perjudicial para ellos.

5.6. Correlaciones entre el polen de Amaranthaceae y las variables meteorológicas.

Una correlación indica el grado de asociación entre dos variables. De forma que para estudiar el tipo de correlación que presentan dichas variables se pueden llevar a cabo dos pruebas estadísticas la de Pearson y la de Spearman. El coeficiente de Spearman es una medida de la correlación, asociación o interdependencia entre dos variables aleatorias continuas cuyo objetivo es indicarnos como de relacionadas están linealmente estas variables.

Anteriormente se comprobó mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov que tanto las concentraciones diarias de polen del taxón como las variables meteorológicas seguían una distribución normal. Por ello, en nuestro caso para ver el tipo de correlación que posee el polen de Amaranthaceae con las variables meteorológicas analizaremos el coeficiente de Spearman ya que el conjunto de datos estudiado no presenta una distribución normal.

En primer lugar, se analizó la correlación existente entre la concentración de polen de Amaranthaceae acumulada durante el primer periodo principal de polinización (PPP1) y el segundo periodo principal de polinización (PPP2), saliendo un valor en el coeficiente de Spearman de 0,503. Con ello se afirmó que existe una correlación positiva y significativa al 95% entre la concentración de polen en el PPP1 y la del PPP2. Este hecho indica que cuando la cantidad de polen recogida durante el primer periodo principal de polinización es alta, también lo es la del segundo periodo principal de polinización.

Por otro lado, se analizaron las posibles correlaciones existentes entre las variables meteorológicas: temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}), temperatura media (T_{med}) y precipitaciones frente a las concentraciones de polen de Amaranthaceae en ambos periodos de floración. En la Tabla 11 adjuntada a continuación, únicamente quedan recogidas aquellas variables que poseen valores significativos tanto en un año como en uno o dos años anteriores a ese.

En cuanto al efecto de las precipitaciones, las lluvias acumuladas anuales en el año anterior y la de dos años anteriores producen un incremento en el polen recogido en el segundo Periodo Principal de Polinización, siendo significativo al 95%. Este efecto también se observa con la lluvia de primavera de dos años antes. Este hecho podría justificarse con que las lluvias de dos años anteriores permiten a las especies que florecen en verano-otoño a estar mejor preparadas para su posterior floración.

Recio et. al (1998) en su trabajo titulado “Incidencia del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos” presentan su investigación realizada desde 1992 a 1997 y demuestran cómo las precipitaciones acumuladas, ya sean únicamente dos meses anteriores al inicio del periodo de floración, favorecen positivamente a la cantidad de polen generada (Recio et al., 1998).

PRECIPITACIONES			
Correlación de Spearman		Concentración PP1	Concentración PP2
Lluvia acumulada de un año anterior		-	0,428*
Lluvia acumulada de dos años anteriores		-	0,425*
Lluvia acumulada en primavera de dos años anteriores		-	0,438*
TEMPERATURAS			
Correlación de Spearman		Concentración PP1	Concentración PP2
PRIMAVERA	Media de T _{min}	-0,449*	-0,425*
	Media de T _{med}	-	-0,588**
VERANO	Media de T _{min}	-	-0,406*
	Media de T _{med}	-	-0,413*
INVIERNO	Media de T _{min}	-	-0,504**
	Media de T _{med}	-	-0,559**
	Media de T _{med} de un año anterior	-	-0,530**
	Media de T _{med} de dos años anteriores	-0,409*	-
	Mínima de T _{min} de dos años anteriores	-0,457*	-
ANUALES	Media de T _{med}	-	-0,480*
*. La correlación es significativa con alfa = 0,05 (bilateral).			
**. La correlación es significativa con alfa = 0,01 (bilateral).			

Tabla 11. Coeficientes de correlación de Spearman para las correlaciones entre las concentraciones de polen de Amaranthaceae de ambos PPP y las variables meteorológicas. En blanco las correlaciones no significativas.

En cuanto los efectos de las temperaturas, podemos observar que son todos negativos. Este hecho significa que conforme la temperatura aumenta, la cantidad de polen disminuye. En la primera floración se puede ver dicho efecto con las medias de la temperatura media del invierno

de dos años anteriores y también en la mínima de las temperaturas mínimas del invierno de dos años anteriores, siendo ambas correlaciones significativas al 95%. Por otro lado, en la segunda floración este efecto se ve en la primavera con la media de la temperatura mínima (n.s. 95%) y con la media de la temperatura media (n.s. 99%), en el verano con la media de la temperatura mínima y media ambas con un nivel de significancia del 95% y en el invierno con la media de la temperatura media del año anterior con un nivel de significación del 99%.

Asimismo, es complicado interpretar cómo las temperaturas medias de las medias y de las mínimas del invierno tienen un efecto sobre la concentración de polen en el segundo Periodo Principal de Polinización puesto que estas temperaturas son posteriores a dicha floración. Por otro lado, en cuanto al otoño no se ha tenido en cuenta porque no hay ninguna correlación significativa. Finalmente, se observa también una correlación negativa y significativa al 95% entre la temperatura media anual y la concentración de polen de la segunda floración.

Del mismo modo, también se han estudiado las correlaciones existentes entre los datos diarios de las concentraciones en ambos Periodos Principales de Polinización frente a las variables meteorológicas (Tabla 12).

Correlación de Spearman	Concentración diaria PPP1	Concentración diaria PP2
Lluvia diaria	-0,073**	-
T _{max}	0,433**	0,049*
T _{min}	0,463**	-0,053*
T _{med}	0,496**	-0,091*
*. La correlación es significativa con alfa = 0,05 (bilateral).		
**. La correlación es significativa con alfa = 0,01 (bilateral).		

Tabla 12. Coeficientes de correlación de Spearman para las correlaciones entre los datos diarios de las concentraciones de polen de Amaranthaceae de ambos PPP y las variables meteorológicas. En blanco las correlaciones no significativas.

En la primera floración se observa cómo las precipitaciones generan sobre la concentración diaria de polen una correlación negativa y significativa al 99%. Este hecho es debido a que tiene lugar el efecto del “lavado de la lluvia”, es decir, con lluvia la atmósfera se limpia generando una disminución en la cantidad de polen acumulada. En cambio, se observa un efecto positivo y

significativo también al 99% en la temperatura máxima, mínima y media, pues al encontrarnos en primavera, las temperaturas se ven incrementadas.

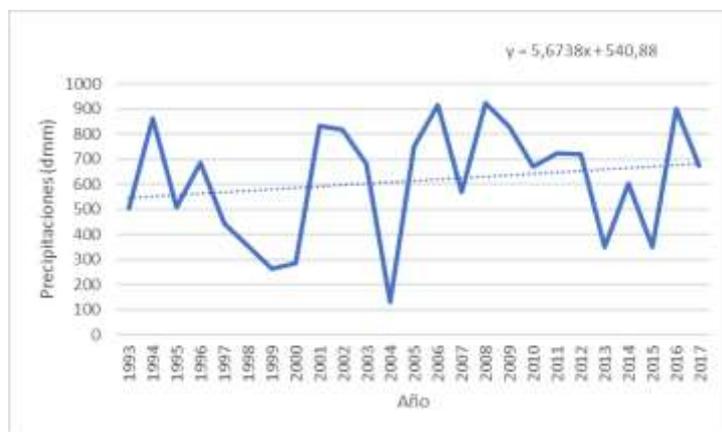
Por otro lado, en la segunda floración no se evidencia el lavado de la lluvia. Aparece una correlación positiva y significativa al 95% con la temperatura máxima, pero negativa con la mínima y la media, pues en este periodo de floración las temperaturas ya van disminuyendo.

En el trabajo ya comentado de Elvira-Rendueles et al. (2017) encontraron que un aumento de la temperatura tiende a incrementar el recuento de polen de la familia Amaranthaceae en la atmósfera. Asimismo, también pudieron probar como el efecto del “lavado de la lluvia” conlleva a disminuir las concentraciones de polen en el aire (Elvira-Rendueles et al., 2017). Por lo que, aunque en otros estudios realizados este hecho no es estadísticamente significativo, podemos contrastar que al menos en la ciudad de Cartagena sí que lo es.

