



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 *Pinus* en el bioaerosol atmosférico de la ciudad de Cartagena, España (1993- 2018)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y PROCESOS
SOSTENIBLES

Autor: Francisco Antonio Aznar Martínez

Directora: María Luisa Belén Elvira Rendueles

Codirectora: Stella Moreno Grau



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 2020

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	10
3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	12
3.1 Aerobiología y Palinología	12
3.1.1 Importancia de la Aerobiología	14
3.1.2 Las fuentes de polen	17
3.1.3. El proceso de polinización	20
3.1.4. Técnicas de muestreo	21
3.1.5. Fenología y Modelos predictivos.....	24
3.2 El género <i>Pinus</i>	26
3.2.1 Presencia de <i>Pinus</i> en la Región de Murcia	28
3.2.2 <i>Pinus</i> como fuente de polen.....	32
3.2.3 El género <i>Pinus</i> como bioindicador.....	33
3.2.4 Potencial alergénico y ornamental del polen de <i>Pinus</i>	34
4. MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1 Ciudad de estudio: aspectos biogeográficos	37
4.2 Captación de polen	38
4.2.1 Dispositivo y principio de captación	38
4.2.2 Ubicación del captador.....	40
4.2.3 Procedimiento para el mantenimiento del captador	41
4.3 Preparación del tambor para la captación	41
4.4 Cambio del tambor y transporte de la muestra	42
4.5 Acondicionamiento de la muestra	43
4.6 Identificación y recuento de los granos de polen	44
4.6.1 Identificación del tipo polínico de <i>Pinus</i>	45
4.6.2 Identificación del tipo polínico de <i>Pinus</i> como bioindicador.....	46
4.6.3 Criterios del potencial alergénico del polen de <i>Pinus</i> para determinar su uso ornamental.....	46
4.6.4 Criterios de valores umbrales del polen de <i>Pinus</i> en Cartagena	48
4.7 Cálculo de la concentración por el método Hirst	50
4.8 Análisis de datos y métodos estadísticos	51
4.8.1 Periodo Principal de Polinización (PPP)	51

4.8.2 Otros parámetros relacionados con el PPP	52
4.8.3 Datos meteorológicos.....	53
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
5.1 Identificación de las especies de <i>Pinus</i> dominantes en el área de estudio.....	54
5.2 Morfotipos evidentes de <i>Pinus</i> como bioindicador	55
5.3 Cálculo del potencial alergénico del género <i>Pinus</i> para estimar su potencial uso ornamental.....	55
5.4 Análisis de los datos aerobiológicos del taxón <i>Pinus</i>	57
5.4.1 Comportamiento intraanual	64
5.4.2 Análisis del comportamiento de la variación intraanual del conjunto de datos de la serie estudiada (1993-2018).....	77
5.5 Tendencias en la meteorología anual	78
5.6 Análisis de tendencias en el Periodo Principal de Polinización de <i>Pinus</i>	84
5.7 Categorías polínicas para <i>Pinus</i> en Cartagena.....	86
6. CONCLUSIONES.....	92
7. BIBLIOGRAFÍA.....	96

1. INTRODUCCIÓN

La Aerobiología se considera una rama de la Biología que estudia tanto partículas orgánicas como bacterias, virus, esporas de hongos, insectos muy pequeños y granos de polen que son pasivamente transportados por el aire (Fernández & Fernández, 2014).

La interrelación existente entre la Aerobiología y otras ciencias condiciona el que uno de los objetivos más importantes sea que la información que se obtenga sobre el contenido de las partículas biológicas en el aire tenga utilidad en un gran número de disciplinas y campos de aplicación: Biodiversidad, Agronomía, Ciencias Forestales, Meteorología, Polinosis... (Galán et al., 2007).

La presencia de partículas biológicas en la atmósfera se encuentra relacionada con la aparición de reacciones adversas que alteran la salud de los seres humanos, por ello es fundamental la obtención de datos que puedan ayudar a la adopción de medidas de prevención. Muchos sistemas de muestreo han sido diseñados para funcionar de manera similar al sistema de respiración y así obtener datos de gran aplicabilidad (Galán et al., 2007).

Del mismo modo, el cambio climático tiene potencial para afectar de manera notable a la exposición a alérgenos. El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono y las temperaturas más cálidas se traducen en un aumento de la producción de polen, especialmente en las zonas urbanas (Barnes et al., 2013). Además, los efectos del cambio climático se pueden observar en su estacionalidad (comienzo y duración del periodo de polinización), así como en el modo y cantidad de granos liberados en el ambiente y distribución de la planta (Terán & Haselbarth-López, 2009).

Por otra parte, el estudio que se centra en la identificación y caracterización de los granos de polen y esporas presentes en el aerosol atmosférico se denomina Aeropalinología (Cecchi, 2013). Los estudios de Aeropalinología resultan muy útiles a la hora de establecer relaciones entre el polen y esporas fúngicas y las distintas patologías alérgicas que se pueden producir en los seres vivos, ya que pueden suponer un problema de salud pública, pues las enfermedades alérgicas afectan aproximadamente entre el 15 y 30% de la población mundial, también sirven para elaborar medidas

preventivas con el fin de reducir la exposición, realizar mapas polínicos que tienen una aplicación importante como ayuda para el diagnóstico del paciente alérgico, etc.

La alergia es una reacción de hipersensibilidad que presenta una persona sensible frente a una sustancia extraña denominada alérgeno, el cual no afecta al resto de la población (Terán & Haselbarth-López, 2009). Existen diferentes metodologías para el diagnóstico de las alergias, como son el recuento del porcentaje de eosinófilos en sangre, determinación de IgE total y específica en suero, test de activación o degranulación de basófilos y los test cutáneos inmediatos o prick test (Sánchez-Borges et al., 2011).

Pinus es un género de plantas perteneciente a la familia de las pináceas. En la Península Ibérica está representado por seis especies autóctonas, pero, como también se cultivan diversas especies alóctonas con fines forestales u ornamentales, en muchos casos resulta difícil establecer su área original. En España, *Pinus* está principalmente representado por ocho especies distribuidas desde las zonas del litoral y de tierras bajas (*Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC., *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus pinea* L. y *Pinus radiata* D. Don) a las zonas montañosas (*Pinus nigra* J.F. Arnold, *Pinus sylvestris* L.) y las regiones subalpinas (*Pinus uncinata* Ram.) (De Linares et al., 2017).

Todas estas especies producen polen anemófilo de gran tamaño, constituidos por un cuerpo central y dos vesículas colocadas lateralmente o sacos que ayudan a la flotación atmosférica y su dispersión (De Linares et al., 2017). Se trata de árboles perennifolios, rara vez arbustos o matas, con abundante ramificación que, con su disposición, da lugar a copas de contorno cilíndrico-piramidal en la mayoría de los casos.

El polen de *Pinus* se caracteriza por no disponer de aperturas típicas (colpos y/o poros) y estar formado por un cuerpo central ovoide flanqueado en su eje mayor, por dos cavidades, que, aligerando su peso, le ayudan a mantenerse a flote en el aire (García-Ortega & Belmonte, 2002). Esta particular morfología polínica provoca que el polen de *Pinus* permanezca durante largos periodos en la atmósfera. Dado a su gran tamaño, raramente produce grandes

problemas en personas alérgicas al quedar retenido en las vías aéreas superiores (Méndez et al., 1993).