5.6.1. Influencia de las precipitaciones sobre las concentraciones de polen de Amaranthaceae a lo largo del tiempo.

La Figura 24 representa la concentración de polen de Amaranthaceae para cada Periodo Principal de Polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018) junto con sus respectivas ecuaciones de la recta y líneas de tendencia. Con estos gráficos se puede observar cómo a lo largo de los años ha habido un incremento en la concentración de polen de Amaranthaceae pues las pendientes son positivas, aunque no se alcance significación estadística. Se observa también cómo el incremento en la concentración es mayor en la segunda floración, puesto que la pendiente es mayor.

a) Concentración de polen durante el primer periodo principal de polinización.



b) Concentración de polen durante el segundo periodo principal de polinización.

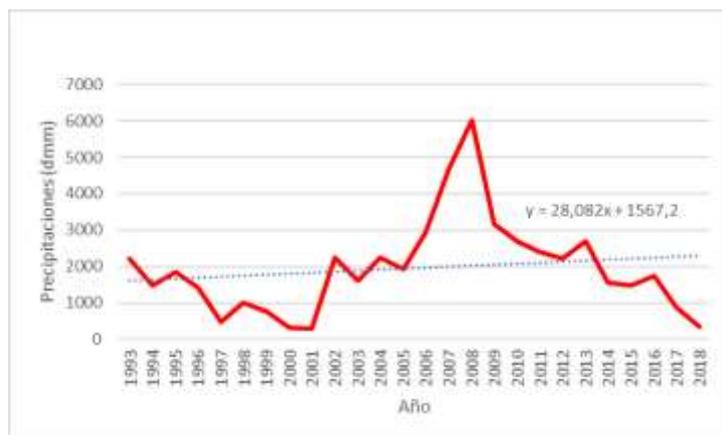


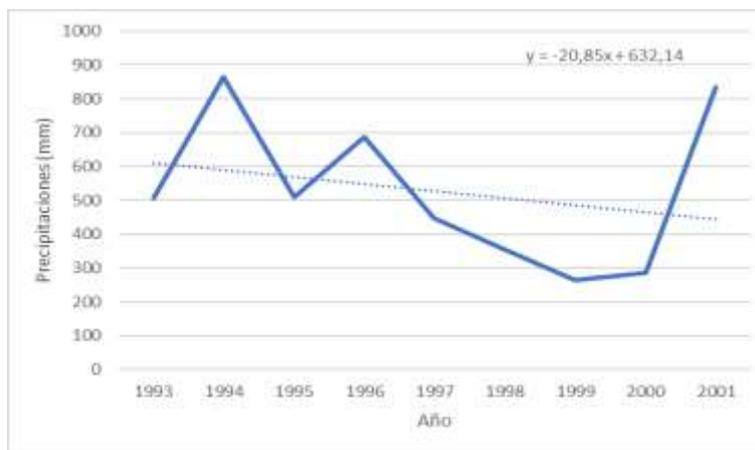
Figura 24. Representación gráfica de la concentración de polen de Amaranthaceae durante el primer Periodo Principal de Polinización (a) y el segundo Periodo Principal de Polinización (b) para los 26 años de estudio (1993-2018).

Posteriormente, con el fin de evaluar el efecto de los diferentes periodos de pluviometría registrada, se dividió la serie temporal de los 26 años de estudio en tres periodos: el primero de 1993 a 2002, el segundo de 2003 a 2010 y el tercero de 2011 a 2018.

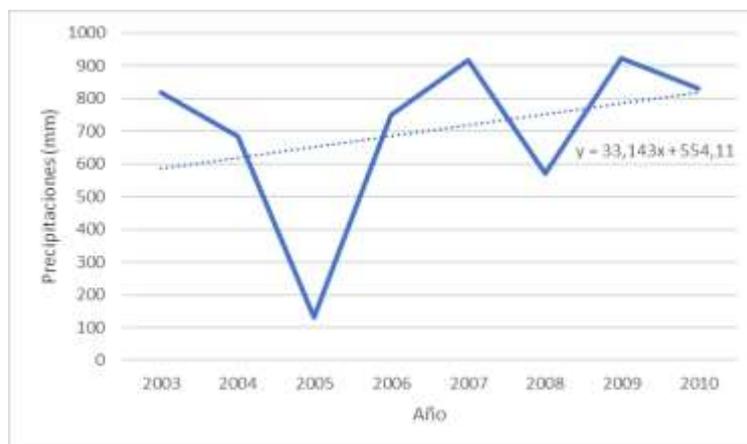
Si se analizan las precipitaciones registradas en el periodo de estudio, puede observarse cómo se pueden aislar tres periodos diferenciados. En el primer periodo temporal (1993-2002) la media de la lluvia acumulada anual fue menor de 300 mm, concretamente de 191 mm. Por el contrario, durante el segundo periodo temporal (2003-2010) la media de la lluvia acumulada anual supera los 300 mm, 337 mm. Sin embargo, durante el tercer periodo temporal (2011-2018) la cantidad media de lluvia anual acumulada volvió a ser menor de 300 mm, 176 mm.

La Figura 25 recoge las precipitaciones acumuladas recogidas durante el primer Periodo Principal de Polinización y, por otro lado, la Figura 26 recoge los datos de la precipitación acumulada durante el segundo Periodo Principal de Polinización. Ambas figuras presentan los resultados en función de la división de la serie temporal de los 26 años de estudio en tres periodos: el primero de 1993 a 2002, el segundo de 2003 a 2010 y el tercero de 2011 a 2018.

a) Cantidad de lluvia registrada desde 1993 a 2002.



b) Cantidad de lluvia registrada desde 2003 a 2010.



c) Cantidad de lluvia registrada desde 2011 a 2018.

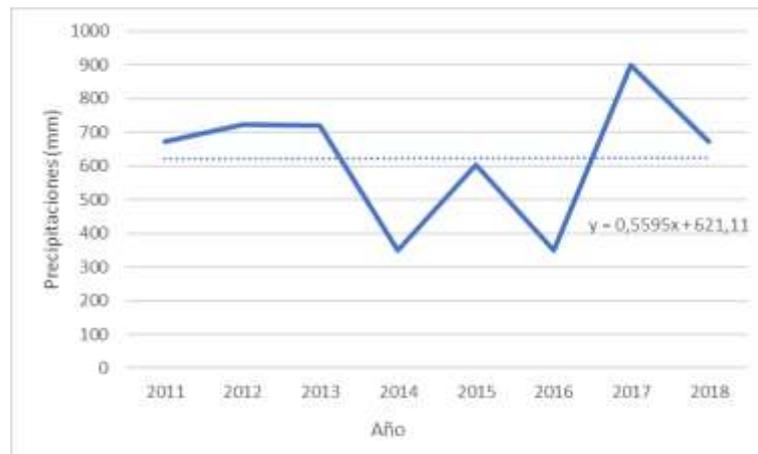
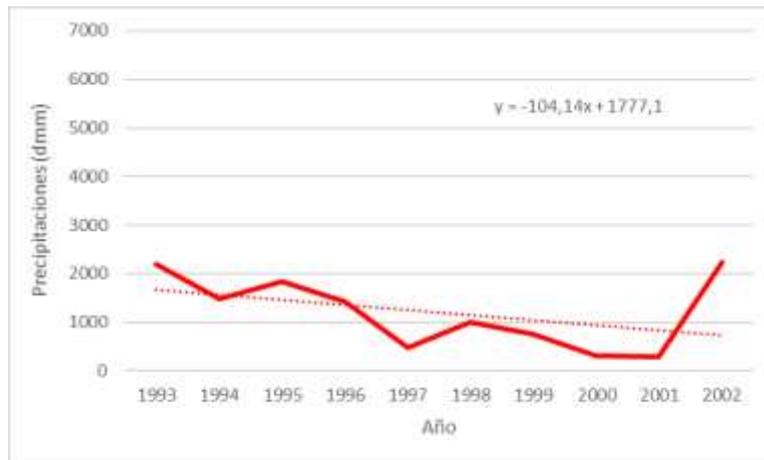


Figura 25. Cantidad de lluvia registrada desde el 1993 al 2002 (a), desde 2003 al 2010 (b) y desde el 2011 al 2018 (c) durante el primer Periodo Principal de Polinización.