El presente estudio se va a llevar a cabo en Cartagena, que se corresponde con una de las áreas más secas de Europa. Cartagena es 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 aproximadamente 18,8°C y unas precipitaciones anuales entre 250-270 mm aproximadamente, por lo que constituye una zona de gran aridez (Agencia Estatal de Meteorología, 2019). Hay que destacar que en la cubierta forestal de Murcia, un 24% del total se corresponde con *P. halepensis* y un porcentaje menor de *P. pinaster* y *P. pinea* (De Linares et al., 2017).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la realización de un estudio palinológico de la concentración de polen de *Pinus* presente en la atmósfera de la ciudad de Cartagena. Para conseguir este objetivo, se han llevado a cabo una serie de objetivos específicos:

1. Analizar el comportamiento del taxón *Pinus* en el bioaerosol de Cartagena en base a las variables climáticas y biogeográficas de la zona de estudio.

1.1. Influencia de los parámetros climáticos temperatura, precipitación y humedad en los recuentos anuales del taxón *Pinus* para el periodo 1993-2018.

1.2. Identificar las especies de *Pinus* dominantes en el área de estudio diferenciando las especies silvestres de las ornamentales.

2. Estudiar la variabilidad interanual del taxón *Pinus* en el bioaerosol de Cartagena definiendo su periodo principal de polinización (PPP) para cada año de la serie 1993-2018.

2.1. Análisis de la variación del PPP en función parámetros climáticos según los resultados del objetivo 1.1.

2.2. Identificar el potencial dominio de especies (objetivo1.2) en los diferentes picos del PPP.

3. Definir los índices polínicos anuales y valores umbrales del taxón *Pinus* en Cartagena.

3.1. Cuantificación de los índices polínicos del taxón *Pinus* para cada año de estudio de la serie 1993-2018.

3.2. Definición y cuantificación de los valores umbrales de *Pinus* en base a criterios como su potencial de emisión de polen, capacidad de dispersión, capacidad alergénica y sensibilidad de la población expuesta.

4. Comparar la evolución temporal del taxón *Pinus* en relación con la potencial influencia del cambio climático.

4.1. Estudio de tendencia de la evolución de la temperatura en la zona sobre el taxón *Pinus*.

4.2. Conocer la variación de los recuentos del taxón *Pinus* durante los periodos de sequía sufridos en la zona en el periodo 1993-2018.

3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En esta parte del trabajo se realiza una revisión sobre las bases teóricas en las que se basa este Trabajo Fin de Máster. Se define la aerobiología y palinología en el contexto de ésta, describiendo su importancia y aplicaciones. Del mismo modo, se van a exponer las características principales del género *Pinus*, su presencia en el ámbito de estudio y el potencial alergénico que presenta.

3.1 Aerobiología y Palinología

Hay varias definiciones de Aerobiología, aunque el término fue acuñado en primera instancia por Fred Campbell Meier en el año 1930, definiéndola como una ciencia multidisciplinar que estudia las partículas de origen biológico presentes en la atmósfera como pueden ser las esporas de hongos, fragmentos de líquenes y bacterias. Otros autores como Gregory en 1973 indicaron que la Aerobiología trataba el estudio de todas las partículas que son transportadas pasivamente por el viento bajo la acción de propiedades atmosféricas, Pathirane en 1975 definió la Aerobiología como ciencia que se encarga del estudio de la liberación, deposición e incidencia atmosférica de esporas, pólenes y otros microorganismos aerovagantes (Fernández & Fernández, 2014).

Actualmente la Aerobiología se considera como una rama de la Biología que estudia tanto partículas orgánicas como bacterias, virus, esporas de hongos, insectos muy pequeños y granos de polen que son pasivamente transportados por el aire (Fernández & Fernández, 2014).

El trabajo de Charles H. Blackley, titulado "*Experimental researches on the causes and nature of Catarrhus Aestivus*", publicado en 1873, se considera como el primer documento que evidencia que el polen aerovagante es la causa de la polinosis. Aunque el pionero fue Blackley hubo otros investigadores importantes que estudiaron la presencia de partículas biológicas en el aire. A continuación, se exponen algunos de ellos (Belmonte & Roure Nolla, 2002):

- Lazzaro Spallanzani (1729-1799) que investigó el desarrollo de vida microscópica en medios de cultivo facilitando las posteriores investigaciones de Louis Pasteur, quien demostró la presencia de esporas atmosféricas transportadas por el aire.

- Pierre Miquel (1850-1922), inspirado por Pasteur fue considerado el primer aerobiólogo profesional que investigó sobre la relación entre el bioaerosol atmosférico y su impacto en las enfermedades epidémicas.
- John Tyndall (1820-1893), propuso una metodología para mapear la distribución de la materia que flotaba en el aire y demostró que su distribución tenía similitud con la propagación de epidemias en la población, lo cual reafirmó la relación entre aerobiología y enfermedades.

Hyde describió la palinología como el estudio de las esporas de las plantas y su dispersión y aplicaciones, posteriormente surgió la Aeropalinología o estudio de pólenes y esporas aerovagantes o de difusión a través el aire, pero no fue hasta la última década del siglo XX donde el término Aeropalinología se sustituyó por el termino de Aerobiología, propuesto como se ha dicho anteriormente por Campbell, y no fue hasta la celebración del “*Symposium on extramural and intramural aerobiology*” aceptado por la comunidad.

La aerobiología es una ciencia muy multidisciplinar que requiere el conocimiento de varios campos de investigación como pueden ser la biomedicina, biología, física y sociología, del mismo modo, dentro de estos campos encontramos aplicaciones específicas que son de gran utilidad para la ciencia aerobiológica (Davies et al., 2015).

Según Punt, Hoen, Blackmore, Nilsson, & Le Thomas (2007), la palinología se centra en el estudio de los granos de polen y esporas de organismos como helechos y musgos, además de otro material biológico que pueda ser estudiado por medio de técnicas palinológicas. Se pueden distinguir varias subdisciplinas y la principal clasificación que se sigue es la siguiente (Iriarte, 2001):

- Acutopalinología. Disciplina que se centra en el estudio del polen actual, dentro de esta se pueden encontrar varios campos:
 - Aeropalinología. Estudio del polen que se encuentra en suspensión atmosférica.
 - Melisopalinología. Análisis del contenido de polen de las mieles.
 - Bromatopalinología. Análisis del polen contenido en alimentos.

- Criminopalinología. Estudio del polen en el ámbito medico legal y forense.
 - Copropalinología. Análisis de los granos de polen contenido en excrementos.
- Paleopalinología. Se trata del registro polínico en fósiles.

3.1.1 Importancia de la Aerobiología

La investigación en aerobiología consiste en averiguar cómo, por qué y cuándo una partícula biológica se emite a la atmósfera, cómo se dispersa y cuales son los impactos capaces de producir en el medio en el que se dispersa, desde su liberación hasta su deposición (Cervigón et al., 2016).

El contenido alergénico que está presente en la atmósfera varía de acuerdo con el clima, la geografía y la vegetación, entre otros factores. Las enfermedades alérgicas tienen un impacto notable en todo el mundo, produciéndose un incremento en las últimas décadas del siglo XX (Cervigón et al., 2016). Actualmente, se estima que la alergia al polen tiene una prevalencia de hasta el 40% (D'Amato et al., 2007) afectando a más de 300 millones de personas en toda la población (Singh & Mathur, 2012), siendo la causa del 51,8% de rinoconjuntivitis y del 30,2% de los casos de asma (Valero Santiago & Picado Valles, 2002).

Diversos estudios han demostrado que la urbanización, los altos niveles de emisión de los vehículos de transporte, la contaminación, así como el estilo de vida occidentalizado están correlacionados con el aumento de la alergia, es por ello que aquellas personas que viven en zonas urbanas tienen una mayor afección alérgica que las personas que viven en zonas rurales, aunque pueda pensarse lo contrario (D'Amato et al., 2007). Otro factor importante de influencia cultural o antropogénica en el incremento de la polinosis urbana es consecuencia del uso de ciertas plantas ornamentales anemófilas, fundamentalmente arbóreas en parques, avenidas, jardines y plazas públicas que son una nueva fuente de aeroalérgenos (Cariñanos et al., 2017), de lo cual se hablará posteriormente.

Los principales agentes contaminantes atmosféricos en las zonas urbanas suelen ser: dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y partículas en suspensión de un determinado diámetro aerodinámico equivalente tanto PM₁₀

como PM_{2,5}, presentando una mayor concentración los días soleados y no ventosos debido a una menor dispersión atmosférica de estos contaminantes. Los contaminantes abióticos presentes en el aire pueden interactuar con los granos de polen, causando un incremento de la liberación de sus antígenos o alérgenos, provocando diversos efectos respiratorios, asma, rinitis alérgica... a individuos sensibles. Además algunos autores han referido que las concentraciones elevadas de ozono pueden hacer a los individuos alérgicos más susceptibles al antígeno al que se sensibilizan (D'Amato et al., 2007).

Asimismo, las partículas de diésel presentes en la atmosfera de las zonas urbanas contienen diferentes productos químicos absorbidos que producen un aumento de la producción de IgE y la respuesta Th-2, lo que provoca un aumento de la alergia (Valero Santiago & Picado Valles, 2002).

Otro factor que influye en la enfermedad alérgica es el cambio climático. Uno de los efectos del cambio climático es aumentar los síntomas de la alergia debido su influencia en los cambios en la biología del polen, variando su nivel de producción y emisión, su potencial alergénico, lo que se traduce en un agravamiento de lo síntomas (Albertine et al., 2014). El cambio climático esta producido por un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, como el CO₂, SO₂, O₃, CH₄... que como hemos visto anteriormente, su presencia esta relacionada con un aumento de la capacidad alergénica del polen.

El dióxido de carbono (CO₂) está relacionado con un aumento del crecimiento de las plantas y un estimulador reproductivo, por el contrario, el ozono (O₃) está considerado como un represor del crecimiento vegetal además de provocar irritación de las vías respiratorias y aumento del asma (Albertine et al., 2014).

El cambio climático también puede producir cambios en la duración e intensidad de la estación polínica de cada especie según la localidad, en las características del periodo de polinización, es decir, en el comienzo y fin, y en la cantidad de granos liberados en el ambiente y su distribución (Terán & Haselbarth-López, 2009).

Por todo lo explicado anteriormente y la relación entre la carga alergénica presente en el aire y los episodios alérgicos, hace que desde el punto de vista

de la salud pública, interés investigar y estudiar la concentración atmosférica del polen y su evolución estacional (Cervigón et al., 2016). Este conocimiento puede ser muy útil para la determinación del riesgo de exposición, proporcionando información aerobiológica a las personas alérgicas y ayudando a los profesionales sanitarios en el diagnóstico y tratamiento clínico.

Debido a esta creciente demanda de información, en España se crearon redes aerobiológicas que analizan el polen diariamente. Como consecuencia del control continuo del polen atmosférico se disponen de series temporales de datos de más de 20 años, que permiten realizar predicciones, analizar tendencias y establecer los posibles impactos (Cervigón et al., 2016), no solo en humanos sino también en animales, ya que se pueden producir enfermedades como el asma felino, que es una de las enfermedades más comunes en gatos, la dermatitis atópica canina que es muy común en perros, el prurito en caballos que puede ser provocado por alérgenos ambientales, esporas... (Moreno-Grau, 2015)

En la Región de Murcia, la aerobiología comenzó a estudiarse en Cartagena como consecuencia de la presencia de un importante desarrollo industrial en la zona que produjo una intensa contaminación atmosférica y brotes epidémicos de asma en 1987, provocado por la descarga de haba de soja, lo que llevó a la instalación de cuatro captadores aerobiológicos. Fue en 1992, cuando decidió crearse la Red Española de Aerobiología (REA) y en 1993 se empezaron a recolectar datos en Cartagena con el método de Hirst. Posteriormente debido a la creación de la Red Aerobiológica de la Región de Murcia (REAREMUR) en 2009, se incorpora el muestreo aerobiológico en Murcia y en 2010 en Lorca, colocándose un captador en cada una de las ciudades.

La información aerobiológica de estas tres ciudades se difunde a través de la web del Colegio Oficial de Farmacéuticos y la web de AlergoMurcia, donde los datos se actualizan semanalmente. Los datos de Cartagena y Murcia se suministran a la web de pólenes del Comité de Alergia de la Sociedad Española de Alergia e Inmunología Clínica y los de Cartagena a la Red Española de Aerobiología y a la Red Europea de Aeroalérgenos. En todo este tiempo, en estas tres ciudades se han identificado 46 tipos polínicos diferentes (Moreno-Grau, 2015).

3.1.2 Las fuentes de polen

Los granos de polen son las células sexuales masculinas de las plantas con flores, se producen en el interior de las anteras y cuando han madurado, estos se liberan. Se podría decir que actúa como vehículo del gameto masculino, protegiéndolo de diversos factores como las inclemencias meteorológicas y que tiene que ser transportado hasta el gameto femenino para su fecundación (Belmonte & Roure Nolla, 2002).

Hay diversas formas en las que el polen puede llegar desde el órgano donde se forma (anteras) hasta el órgano femenino de la flor (estigma) y depende de cada especie en concreto. Algunos pólenes navegan por el agua, como pueden ser los *Posidonia*, otras especies se aprovechan de insectos para que transporten los granos de polen (entomofilia). Las especies entomófilas típicas se caracterizan por presentar flores de colores vistosos y generan néctar para atraer a los insectos. En las zonas templadas, la mayoría de las especies arbóreas, gramíneas y algunas herbáceas son anemófilas, es decir, utilizando el viento como medio de dispersión, lanzando grandes cantidades de polen al azar esperando que llegue hasta otro individuo de la misma especie (Valero Santiago & Picado Valles, 2002). Así estas especies se caracterizan por presentar flores pequeñas poco vistosas que emiten grandes cantidades de polen al formar inflorescencias.