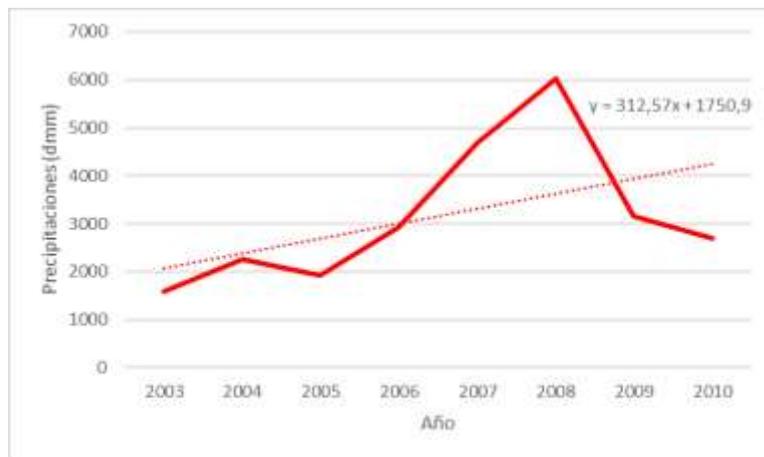
Si nos fijamos en las pendientes de las rectas de la Figura 25 observamos como, la del primer periodo temporal (a) es negativa, la del segundo (b) es positiva y la del tercero (c) es positiva pero prácticamente 0. Sin embargo, en ninguno de los tres casos la pendiente es estadísticamente significativa.

Por otro lado, en la Figura 26 observamos como durante el segundo Periodo Principal de Polinización, la pendiente de la recta del primer periodo temporal (a) es negativa, la del segundo (b) es positiva y la del tercero (c) es negativa a diferencia de la Figura 25. De hecho, esta última pendiente sí que tiene una significación estadística al 99%.

a) Cantidad de lluvia registrada desde 1993 a 2002.



b) Cantidad de lluvia registrada desde 2003 a 2010.



c) Cantidad de lluvia registrada desde 2011 a 2018.

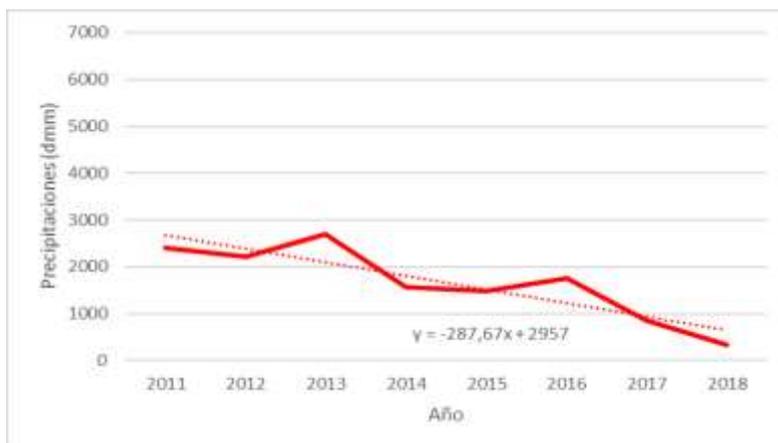


Figura 26. Cantidad de lluvia registrada desde el 1993 al 2002 (a), desde 2003 al 2010 (b) y desde el 2011 al 2018 (c) durante el segundo Periodo Principal de Polinización.

Asimismo, se realizó un análisis de las correlaciones entre las mismas variables meteorológicas analizadas anteriormente y las concentraciones de polen del taxón en los dos Periodos Principales de Polinización, pero esta vez con la división de las series temporales (Tabla 12).

Correlación de Spearman	PPP1	PPP2
1993-2002	-	-
Lluvia anual acumulada	-	-0,758*
Lluvia acumulada de otoño de dos años anteriores	-	0,738*
2003-2010	-	-
Lluvia acumulada de verano de un año anterior	-	0,762*
2011-2018	-	-
Lluvia anual acumulada	0,790*	-
*. La correlación es significativa con alfa = 0,05 (bilateral).		

Tabla 12. Coeficientes de correlación de Spearman para las correlaciones entre las concentraciones de polen de Amaranthaceae de ambos PPP y las variables meteorológicas en tres series temporales diferentes 1993-2002, 2003-2010 y 2011-2018. En blanco las correlaciones no significativas.

Con respecto al primer Periodo Principal de Polinización, solo existe una correlación positiva y significativa al 95% de la lluvia anual acumulada durante el periodo de 2011 a 2018.

En cuanto al segundo Periodo Principal de Polinización, se observa en el primer periodo temporal (1993-2003) una correlación negativa y significativa al 95% en la lluvia anual acumulada que nuevamente se relaciona con el efecto de lavado que hace que la cantidad de polen disminuya. Sin embargo, la lluvia acumulada de otoño de dos años antes proporciona una correlación positiva y significativa al 95%, este hecho podría justificarse con que las lluvias de dos años anteriores permiten a las especies que florecen en verano-otoño a estar mejor preparadas para su posterior floración. Finalmente, si observamos el segundo periodo temporal (2003-2010) podemos ver como la lluvia acumulada de verano de un año anterior genera una correlación positiva y significativa al 95% sobre la concentración de polen. Este hecho podría deberse a que al ser el verano la estación donde menos cantidad de precipitaciones se recoge, su incremento podría favorecer al aumento de la cantidad de polen generado.

5.7. Categorías polínicas para el género *Amaranthaceae* en Cartagena.

El manual de calidad de la Red Española de Aerobiología sugiere una serie de categorías polínicas elaboradas en función de unos umbrales que permiten clasificar las concentraciones de polen resultantes tras la realización de los muestreos con el objetivo de facilitar mediante un formato gráfico la interpretación de los resultados sobre la situación actual y una posible previsión. De esta manera, el usuario puede entender la información generada de una forma más simple.

El establecimiento de estas categorías polínicas es un intento de homogeneizar la información aerobiológica del territorio nacional, teniendo en cuenta los diversos climas y zonas biogeográficas existentes. Asimismo, en ocasiones es necesario establecer categorías polínicas a nivel local o regional para que la información sobre las concentraciones de polen halladas sea realmente útil en cada área geográfica. Pues existen diversos factores que condicionan la presencia de un determinado tipo polínico como son la abundancia de las especies en una zona concreta, presencia de otras especies con las que pueda establecer reactividad cruzada, presencia de contaminantes atmosféricos que agraven los efectos de la alergia, o condiciones meteorológicas particulares de la zona.

A la hora de poder definir las diversas categorías polínicas es necesario tener en cuenta:

- a) El carácter anemófilo/entomófilo de las distintas especies.
- b) La Integral Anual de Polen (IAP).
- c) La posible capacidad alergógena de las distintas especies.

De acuerdo con estos factores, se han establecido cuatro grupos que incluyen los diferentes tipos polínicos presentes en el territorio nacional. Cada grupo queda delimitado por cuatro categorías: nulo, bajo, moderado o alto, que hacen referencia a umbrales de concentración de polen necesarios para que un porcentaje bajo, medio o alto de la población sensible desarrolle los síntomas asociados a la presencia de estos tipos polínicos (Galán Soldevilla, 2007).