Desde el punto de vista aerobiológico, las plantas que mayor importancia tienen, son las que usan el aire como medio de transporte o dispersión, es decir, las anemófilas, cuyos pólenes son mucho más alergénicos y pertenecen a las siguientes familias botánicas: *Poaceae* (*Poa*, *Lolium*, *Dactylis*, *Phleum*, *Zea*, *Bromus*...), *Oleaceae* (*Olea*, *Fraxinus* y *Ligustrum*), *Urticaceae* (*Parietaria* y *Urtica*), *Compositae* (*Artemisia* y *Ambrosia*), *Amaranthaceae* (*Salsola*, *Chenopodium* y *Amaranthus*), *Plantaginaceae* (*Plantago*), *Polygonaceae* (*Rumex*), *Betulaceae* (*Betula*, *Alnus* y *Corylus*), *Platanaceae* (*Platanus*), *Cupressaceae* (*Cryptomeria*, *Cupressus*, *Thuja*), *Fagaceae* (*Quercus*, *Castanea*), *Pinaceae* (*Pinus*), *Euphorbiaceae* (*Mercurialis* y *Ricinus*) (Valero Santiago & Picado Valles, 2002). Entre ellas, se encuentra *Pinus*, que es la especie objeto de estudio del presente trabajo.

Las estaciones polínicas principales en las que se puede dividir un año desde un enfoque clínico son las siguientes (Subiza et al., 1998):

- Finales de otoño e invierno. En esta etapa abarca desde noviembre a marzo y destaca el polen de árboles de las familias Cupressaceae y Betulaceae.
- Primavera y principios de verano. Abarca de abril a junio, destacando los pólenes de árboles y plantas herbáceas como Fagaceae, Oleaceae, Poaceae, Urticaceae, Plantaginaceae y Polygonaceae.
- Verano y principios de otoño. Esta estación comprende desde agosto a octubre y destacan Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Urticaceae, Asteraceae y compuestas, entre otros.

Los calendarios polínicos (Figura 1), resumen la información aerobiológica de un área en una sola figura (Elvira-Rendueles et al., 2019). Tienen como objetivo la representación gráfica de la dinámica anual de los principales tipos polínicos de una zona geográfica determinada, ordenados en función de su periodo de polinización. En una sola figura representan toda la información de origen aerobiológico de una localidad teniendo como finalidad facilitar la comprensión de la composición polínica de la atmósfera, informar sobre los tipos polínicos que pueden resultar de interés en cada momento del año y destacar la importancia relativa de unos respecto a otros (Elvira-Rendueles et al., 2013). Es preciso conocer esta información puesto que es relevante desde el punto de vista clínico ya que puede ser de gran utilidad para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad alérgica (Singh & Mathur, 2012).

Los calendarios más representativos son aquellos que son elaborados a partir de datos promedio de un periodo extenso de tiempo, puesto que en ellos se puede ver reflejada la variedad debida a la meteorología de la localidad y la variabilidad de determinadas especies que alternan años de elevada producción polínica con años de baja producción (Belmonte & Roure Nolla, 2002).

En general, en estos calendarios el eje de abscisas está representado por el tiempo, que pueden ser semanas, meses o años y el eje de ordenadas está representado por la escala del polen (Belmonte & Roure Nolla, 2002).

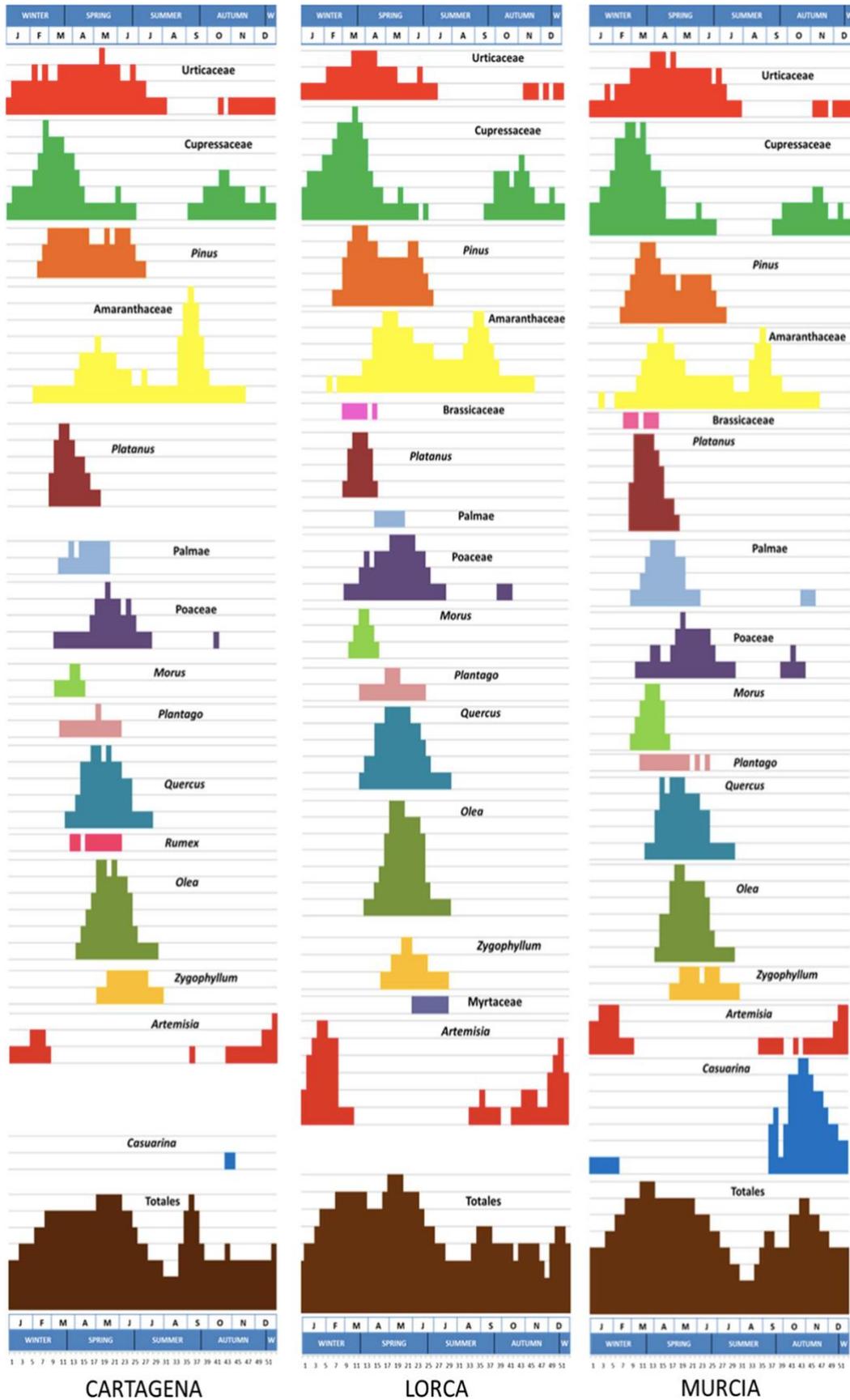


Figura 1. Ejemplo de calendario polínico perteneciente a las ciudades de Cartagena, Murcia y Lorca, de 2010 a 2017 (Elvira-Rendueles et al., 2019).

3.1.3. El proceso de polinización

Como se ha comentado anteriormente, los granos de polen son las células sexuales masculinas que se forman en las anteras y una vez maduros, son liberados, con el principal objetivo de llegar a la parte femenina y que se produzca la fecundación y así poder perpetuar la especie. La mayoría de las plantas son alógamas, es decir, solo logran la fecundación con plantas de su misma especie, pero hay otras, las plantas autógamias donde el polen es capaz de realizar la función de reproducción en la misma flor (Belmonte & Roure Nolla, 2002).

Las plantas anemófilas, donde la polinización es realizada por el viento, elaboran grandes cantidades de polen para que sean arrastrados por el viento y que se pueda producir la fecundación, sin emplear su energía en crear flores atractivas, sustancias dulces u olientes que atraigan a los insectos (Dowding, 1987).

En general, el proceso de transporte que sufre el polen desde su producción hasta que llega al receptor se puede sintetizar en: producción, liberación, transporte, dispersión y deposición. En ocasiones, después de la deposición los granos de polen pueden ser resuspendidos de nuevo en el aire (Sofiev et al., 2006).

Desde la perspectiva aerobiológica y alergológica las plantas anemófilas son las que más interesan. La anemofilia tiene una serie de ventajas e inconvenientes que vamos a comentar a continuación. En cuanto a las ventajas que presenta, destacan la ausencia de dependencia entre un animal y la planta para la polinización, lo que facilita el proceso cuando los insectos no están en su temporada de máximo crecimiento, por otro lado, hay un menor desperdicio de granos de polen debido a su consumo por el animal y, por último, permite la dispersión de los granos de polen a larga distancia, aunque en la mayoría de los casos no sea muy exitosa. Por el contrario, los inconvenientes son la dependencia que presenta al clima para su dispersión y deposición, el desperdicio de polen por sedimentación e impacto en superficies no receptivas o muerte prematura por radiación UV, etc. (Dowding, 1987).

La dispersión de polen por el viento está estrechamente relacionada con factores ambientales, concretamente, con factores climáticos como la temperatura, velocidad del viento y la humedad. Por ello, Guidos & Almeida (2005) relacionan algunos de estos factores con la emisión de granos de polen de forma muy general, debido a que cada especie concreta tendrá sus peculiaridades:

- Temperaturas inferiores a 10^o grados centígrados suelen inhibir la emisión de los granos de polen.
- Las lluvias son capaces de limpiar los granos de polen presentes en la atmosfera.
- Los fuertes vientos son capaces de resuspender los granos que estaban depositados en las superficies, suelo...

La permanencia del polen en la atmósfera es un factor muy importante que depende de la intensidad de su deposición, ésta puede ser seca, cuando las partículas contaminantes se transfieren a la superficie de la tierra o húmeda, por arrastre de los contaminantes por gotas de agua. Su tiempo de vida tiene una relación directa con la escala de distribución espacial y temporal. Se estima que la vida útil del polen en la atmósfera es de unos pocos días, por lo que es definido como un contaminante a escala local, sin embargo, debido a las grandes cantidades liberadas al medio, el impacto puede ser considerable a grandes distancias, pudiendo llegar hasta escalas continentales (Sofiev et al., 2006).

3.1.4. Técnicas de muestreo

Los dispositivos para realizar el muestreo en la atmósfera se conocen como captadores y muchos investigadores han trabajado en su diseño, perfeccionándolos y haciéndolos cada vez mas precisos.

Según Belmonte & Roure Nolla (2002), los principales métodos utilizados en los estudios aerobiológicos son los que se presentan en la Tabla 1, y en este apartado se van a comentar sus fundamentos y aplicación.

Técnicas de muestreo aerobiológico		
Captadores de precipitación	Precipitación gravimétrica	Placas Petri Captador Durham Captador Tauber
	Precipitación electrostática Precipitación térmica	
Captadores de impacto	Impacto por succión Impacto en cascada	Captador Hirst Captador Andersen
	Muestreadores inerciales y ciclónicos	Captador Rotorod Captador ciclónico
Captadores de filtración	Filtros sólidos	Filtros de fibra Captador de Cour Filtro de membrana Filtros por cassettes
	Filtrado en medio líquido	Captador McLeod Muti-Stage Liquid Impringer
Captadores biológicos	Biología molecular Inmunología	

Tabla 1. Resumen de los principales métodos de captación para el muestreo aerobiológico (Belmonte & Roure Nolla, 2002).

Los primeros captadores utilizados son los de precipitación, en concreto, los que están basados en el principio de gravedad. Estos consistían en superficies horizontales en las que se aplicaban sustancias adhesivas donde las partículas caían y quedaban retenidas en la superficie, como por ejemplo las placas Petri.

Más tarde siguieron los captadores Durham y Tauber, que consistían en dos discos separados entre sí unos 10 cm, el disco inferior contenía un soporte sobre el que se colocaba el porta y ahí se depositaban los granos de polen por su propio peso, en cambio, el disco superior servía de protección para evitar los efectos de la climatología. El principal problema de este tipo de captadores es que solo proporcionan información cualitativa, es decir, nos permite identificar la diversidad de partículas, sin generar datos de concentración.

Los captadores de impacto surgieron a partir de la necesidad de proporcionar datos de polen por unidad de volumen. Estos captadores se aprovechan de la trayectoria horizontal que siguen las partículas en el aire

haciendo que impacten en superficies untadas con sustancias adhesivas, reteniéndolas. Dentro de estos captadores, los de impacto por succión están ampliamente extendidos mediante el uso de una bomba de vacío, la cual impulsa el aire que aspira hacia la superficie receptora. El más utilizado en la mayoría de los estudios aerobiológicos es el captador tipo Hirst. Una variante de los anteriores son los captadores en cascada, donde las partículas son retenidas en función de su tamaño al hacerlas pasar a través de superficies receptoras de forma selectiva.

Todavía dentro de los captadores de impacto se encuentran los muestreadores inerciales, que están basados en la rotación. Uno de los más conocidos es el Rotorod que contiene dos brazos en forma de "U" en los que se encuentran las superficies receptoras, donde un motor los hace girar e interceptan las partículas. Algunos inconvenientes que presentan estos sistemas son que las partículas menores de 10 μm se fijan poco y a veces se desprenden, al estar la superficie de fijación desprotegida, la lluvia puede provocar un barrido sobre ellas y que las partículas de carbón o arena pueden ensuciar la preparación dificultando su lectura, debido al pequeño tamaño de la superficie receptora.

Por último, los ciclónicos son los menos conocidos, en estos las masas de aire se mueven en trayectorias de espiral y las partículas son separadas por la fuerza centrífuga, resultan útiles para la obtención de partículas de unos 10 μm de diámetro aerodinámico.

Por otro lado, los captadores por filtración pueden utilizar membranas de distintos materiales o fibras para retener las partículas. Estos captadores se usan mayoritariamente para capturar partículas de origen no biológico. El que más destaca es el captador tipo Cour que consiste en un eje perpendicular al suelo que contiene en un extremo superior un eje perpendicular capaz de girar 360°. En un extremo de este hay dos marcos captadores, uno para la obtención de datos semanales y el otro mensuales, donde hay un filtro con una mezcla de aceite de silicona. El otro extremo contiene una veleta para hacer que estos marcos estén siempre orientados hacia la dirección del viento. Entre las ventajas de los captadores tipo Cour se encuentra la buena identificación de los pólenes y la desventaja principal es la incapacidad de obtener la concentración media

diaria. En Cartagena, el sistema de filtración que más se utilizó fue desarrollado por Suárez-Cervera y Seoane-Camba, se trata de un sistema de filtración volumétrica, con un volumen de aspiración de 7 L/min que recogía la muestra sobre filtros de ésteres de celulosa (Moreno-Grau, 2015).