De esta forma, la familia *Amaranthaceae* pertenece al grupo dos junto con *Poaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Artemisia*, *Ericaceae*, *Asteraceae* y *Helianthus*. Las categorías polínicas para este grupo son:

- **Nulo:** < 1 grano/m³
- **Bajo:** 1-25 granos/m³
- **Moderado:** 26-50 granos/m³
- **Alto:** >50 granos/m³

Así, para determinar los valores umbrales de Amaranthaceae en la ciudad de Cartagena se calcularon los días del periodo que se catalogan como niveles nulos, bajos, medios y altos durante los 26 años de estudio (1993-2018), teniendo como referencia los valores teóricos del Grupo 2 del Manual de Calidad de la Red Española de Aerobiología (Tabla 13).

N.º DE DÍAS	N.º días < 1		1 < N.º días < 25		26 < N.º días < 50		N.º días >50	
	PPP1	PPP2	PPP1	PPP2	PPP1	PPP2	PPP1	PPP2
1993	9	26	31	84	17	7	10	11
1994	61	29	60	57	1	4	0	11
1995	33	11	72	48	5	12	1	11
1996	34	24	69	66	1	12	0	9
1997	27	47	84	45	2	3	1	2
1998	53	13	91	37	1	6	0	7
1999	21	27	63	24	0	3	0	5
2000	25	3	68	20	0	3	0	1
2001	22	3	67	16	0	2	0	2
2002	48	2	80	8	5	6	3	12
2003	2	4	66	12	7	7	1	9
2004	20	0	76	9	6	3	0	10
2005	14	3	36	21	0	6	0	12
2006	10	3	77	33	2	7	3	12
2007	11	0	75	7	7	2	2	15
2008	29	0	90	2	2	4	0	14
2009	19	0	61	6	12	6	0	11
2010	17	8	56	19	9	4	1	16
2011	12	1	80	72	4	9	0	12
2012	14	8	85	71	3	8	0	14
2013	27	0	117	44	2	6	0	15
2014	28	34	115	80	0	10	0	11
2015	23	32	117	43	1	6	0	9
2016	45	18	119	56	0	10	0	12
2017	6	24	120	108	2	2	0	4
2018	28	40	117	95	1	0	0	0

Tabla 13. Número de días por encima de los valores umbrales de la REA para Amaranthaceae durante los 26 años de estudio (1993-2018).

Basándonos en estos datos de referencia y con el objetivo de elaborar una serie de valores umbrales a nivel local, en concreto aplicables en Cartagena puesto que es la ciudad de análisis

del presente trabajo, se han calculado los días con niveles nulos, bajos, medios y altos para los dos periodos principales de floración durante los 26 años de estudio (Figura 27).

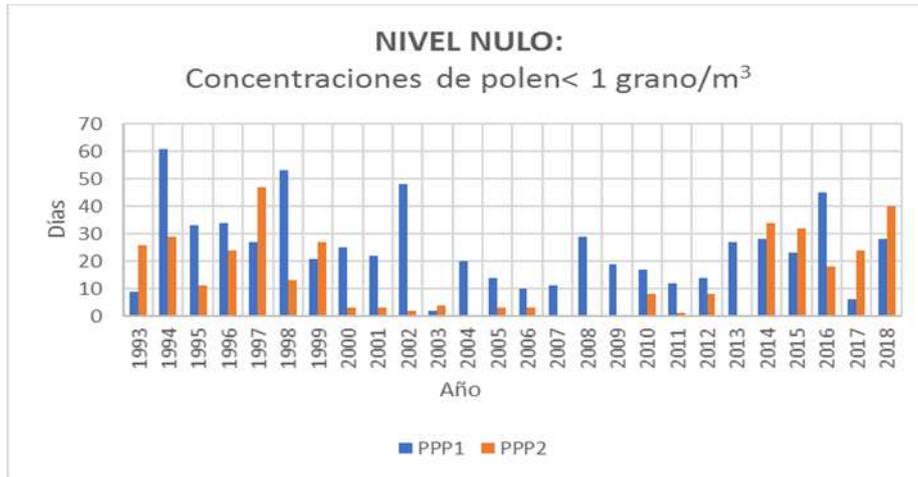
En la Figura 27 (a) queda representado el número de días que tienen categoría polínica nula tanto para el primer como para el segundo periodo de floración. En el caso de primer periodo se observa cómo en la totalidad de los años estudiados entre 10 y 60 días se registran valores de polen de *Amaranthaceae* menores a 1 grano/m^3 , eso sin tener en cuenta el año 1993 ya que cómo hemos comentado anteriormente se comenzó a medir en marzo de ese año. En cuanto al segundo periodo, por el contrario, los días con categoría polínica nula son muchos menos, entre 0 y 40 días. Pues en la ciudad de Cartagena la cantidad de polen registrada durante la segunda floración es siempre bastante superior en comparación con la primera.

En la Figura 27 (b) se presenta el número de días que tienen categoría polínica baja, con niveles de polen entre 1 y 25 granos/m^3 . Para los años estudiados el valor mínimo de días con niveles bajos durante el primer periodo de floración es de 31 y el valor máximo es de 120. Por otro lado, durante el segundo periodo de floración el valor mínimo de días es de 2 y el máximo de 108.

En la Figura 27 (c) se observa que para los años estudiados los días que se superan los niveles de polen impuestos por la REA (26 y 50 granos/m^3) durante el primer periodo de floración son menores, incluso en algunos años nulos, en comparación con el segundo periodo.

Finalmente, en la Figura 27 (d) se puede contemplar qué en todos los años de estudio durante la segunda floración hay algún día en los que se han superado los $50 \text{ granos de polen/m}^3$. Por el contrario, en la primera floración hay algunos de los años dónde estos niveles de polen no se han llegado a alcanzar. Este hecho confirma visualmente cómo en Cartagena, la concentración de polen registrada durante el primer Periodo Principal de Polinización es menor que la registrada durante el segundo Periodo.

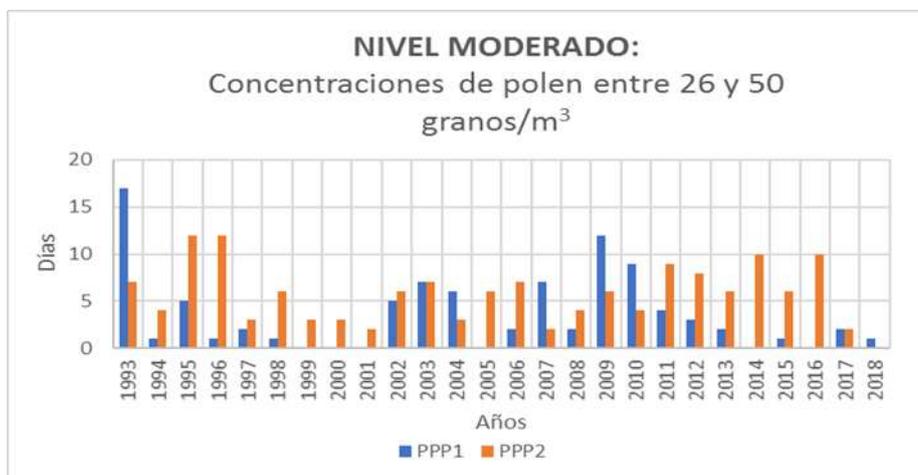
a) Número de días en los que la concentración de polen es **inferior a 1 grano/m³**.



b) Número de días en los que la concentración de polen está **entre 1 y 25 granos/m³**.



c) Número de días en los que la concentración de polen está **entre 26 y 50 granos/m³**.



d) Número de días en los que la concentración de polen es **superior a 50 granos/m³**.