Hay que destacar que los captadores más utilizados en Europa de todos los citados anteriormente son el tipo Cour y especialmente, el tipo Hirst, que es el método homologado tanto por la REA (Red Española de Aerobiología) como por la AEA (Asociación Europea de Aerobiología). En el mercado hay dos marcas principales que fabrican y distribuyen los captadores del tipo Hirst: Burkard, de origen británico y Lanzoni de origen italiano, ambas marcas tienen autonomía para funcionar una semana ininterrumpidamente y permiten obtener datos diarios y horarios.

Por último, los captadores biológicos utilizan técnicas inmunoquímicas, relativamente recientes, que consisten en grandes filtros de fibras de vidrio colocados en un muestreador durante un periodo de tiempo determinado. Se utilizan principalmente para la detección de polen y medir el tamaño de las partículas (Singh & Mathur, 2012).

3.1.5. Fenología y Modelos predictivos

Según Williams-Linera & Meave (2002), el término fenología se le atribuye a Charles Morren, quien lo utilizó por primera vez. La fenología se puede entender como un campo de la ecología que estudia la temporalidad de los eventos biológicos cíclicos, aunque este término también se usa para referirse al comportamiento temporal de los mismos, de modo que se puede hablar de fenología foliar de una especie, de la fenología reproductiva de un gremio, etc.

La fenología nos permite obtener información como, por ejemplo, la temporalidad de la foliación, la floración y la fructificación en un ciclo anual, o el patrón regular anual de eventos visibles, etc.

Aunque el término fenología es relativamente nuevo, las observaciones de este tipo se remontan a la antigüedad. La definición de esta disciplina ha tenido una evolución paralela al desarrollo de la disciplina. Primeramente, se destacó el aspecto descriptivo, definiéndose como la ciencia para observar las fases del ciclo de vida o las actividades de las plantas y animales en el tiempo.

Posteriormente, se incluyó la relación entre la temporalidad de los eventos biológicos y la estacionalidad climática (Williams-Linera & Meave, 2002).

A los distintos eventos fenológicos se les conoce como “fenofases”, pudiéndose distinguir dos categorías principalmente: vegetativas y reproductivas. Las fenofases vegetativas incluyen la producción de hojas nuevas y la caída de hojas, en cambio, las fenofases reproductivas son los eventos de floración y fructificación. Sin embargo, aunque se haga una distinción entre fases no se debe olvidar las interrelaciones existentes entre ellas y que pueden ocurrir de manera simultánea (Williams-Linera & Meave, 2002).

Los distintos datos recogidos por la aerobiología y fenología nos permiten desarrollar herramientas para la predicción, llamados modelos predictivos que son útiles para infinidad de aplicaciones. Los modelos de regresión simple pueden predecir las fechas de inicio, el pico y el final de la temporada de polen, así como la variabilidad de los recuentos de polen (Scheifinger et al., 2013).

Los modelos predictivos pueden clasificarse en dos tipos de manera general, por un lado, los observacionales y por otro, los fenológicos.

Los **modelos predictivos observacionales** se pueden dividir en los modelos de regresión, de series de tiempo o de inteligencia computacional. Estos modelos relacionan los registros de polen, que constituye la variable dependiente, con una o más variables independientes que pueden medirse o predecirse y se forman sin el conocimiento de las fuentes, emisiones o los cálculos de difusión (Scheifinger et al., 2013)

Los modelos de regresión son modelos empíricos capaces de predecir el futuro a partir de relaciones pasadas entre una variable dependiente y uno o más variables independientes o predictoras. El objetivo de este modelo es llegar a predecir el conjunto de valores correspondientes a la variable dependiente, que se acerquen a los valores obtenidos por medición, mediante una ecuación. La capacidad de encontrar relaciones casuales que no solo predicen, sino que también explican la variable dependiente, hacen del análisis de regresión una técnica muy poderosa (Scheifinger et al., 2013).

Una de las desventajas principales que tiene el modelo de regresión es que el tiempo se mantiene fijo y los diferentes periodos de tiempo se manejan como variables diferentes, lo que impide cualquier exploración de la variable en las escalas del tiempo, por ello, para ver variaciones en el tiempo es preferible utilizar modelos de series temporales. En este modelo, el método clásico utilizado para pronosticar los niveles de polen es el método de Box-Jenkins. Que se basa en el refinamiento sucesivo del modelo al ajustar diferentes componentes deterministas y estocásticos de la variabilidad (Scheifinger et al., 2013).

Entre los métodos de Inteligencia Computacional, se pueden encontrar varios tipos como Redes Neuronales, Árboles de Regresión, Mapas Autoorganizados, Máquinas de Vectores de Soporte... Se tratan de herramientas avanzadas para el descubrimiento de parámetros de pronóstico, pudiendo utilizarse para múltiples tareas como la clasificación, la predicción numérica, el agrupamiento... La ventaja principal que presentan estos métodos son la precisión que tienen en combinación con la eficiencia computacional (Scheifinger et al., 2013).

En cuanto a los **modelos predictivos fenológicos**, se pueden distinguir principalmente dos enfoques, que vamos a comentar a continuación.

El enfoque puramente estadístico, que relaciona las fechas de comienzo con las temperaturas medias en ciertos periodos de tiempo anteriores al evento fenológico y no considera los factores que relacionan la fisiología vegetal y el medio ambiente. El segundo tipo de modelos fenológicos son los modelos de procesamiento que se basan en estudios experimentales sobre los posibles mecanismos existentes entre la fisiología vegetal y el medio ambiente (Scheifinger et al., 2013).

3.2 El género *Pinus*

Pinus es un género de plantas que pertenece a la familia Pinaceae, dentro del orden *Pinales*. En la Península Ibérica está representado por seis especies autóctonas, aunque en ocasiones es difícil delimitar su área original debido al cultivo de diversas especies alóctonas con finalidades ornamentales o forestales (García-Ortega & Belmonte, 2002). Sin embargo, en España las especies más

comunes que se pueden encontrar son ocho y se pueden observar a continuación en la siguiente tabla (2), con algunas de sus características más comunes:

Especies <i>Pinus</i> Nombre común	Longitud hojas	Piñas	Distribución en España
<i>P. uncinata</i> Pino negro	de 2 en 2, 4-8 cm	4-7 x 2-3 cm asimétricas	Pirineos y Sistema Ibérico
<i>P. sylvestris</i> Pino silvestre o albar	de 2 en 2, 3-7 cm	3-6 x 2-3,5 cm	Montañas del norte, centro y este peninsular
<i>P. nigra subsp. salzmanni</i> Pino blanco	de 2 en 2, 6-17 cm	4-8 cm sésiles	Mitad este de la Península y Baleares
<i>P. halepensis</i> Pino carrasco	de 2 en 2, 6-12 cm	5-12 cm pedunculadas	Centro, este, sur y Baleares y cultivado
<i>P. pinea</i> Pino piñonero	de 2 en 2, 8-20 cm	8-15 x 7-10 cm piñones	En casi toda la península, cultivado
<i>P. pinaster</i> Pino rodeno o resinero	de 2 en 2, 10-25 cm	8-22 cm subsésiles	En casi toda la península, cultivado
<i>P. canariensis</i> Pino canario	de 3 en 3, 20-30 cm	10-20 cm péndulas	Originario de Canarias Cultivado en el litoral peninsular
<i>P. radiata</i> Pino de Monterrey	de 3 en 3, 7-15 cm	7-14 x 5-8 cm péndulas	Originario en Norteamérica Cultivado en el norte peninsular

Tabla 2. Especies más frecuentes de *Pinus* en España con algunas características comunes (García-Ortega & Belmonte, 2002).

Los pinos son árboles de hoja perenne, es decir, posee hojas vivas durante todo el año, con abundante ramificación que, dan lugar a copas

cilíndrico-piramidales en la mayoría de los casos, como es propio de las coníferas, clase a la que pertenecen (Méndez et al., 1993).

El tronco, las ramas y las hojas están surcados por unas células organizadas en canales que producen y acumulan la resina. En cuanto a las hojas, son aciculares (largas y estrechas) y se disponen en grupos de dos a cinco por unas membranas basales llamadas braquiblasto (García-Ortega & Belmonte, 2002).

Las flores de los pinos son unisexuales y muy simples, resultando vistosas porque se agrupan alrededor de pequeños ejes, llamados conos o estróbilos. El cono masculino es un órgano ovoide, compuesto por un eje central en el que se insertan helicoidalmente un número muy elevado de sacos polínicos con dos cavidades, en las que en su interior se forma el polen. Los conos masculinos crecen en grupo en los extremos terminales de las ramas, lo que contribuye a la difusión de una cantidad muy elevada de polen. El cono femenino es también ovoide, formado por un eje central en el que helicoidalmente se insertan un número bastante elevado de escamas algo engrosadas que llevan adheridas en la base, las estructuras reproductoras femeninas. Si se produce la fecundación cada estructura femenina se transforma en una semilla, que se conoce como piñón. De esta manera, el conjunto de escamas que conforman el cono femenino se conoce comúnmente como piña, que crecen en los extremos de las ramas superiores (García-Ortega & Belmonte, 2002).

3.2.1 Presencia de *Pinus* en la Región de Murcia

Según el documento de la CARM, Estrategia Forestal de la Región de Murcia, con carácter general, la mayor parte de la superficie forestal de la Región de Murcia se halla arbolada en mayor o menor medida, concentrándose la mayoría de los montes arbolados en el noroeste y los enclaves de Sierra Espuña y Sierra de Carrascoy. Por especies, la más importante entre las arbóreas es el pino carrasco (*Pinus halepensis*), que aparece en la mayor parte de áreas arboladas. El pino blanco o salgareño (*Pinus nigra*), es mucho menos abundante que el carrasco y se haya representado en la parte alta de la zona noroccidental, Caravaca y Moratalla (Murcia Natural & Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, s. f.).

Del mismo modo, hay que destacar la presencia de *Pinus* en el paisaje forestal de la Región de Murcia, que constituye un género de gran interés debido a su capacidad restauradora, tras el desarrollo de intensas actividades como el pastoreo excesivo o las actividades mineras, entre otras, siendo capaz de mejorar el suelo y su capacidad de almacenar agua, creando una estratificación vertical, un ejemplo de esto se puede ver en Sierra Espuña donde las extensiones de pinares están en plena fase de expansión (Sánchez et al., 2001), y en el municipio de Cartagena donde constituye un 30,7% de la superficie forestal (Asociación de Naturalistas del Sureste, 2012).

Las principales especies del género *Pinus* que podemos encontrar en la Región de Murcia son cuatro: *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Pinus nigra*. A continuación, se realiza una descripción detallada de los aspectos más relevantes de estas especies.

Pinus halepensis, conocido comúnmente como Pino carrasco, es una conífera que puede alcanzar los 20 m de altura, con copa irregular y poco densa. Presenta una corteza de color gris ceniza con muchos surcos de color pardo gris a pardo rojizo. Las hojas son aciculares (largas y estrechas) agrupándose de dos en dos, con una longitud de ente 6 y 15 cm y de color verde claro. Las flores masculinas están dispuestas en pequeñas piñas, y en cuanto a las femeninas, se hacen leñosas cuando maduran, siendo los falsos frutos del árbol, dentro de estas piñas se localizan las semillas aladas. Esta especie florece de marzo a mayo, y en algunos casos incluso en febrero. Con relación a su distribución, *P. halepensis* posee gran poder colonizador, encontrándose extendido por toda la Región, aunque los ejemplares autóctonos se encuentran en las sierras del Noroeste. Este árbol proporciona madera de baja calidad por lo que se ha destinado a la obtención de leña y resina (Fundación Integra, 2019).



Figura 2. Árbol y flor de *Pinus halepensis* (Anthos, 2020).

Pinus nigra, conocido de forma común como Pino blanco o salgareño, es una conífera con distribución arborescente de hasta 20 m de altura, con copa estrecha, piramidal o cilíndrica. Presenta unas hojas lineares con un extremo puntiagudo (aciculares) en grupos de dos, con una longitud aproximada de 8 a 16 cm. Las piñas de este árbol son ovales con extremo recto, no pedunculadas, pequeñas y florecen a finales de primavera, en el mes de junio. Se trata de elementos característicos de pinares meso y supramediterráneos que raramente suelen aparecer por debajo de los 1200 m. Esta especie se encuentra extendida de forma puntual en las montañas más altas de la Región de Murcia, en las Sierras del Noroeste, Espuña y Carche. *P. nigra* se puede observar en repoblaciones y también en jardines, formando parte de su ornamentación (Fundación Integra, 2019).



Figura 3. Árbol y flor de *Pinus nigra* (Anthos, 2020).

Pinus pinaster, también conocido como Pino rodeno, negral o resinero, puede alcanzar hasta los 30 m de altura, presentando una copa piramidal en sus inicios que posteriormente, en su forma madura, adopta una forma más irregular. Contiene una corteza fisurada de color pardo rojizo, sus hojas aciculares pueden alcanzar una longitud de 25 cm, convirtiéndose en las más largas de todos los pinos presentes en la Región. Esta especie florece de marzo hasta principios de mayo, siendo las flores femeninas o piñas grandes y cónicas y madurando a finales del verano del año siguiente. Se suele encontrar en zonas semisoleadas con una altitud de entre 1500-1700 m, con una necesidad de agua superior a los 300 mm anuales, lo que condiciona su distribución en la Región, encontrándose sólo en zonas húmedas de Sierra Espuña y sobre todo en la comarca del Noroeste. *P. pinaster* se ha utilizado en replantaciones, debido a su rápido

crecimiento, del mismo modo, su madera y su resina han sido muy utilizadas (Fundación Integra, 2019).



Figura 4. Árbol y flor de *Pinus pinaster* (Anthos, 2020).