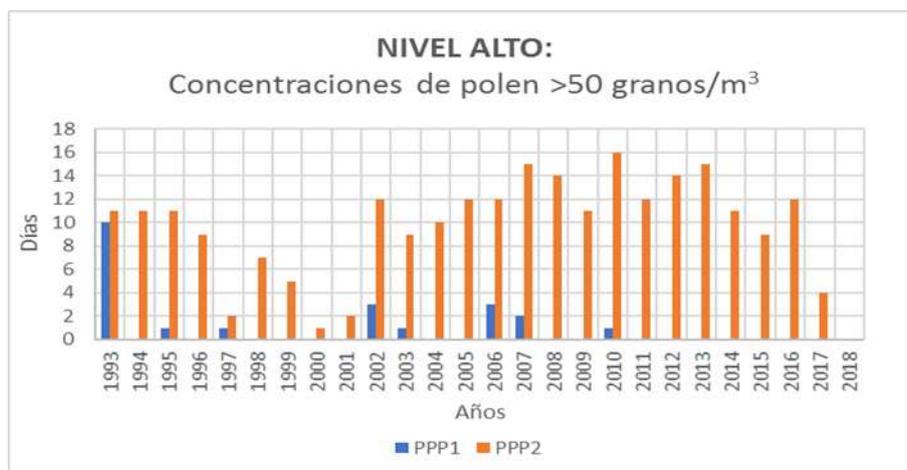


Figura 27. Número de días por encima de los valores umbrales propuestos por la REA: nulo, bajo, medio y alto de la concentración de polen de Amaranthaceae para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2018) en Cartagena. En azul: el número de días por encima de los valores umbrales durante el primer Periodo Principal de Polinización. En naranja: el número de días por encima de los valores umbrales durante el segundo Periodo Principal de Polinización.

La Red Palinológica de la Comunidad de Madrid utiliza los percentiles 95, 97 y 99 de los datos de las concentraciones del polen, del que se quiere realizar al análisis, con el objetivo de calcular el número de días al año con riesgo de exposición bajo, moderado, alto y muy alto (Gabaldón Arguisuelas, 2016).

Así, en la Tabla 14 quedan recogidos los percentiles 50, 80, 90, 95, 97 y 99 tanto para el primer Periodo Principal de Polinización como para el segundo Periodo Principal de Polinización, calculados según los registros de las concentraciones de polen de Amaranthaceae durante los 26 años de estudio (1993-2018) en la ciudad de Cartagena.

PERCENTILES	50	80	90	95	97	99
PPP1 (granos/m ³)	3	9	15	23	29	44
PPP2 (granos/m ³)	4	28	74	128	195,22	369,24

Tabla 14. Percentiles 50, 80, 90, 95, 97 y 99, calculados para la base de datos de polen de Amaranthaceae en Cartagena para los dos Periodos Principales de Polinización durante los 26 años de estudio (1993-2018)

De acuerdo con estos resultados, a continuación, se proponen unos valores de alerta para la población sensibilizada a este tipo de taxón en la localidad cartagenera. Para la primera floración, las categorías polínicas que sugiere la Red Española de Aerobiología se ajusta bastante bien a los percentiles calculados por lo que dejaremos los mismos valores umbrales. Sin embargo, en el caso de la segunda floración se proponen las siguientes categorías polínicas:

- **Nulo**: < 1 grano/m³
- **Bajo**: 1-25 granos/m³
- **Moderado**: 26-50 granos/m³
- **Alto**: 51-200 granos/m³
- **Muy alto**: > 200 granos/m³

La Tabla 15 recoge una comparación del número de días del segundo Periodo Principal de Polinización por encima de los valores umbrales nulo, bajo, medio, alto y muy alto de la concentración de polen de Amaranthaceae para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2018) en Cartagena según las categorías polínicas sugeridas por la Red Española de Aerobiología (REA) y la propuesta generada en el presente trabajo. En dicha tabla podemos observar cómo únicamente en 13 de los 26 años en los que se ha llevado a cabo el estudio se ha registrado niveles de concentración de polen superior a 200 granos/m³ y sólo entre uno y diez días al año.

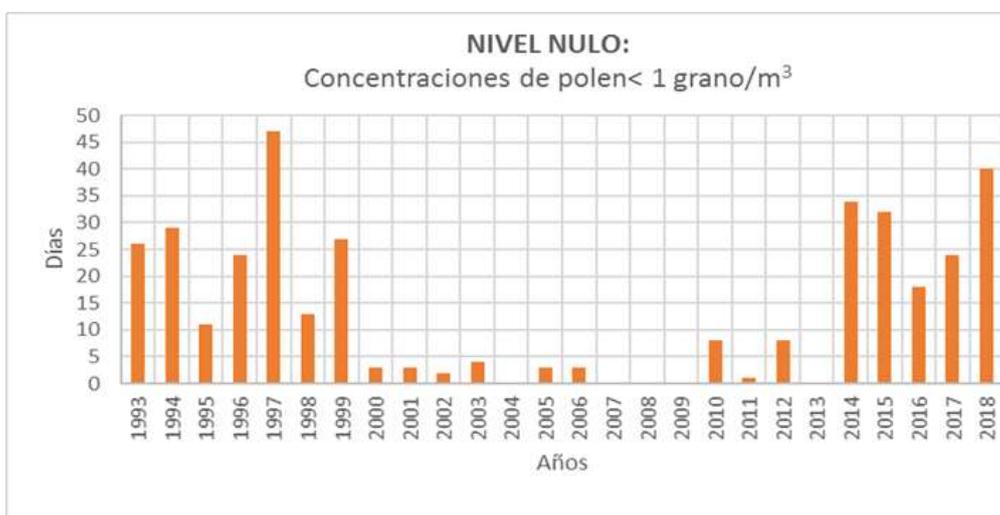
CATEGORÍAS POLÍNICAS						
Año	NIVEL NULO (< 1 grano/m ³)	NIVEL BAJO (1-25 granos/m ³)	NIVEL MODERADO (26-50 granos/m ³)	NIVEL ALTO		NIVEL MUY ALTO (> 200 granos/m ³)
	REA = PROPUESTA	REA = PROPUESTA	REA = PROPUESTA	REA (> 50 granos/m ³)	PROPUESTA (51-200 granos/m ³)	PROPUESTA
1993	26	84	7	11	11	-
1994	29	57	4	11	11	-
1995	11	48	12	11	11	-
1996	24	66	12	9	9	-
1997	47	45	3	2	2	-
1998	13	37	6	7	7	-
1999	27	24	3	5	5	-
2000	3	20	3	1	1	-
2001	3	16	2	2	2	-
2002	2	8	6	12	9	3
2003	4	12	7	9	7	2
2004	-	9	3	10	6	4
2005	3	21	6	12	10	2
2006	3	33	7	12	7	5
2007	-	7	2	15	8	7
2008	-	2	4	14	4	10
2009	-	6	6	11	5	6
2010	8	19	4	16	13	3
2011	1	72	9	12	9	3
2012	8	71	8	14	12	2
2013	-	44	6	15	10	5
2014	34	80	10	11	11	-
2015	32	43	6	9	8	1
2016	18	56	10	12	12	-
2017	24	108	2	4	4	-
2018	40	95	-	-	-	-

Tabla 15. Comparación del número de días del segundo Periodo Principal de Polinización por encima de los valores umbrales nulo, bajo, medio, alto y muy alto de la concentración de polen de Amaranthaceae para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2018) en Cartagena

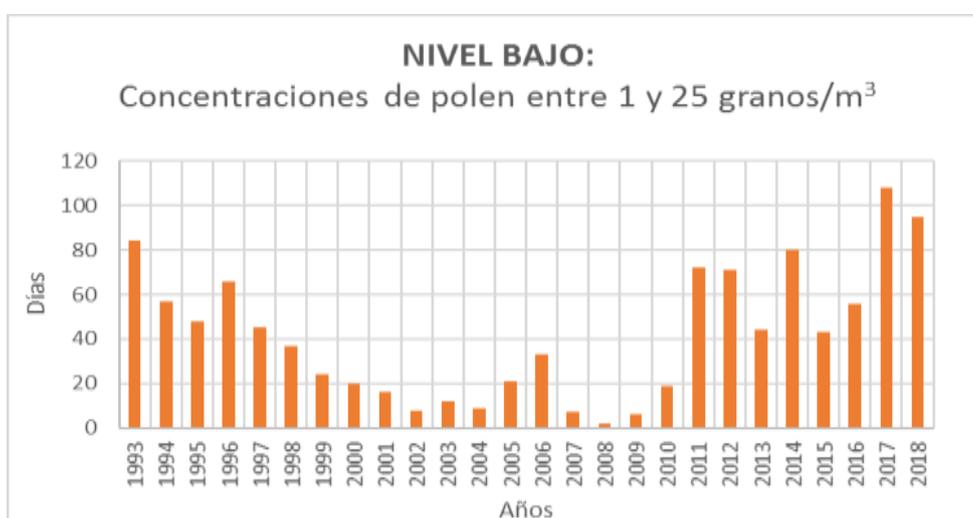
según las categorías polínicas sugeridas por la Red Española de Aerobiología (REA) y la propuesta generada en el presente trabajo.

Finalmente, teniendo en cuenta los nuevos umbrales propuestos para la ciudad de Cartagena se han elaborado unos nuevos gráficos únicamente del segundo Periodo de Polinización, ya que en el primero se han mantenido los umbrales propuestos por la Red Española de Aerobiología, para observar de una manera más visual lo analizado en la Tabla 16, adjuntada anteriormente (Figura 28).

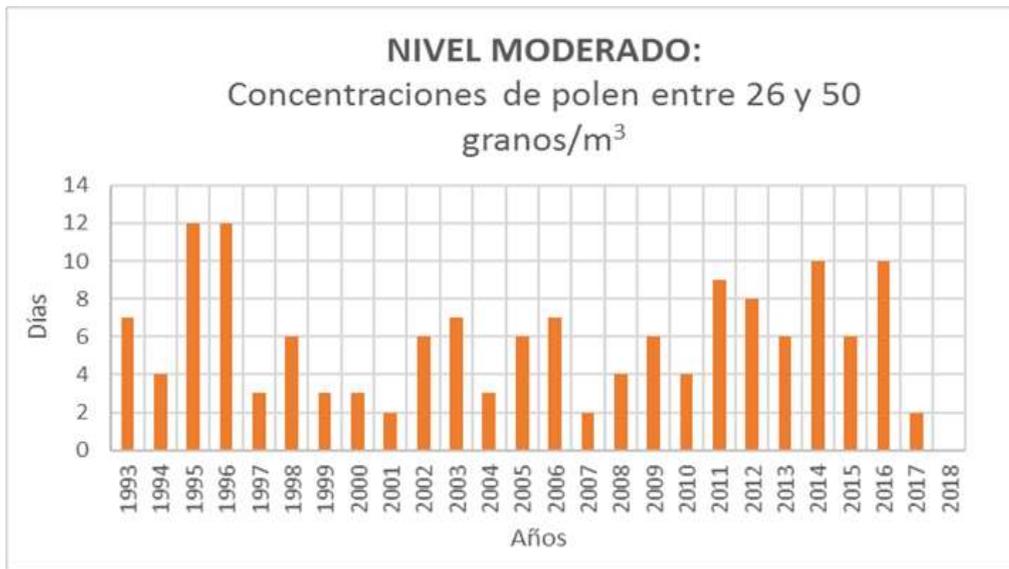
a) Número de días en los que la concentración de polen es **inferior a 1 grano/m³**.



b) Número de días en los que la concentración de polen está **entre 1 y 25 granos/m³**.



c) Número de días en los que la concentración de polen está **entre 26 y 50 granos/m³**.



d) Número de días en los que la concentración de polen está **entre 51 y 200 granos/m³**.



e) Número de días en los que la concentración de polen es superior a **200 granos/m³**.

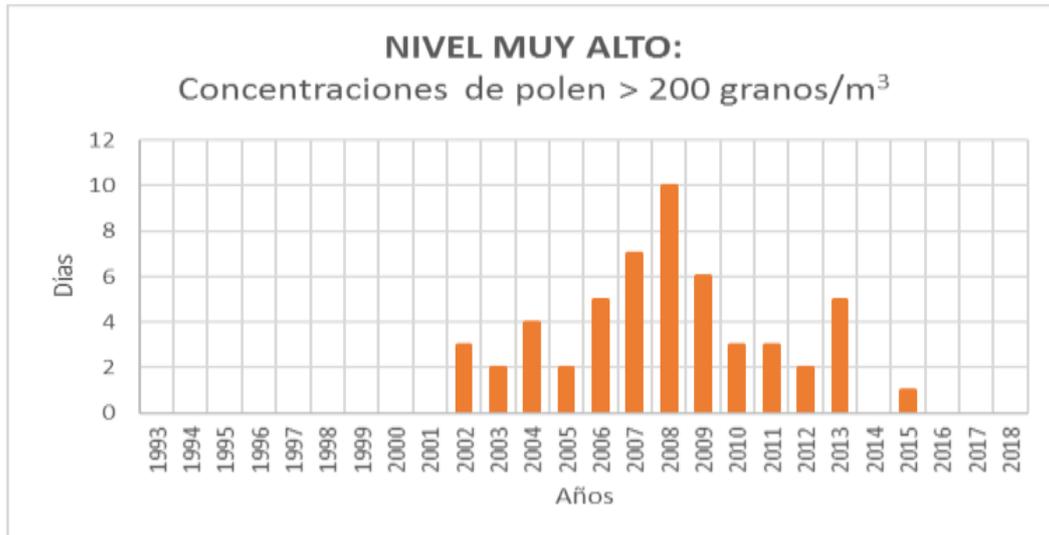


Figura 28. Número de días por encima de los nuevos valores umbrales propuestos en el presente trabajo: nulo, bajo, medio, alto y muy alto de la concentración de polen de Amaranthaceae durante el segundo Periodo Principal de Polinización para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2018) en Cartagena.

Finalmente, con esta nueva escala propuesta se podría informar de los valores altos y muy altos del polen de Amaranthaceae a las personas sensibles a este tipo de taxón. Así, en la Figura 28 podemos observar que los valores altos y muy altos de polen se dan entre 1 y 14 días al año como máximo siendo los valores muy altos registrados únicamente en 13 de los 26 años que se ha llevado a cabo el estudio.

Por ello, a la hora de evaluar los resultados sobre los valores umbrales del polen de Amaranthaceae, hay que tener en cuenta el tipo de taxón al que nos estamos enfrentando, es decir, su concentración en la atmósfera (valores pico que se consideren que podrían generar una respuesta alérgica), el potencial alergénico del polen, las épocas del año donde la concentración de polen es mayor, que en nuestro caso cómo hemos demostrado se da durante el segundo periodo principal de polinización y más concretamente durante el mes de septiembre prácticamente, y el tipo de clima que posee la zona donde se vaya a llevar a cabo el estudio.

6. Conclusiones.

1. Los datos aerobiológicos diarios de polen de Amaranthaceae no se ajustan a una distribución normal, al igual que no lo hacen las variables meteorológicas analizadas en el presente trabajo: temperatura mínima, máxima y media y precipitaciones.
2. Durante los 26 años de estudio (1993-2018) se afirma que el género Amaranthaceae posee dos Periodos Principales de Polinización en la ciudad de Cartagena, siendo la cantidad de polen registrada durante el segundo periodo mucho mayor que en el primero. Más del 74% del polen de Amaranthaceae se concentra durante los meses de julio a diciembre, siendo septiembre el mes de mayor concentración acumulada con un 64% del polen total de todos los años.
3. Las variables anuales del primer Periodo Principal de Polinización presentan las siguientes características: la media del polen total en el PPP1 es de 600 granos/m³ con un mínimo de 265 granos/m³ y un máximo de 924 granos/m³. El PPP1 de Amaranthaceae tiene una duración mínima de 88 días y una máxima de 164 días, siendo la media de 75 días. El inicio del PPP1 durante el periodo estudiado abarca desde el día 6 al 87, siendo el día promedio el 47 (tercera semana de febrero). El final del PPP1 tiene lugar a mediados del mes de junio y su día promedio es el 157. La concentración media alcanzada en el día pico es de 37 granos/m³, siendo la mínima de 14 y la máxima de 66 granos/m³.
4. Las variables anuales del segundo Periodo Principal de Polinización presentan las siguientes características: la media de polen total en el PPP2 es de 1946 granos/m³ con un mínimo de 324 y un máximo de 6018 granos/m³. El PPP2 de Amaranthaceae tiene una duración mínima de 20 días y una máxima de 159 días, siendo la media de 75 días, al igual que en el PPP1. El inicio del PPP2 durante el periodo estudiado abarca desde el día 174 al 256, siendo el día promedio el 212. El final del PPP2 abarca desde el día 261 hasta el 332 y su día promedio es el 285. La concentración media alcanzada en el día pico es de 293 granos/m³, siendo la mínima de 62 y la máxima de 1259 granos/m³. El porcentaje de polen de Amaranthaceae frente al resto de los tipos polínicos durante el segundo periodo de polinización presenta valores entre el 42 y el 98%.
5. El polen de Amaranthaceae presenta varios picos de concentración dentro de cada año que pueden ser objeto de futuros estudios. Las principales causas encontradas de estos picos son el transporte de polen desde zonas alejadas, y las diferencias en la temporalidad de la floración de las especies de Amaranthaceae.

6. Las temperaturas mínimas diarias por estaciones en la ciudad de Cartagena durante los 26 años de estudio muestran una tendencia decreciente con respecto al tiempo para todas las variables y estaciones, excepto en verano. Las temperaturas máximas diarias por estaciones muestran una tendencia decreciente con respecto al tiempo para todas las variables y estaciones. Las temperaturas medias diarias por estaciones muestran únicamente una disminución con respecto al tiempo en las estaciones de primavera e invierno. Las temperaturas medias anuales muestran una tendencia decreciente, con una disminución de las temperaturas máximas, y temperaturas mínimas menores. Se podría afirmar que los efectos del cambio climático no se manifiestan a escala local en la ciudad de Cartagena durante los 26 años en los que se ha llevado a cabo la realización del estudio.
7. La mayor parte de las precipitaciones se acumulan en otoño siendo verano la estación donde menor cantidad de precipitaciones se acumulan. El carácter torrencial encontrado está en acuerdo con lo que describe los registros meteorológicos de la zona: precipitaciones concentradas con episodios de ciclogénesis explosiva.
8. El comienzo de ambos Periodos Principales de Polinización se está adelantado y sus finales se están retrasando, por lo que existe un incremento en duración y tiempo de ambos periodos de floración. Existe un aumento neto de la concentración total anual del polen de Amaranthaceae durante ambos periodos de floración.
9. Existe una correlación positiva y significativa al 95% entre la concentración de polen en el PPP1 y la del PPP2, lo que supone que cuando la cantidad de polen recogida durante el primer periodo principal de polinización es alta, también lo es la del segundo periodo principal de polinización.
10. Las lluvias acumuladas anuales en el año anterior y la de dos años anteriores producen un incremento significativo al 95% del polen recogido en el segundo Periodo Principal de Polinización, favoreciendo positivamente la cantidad de polen generada. Sin embargo, las precipitaciones diarias generan sobre la concentración un efecto negativo y significativo al 99% (Lavado de la lluvia).
11. Las temperaturas máxima, mínima y media diarias poseen un efecto positivo y significativo también al 99%, lo que genera un aumento de la concentración de polen de Amaranthaceae.
12. A partir de los datos de polen obtenidos se han establecido categorías polínicas locales para el polen de Amaranthaceae de la ciudad de Cartagena. Las categorías polínicas para el PPP1 se ajustan a las sugeridas por la Red Española de Aerobiología: Nulo: $< 1 \text{ grano/m}^3$; Bajo: $1-25 \text{ granos/m}^3$; Moderado: $26-50 \text{ granos/m}^3$ y Alto: $>50 \text{ granos/m}^3$.

Las categorías polínicas propuestas para el PPP2 son: Nulo: < 1 grano/ m^3 ; Bajo: 1-25 granos/ m^3 ; Moderado: 26-50 granos/ m^3 ; Alto: 51-200 granos/ m^3 ; Muy alto: > 200 granos/ m^3 .

7. Bibliografía.

- Akers, T. G., Edmonds, R. L., & Kramer, C. L. (1979). Sources and characteristics of airborne materials, in: Edmonds, R.L. (Ed.), *Aerobiology: The Ecological Systems Approach*, US/IBP Synthesis Series. En *The Encyclopedia of paleontology*. Dowden, Hutchinson & Ross ; distributed by Academic Press.
- Al-Dowaisan, A., Fakim, N., Khan, M. R., Arifhodzic, N., Panicker, R., Hanoon, A., & Khan, I. (2004). *Salsola* pollen as a predominant cause of respiratory allergies in Kuwait. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 92(2), 262-267. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)61558-X](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)61558-X)
- Alfaya Arias, T., & Marqués Amat, L. (2002). Chenopodiáceas / Amarantáceas. En *Polinosis: polen y alergia* (pp. 69-78). MRA ediciones : Laboratorios Menarini.
- Anthos. Sistema de información sobre las plantas de España. (2020). Anthos. <http://www.anthos.es/>
- Assarehzadegan, M. A., Sankian, M., Jabbari, F., Noorbakhsh, R., & Varasteh, A. (2009). Allergy to *Salsola Kali* in a *Salsola Incanescens*-rich Area: Role of Extensive Cross Allergenicity. *Allergology International*, 58(2), 261-266. <https://doi.org/10.2332/allergolint.08-OA-0041>
- Belmonte Soler, J., & Roure Nolla, J. M. (2002). La polinosis a través del tiempo. En *Polinosis: polen y alergia* (pp. 25-31). MRA ediciones: Laboratorios Menarini.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2016). *Time series analysis: forecasting and control* (Fifth edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Castroviejo, S., Talavera, S., Buirra, A., Quintanar, A., García, M. Á., Talavera, M., Fernández Piedra, P., Aedo, C., & Real Jardín Botánico de Madrid (Eds.). (2017). *Compositae (partim): Vol. II*. Real Jardín Botánico, CSIC.
- Cecchi, L. (2013). *Introduction In Allergenic Pollen: A review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts*. Springer.

- Chatigny, M. A., Dimmick, R. L., & Mason, C. J. (1979). Atmospheric Transport, in: Edmonds, R.L. (Ed.), *Aerobiology: The Ecological Systems Approach*, US/IBP Synthesis Series. En *The Encyclopedia of paleontology*. Dowden, Hutchinson & Ross; distributed by Academic Press.
- Colás, C., Monzón, S., Venturini, M., Lezaun, A., Laclaustra, M., Lara, S., & Fernández-Caldas, E. (2005). *Correlation between Chenopodiaceae/ Amaranthaceae pollen counts and allergic symptoms in Salsola kali monosensitized patients*, 15, 5.
- Conesa García, C. (1990). *El campo de Cartagena: clima e hidrología de un medio semiárido*. Univ.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., Liccardi, G., Popov, T., & van Cauwenberge, P. (2007). Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 62(9), 976-990. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01393.x>
- Edmonds, R. L. (Ed.). (1979). (s. f.). *Aerobiology: the ecological systems approach*. Dowden, Hutchinson & Ross; Academic Press.
- Elvira-Rendueles, B., Moreno-Grau, S., Moreno, J. M., & Suárez-Cervera, M. (2013). *Aerobiología y polinosis*. En *Pólenes alergénicos y polinosis en la Región de Murcia*. (pp. 7-22).
- Elvira-Rendueles, B., Moreno, J. M., Costa, I., Bañón, D., Martínez-García, M. J., & Moreno-Grau, S. (2019). Pollen calendars of Cartagena, Lorca, and Murcia (Region of Murcia), southeastern Iberian Peninsula: 2010–2017. *Aerobiología*, 35(3), 477-496. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09578-y>
- Elvira-Rendueles, B., Zapata, J. J., Miralles, J. C., Moreno, J. M., García-Sánchez, A., Negral, L., & Moreno-Grau, S. (2017). Aerobiological importance and allergic sensitization to Amaranthaceae under arid climate conditions. *Science of The Total Environment*, 583, 478-486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.119>

- Fernández-Illescas, F., Nieva, F. J. J., Silva, I., Tormo, R., & Muñoz, A. F. (2010). Pollen production of Chenopodiaceae species at habitat and landscape scale in Mediterranean salt marshes: An ecological and phenological study. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 161(3-4), 127-136.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2010.03.006>
- Ferrer, A., Larramendi, C. H., Huertas, A. J., Pagán, J. A., Andreu, C., García-A-Abujeta, J. L., López-Matas, M. A., & Carnés, J. (2010). Allergenic Differences among Pollens of Three Salsola Species. *International Archives of Allergy and Immunology*, 151(3), 199-206. <https://doi.org/10.1159/000242357>
- Ferrer, L., Carnés, J., Rojas-Hijazo, B., Lopez-Matas, M. A., Sobrevía, M. T., & Colas, C. (2012). Assessing degree of flowering implicates multiple Chenopodiaceae/Amaranthaceae species in allergy. *International Archives of Allergy and Immunology*, 158(1), 54-62.
<https://doi.org/10.1159/000330105>
- Gabaldón Arguisuelas, A. (2016). *Estudio aerobiológico del municipio de las Rozas de Madrid y aplicación de resultados al control del polen alergénico*. 263.
- Galán Soldevilla, C. (2007). Interpretación de los Resultados. Categorías Polínicas. Calidad Biológica del Aire. Difusión de Información. En *Manual de calidad y gestión de la red española de aerobiología* (pp. 28-31). Servicio de Publicaciones, Universidad de Córdoba.
- García. (1990). *El campo de Cartagena: clima e hidrología de un medio semiárido*. Univ.
- García-Mozo, H. (2011). The use of aerobiological data on agronomical studies. *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM*, 18 1, 1-6. 2011, 159-164.
- Hernández, E. S. (2008). *Metodología para la validación del equipo RCS high flow para monitoreo de microorganismos en aire ambiental*. 90 (p-27).
- Hirst, J. M. (1952). AN AUTOMATIC VOLUMETRIC SPORE TRAP. *Annals of Applied Biology*, 39(2), 257-265. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x>

- ISO 8601-1:2019 *Data elements and interchange formats — Information interchange — Representation of dates and times*. Lugar de edición ISO: Ginebra.
- Merriam-Webster, Inc. (2003). Merriam Webster's Collegiate Dictionary. En *Merriam Webster's Collegiate Dictionary* (Eleventh edition, p. 894).
- Mohd Razali, N., & Yap, B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *J. Stat. Model. Analytics*, 2, 21-33.
- Moreno Angosto, J. M. (2009). *Modelos predictivos de la concentración polínica en la atmósfera de Cartagena (1993-1999)* [Universidad Politécnica de Cartagena].
<https://doi.org/10.31428/10317/845>
- Moreno-Grau, S. (2015). *De alérgenos aerovagantes: la red aerobiológica de la Región de Murcia (REAREMUR)*. <http://www.avrm.es/wp-content/uploads/2016/05/ALERGENOS-WEB.pdf>
- Pelta Fernández, R. (2002). La polinosis en la historia. En *Polinosis: polen y alergia* (pp. 13-24). MRA ediciones: Laboratorios Menarini.
- Pérez-Badia, R., Vaquero, C., Sardinero, S., Galán, C., & Garcia-Mozo, H. (2010). Intradivurnal variations of allergenic tree pollen in the atmosphere of Toledo (central Spain). *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM*, 17, 269-275.
- Punt, W., Hoen, P. P., Blackmore, S., Nilsson†, S., & Le Thomas, A. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143(1-2), 1-81.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>
- Recio, M., Trigo, M. M., Docampo, S., & Cabezudo, B. (2002). Estudio del ritmo intradiario del polen total en la atmósfera de Málaga durante los años 1992-1997. *Rea*, 7, 17-22.
- Recio, M., Picornell, A., Trigo, M. M., Gharbi, D., García-Sánchez, J., & Cabezudo, B. (2018). *Intensity and temporality of airborne Quercus pollen in the southwest Mediterranean area: Correlation with meteorological and phenoclimatic variables, trends and possible*

adaptation to climate change. Agricultural and Forest Meteorology, 250-251, 308-318.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.028>

Recio, M., Trigo, M., Toro, F. J., & Cabezudo, B. (1998). Incidencia del polen de

Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Botanica Malacitana*, 23, 121.

<https://doi.org/10.24310/abm.v23i0.8555>

Red Española de Aerobiología. (s. f.). Recuperado 8 de julio de 2020, de

https://www.uco.es/rea/infor_rea/captacion.html

Sánchez-Borges, M., Ivancevich, J. C., Rodríguez Pérez, N., & Ansotegui, I. (2011). Evidence based approaches to diagnosis and management. En *WAO White Book on Allergy* (pp. 101-132). [https://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-](https://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy_web.pdf)

[Allergy_web.pdf](https://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy_web.pdf)

Scheifinger, H., Belmonte, J., Buters, J., Celenk, S., Damialis, A., Dechamp, C., García-Mozo, H., Gehrig, R., Grewling, L., Halley, J. M., Hogda, K.-A., Jäger, S., Karatzas, K., Karlsen, S.-R., Koch, E., Pauling, A., Peel, R., Sikoparija, B., Smith, M., ... de Weger, L. A. (2013). Monitoring, Modelling and Forecasting of the Pollen Season. En M. Sofiev & K.-C. Bergmann (Eds.), *Allergenic Pollen* (pp. 71-126). Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-007-4881-1_4

Schmidt, W. (1981). Experimental Ecology (Ecological Geobotany). En H. Ellenberg, K. Esser, K. Kubitzki, E. Schnepf, & H. Ziegler (Eds.), *Progress in Botany/Fortschritte der Botanik: Morphology · Physiology · Genetics · Taxonomy · Geobotany/Morphologie · Physiologie · Genetik · Systematik · Geobotanik* (pp. 284-309). Springer Berlin Heidelberg.

https://doi.org/10.1007/978-3-642-68297-1_18

Seoane-Camba, J., & Suárez-Cervera, M. (1983). Método de filtración en la captación del polen y otras partículas aerovagantes. *Actas del IV Simposio de Palinología*, 233-250.

- Sierra Cabrera, M., & Subiza Garrido-Lestache, J. L. (2011). *Cuantificación de alérgenos de «poaceae, aoeacea, platanacea y cupresseceae» en la Atmósfera de Madrid y su correlación con los recuentos de pólenes y las variables meteorológicas y de contaminación (2009-2010)*. <http://site.ebrary.com/id/10526631>
- Sofiev, M., & Bergmann, K.C. (2013). *Allergenic pollen: a review of the production, release, distribution and health impacts*. Springer.
- Starr, J. R., & Mason, B. J. (1966). The capture of airborne particles by water drops and simulated snow crystals. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 92(394), 490-499. <https://doi.org/10.1002/qj.49709239405>
- Tehrani, M., Sankian, M., Assarehzadegan, M. A., Falak, R., Noorbakhsh, R., Moghadam, M., Jabbari, F., & Varasteh, A. (2011). Identification of a New Allergen from *Amaranthus retroflexus* Pollen, *Amaranthus retroflexus* Pollen, *Amaranthus retroflexus* Pollen. *Allergology International*, 60(3), 309-316. <https://doi.org/10.2332/allergolint.10-OA-0279>
- Trigo, I. F., Bigg, G. R., & Davies, T. D. (2002). Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130(3), 549-569. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2)
- Valero Santiago, A. L., & Picado Vallés. (2002). Polinosis. En *Polinosis: polen y alergia* (pp. 17-21). MRA ediciones: Laboratorios Menarini.
- Villalba, M., Barderas, R., Mas, S., Colas, C., Batanero, E., & Rodriguez, R. (2014). Amaranthaceae Pollens: Review of an Emerging Allergy in the Mediterranean Area. *Journal of investigational allergology & clinical immunology*, 24, 371-381; quiz 2 p preceding 382.