Pinus pinea, el Pino piñonero, es una conífera de hasta 30 m de altura con un tronco columnar que en la parte superior se abre en varias ramas, lo que da lugar a la formación de una copa espesa y ancha, con la forma aparaguada típica de los árboles que necesitan mucha luz. La corteza tiene una textura acorchada y escamada y tiene un color pardo gris. Las hojas aciculares están dispuestas en parejas y miden entre 10-18 cm de largo. Las flores masculinas están dispuestas en piñas pequeñas presentando un color amarillo. Sin embargo, las flores femeninas se convierten en piñas con forma redondeada, conteniendo semillas comestibles conocidas como piñones que están cubiertas de una dura cascara de color marrón, estas flores florecen de marzo a mayo. Los frutos maduran tras tres veranos y el piñón se puede recoger en otoño del tercer año o en la primavera del cuarto. *P. pinea* es propia de zonas con inviernos suaves y veranos secos y cálidos y puede encontrarse en bosques puros o mixtos, necesitando una media anual de agua de 250 mm aproximadamente. Se trata de un árbol muy cultivado debido a la producción de piñones muy valorados en la gastronomía. En la Región lo podemos encontrar en el Cabezo de la Jara (Puerto Lumbreras) (Fundación Integra, 2019).



Figura 5. Árbol y flor de *Pinus pinea* (Anthos, 2020).

3.2.2 *Pinus* como fuente de polen

Como se ha comentado en puntos anteriores, son ocho las especies de *Pinus* que podemos encontrar en España, distribuidas desde las áreas de litoral hasta las zonas montañosas (De Linares et al., 2017).

El periodo principal de polinización (PPP) de *Pinus* normalmente aparece al final de febrero o marzo (preprimaveral), aunque suele variar dependiendo de la especie y el lugar de estudio. Últimamente, este periodo principal de polinización esta experimentando un adelanto de su comienzo y un retraso en su final, lo que supone un aumento de la duración del periodo de polinización (De Linares et al., 2017).

El género *Pinus* produce una gran cantidad de polen, dispersándose con facilidad. A pesar de ello, este polen es una causa poco frecuente de alergia, debido a que presenta muy bajo contenido en proteínas y se necesitan cantidades muy grandes para producir alergia. La alergia a este polen produce molestias en nariz y ojos a muy pocos pacientes que generalmente son monosensibles, es decir, no alérgicos a otros pólenes. Por ello, la mayoría de los pacientes que presentan alergia en esa época, son causados por otros pólenes presentes como el polen de abedul, gramíneas, etc. (Lasarte, 2003).

Son varios los factores que influyen en la fenología de diversas especies de plantas, principalmente crecen en función de la temperatura, aunque la disponibilidad de agua y el fotoperiodo también son factores a tener en cuenta. El aumento de temperatura debido al cambio climático se ve reflejado en variaciones en el inicio, duración e intensidad de los picos en el periodo principal de polinización (Frenguelli et al., 2002). El aumento de la duración del PPP supone un mayor tiempo de exposición a alérgenos, lo que implica una mayor incidencia de alérgicos, aunque hay muchas especies en las que un aumento de la temperatura supone un factor limitante para su desarrollo biológico al ser menos tolerante a temperaturas excesivas (Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018).

El efecto de la sequía y el cambio de los patrones de lluvia sobre la producción de polen también es un factor a destacar, teniendo la disponibilidad de agua un efecto importante en el funcionamiento y estructura de los ecosistemas con consecuencias a largo plazo (Alba-Sánchez et al., 2010).

3.2.3 El género *Pinus* como bioindicador

Los registros de polen en el aire son un bioindicador adecuado para evaluar el comportamiento, conservación y las alteraciones en la polinización de la vegetación (Alba-Sánchez et al., 2010).

Un bioindicador es un organismo, parte de un organismo o una comunidad de organismos que proporciona información sobre la calidad del medio ambiente (Markert et al., 2003), lo que nos va a permitir la estimación y predicción de comportamientos futuros.

Pinus es uno de los mejores bioindicadores para detectar el cambio climático local (Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018). Asimismo, las hojas de algunas especies de este género se han utilizado para determinar la deposición atmosférica de contaminantes metálicos en zonas rurales (Raboal et al., 2004). Estas técnicas se han utilizado debido a la ausencia de información sobre el impacto de los contaminantes atmosféricos en los sistemas vivos (Ristiá et al., 2013).

En el estudio llevado a cabo por Pasqualini et al. (2003), se muestra que el aumento de los contaminantes atmosféricos debido al desarrollo de las actividades humanas conlleva un efecto sobre los organismos vegetales. Para ello utilizaron como bioindicadores las hojas de *Pinus halepensis* situados en varias zonas del sur de Francia expuestas a la influencia de varios contaminantes para determinar el impacto combinado de estos contaminantes con compuestos fenólicos. Un ejemplo es que la alta concentración de dióxido de azufre (SO₂) produce altos niveles fenólicos en las plantas. Finalizan afirmando que el impacto sobre el metabolismo secundario vegetal depende de la naturaleza química de los contaminantes y de las especies de plantas.

Mičieta & Murín (1998), utilizan granos de polen de tres especies de *Pinus* como bioindicadores de contaminación ambiental, ya que los granos de polen son sensibles a la contaminación y sufren cambios morfológicos con las emisiones. El posible impacto se evaluó a través de la frecuencia de los granos de polen alterados y con aberraciones cromosómicas de áreas contaminadas respecto a un área control no contaminada. Los criterios que se utilizaron para determinar los cambios morfológicos son:

- Tamaño significativamente más grande de lo normal.
- Forma alterada, con un número de sacos aeríferos mayor de dos.
- Deficiencias de tinción.

Por otro lado, las lesiones foliares pueden utilizarse como bioindicador hacia el estrés ambiental provocado por ozono. *Pinus* muestra una respuesta visible debido a una mala calidad del aire contaminado por ozono, además proporciona un registro convincente del impacto ambiental pudiendo examinar más de cerca las causas y efectos de esta contaminación (Smith et al., 2008).

3.2.4 Potencial alergénico y ornamental del polen de *Pinus*

Como se ha indicado, el polen de *Pinus* provoca un bajo número de sensibilizaciones en los pacientes, incluso, algunos tratados de alergia, siguen con duda sobre la alergenicidad de los pinos (Lasarte, 2003). Esto se debe a su bajo contenido en proteínas, su gran tamaño y su naturaleza hidrofóbica. Por esta razón, se necesita una exposición muy abundante a este polen para que se produzca polinosis (Armentia et al., 1990).

El género *Pinus* esta ampliamente distribuido por toda Europa, tanto especies autóctonas como otras importadas con fines forestales u ornamentales. El polen de estas especies siempre ha sido alergógeno en todos los países en los que se ha estudiado su prevalencia, pero a pesar de su abundancia en la atmósfera, se han detectado muy pocos pacientes sensibles a él, siendo muy acusado el contraste entre la cantidad de polen en la atmósfera y las escasas sensibilizaciones (García-Ortega & Belmonte, 2002). En la mayoría de los estudios se describe que casi la totalidad de los pacientes con sensibilización o alergia al polen de pino residen en zonas cercanas a extensos pinares.

Un estudio llevado a cabo por Lasarte, 2003, en Euskadi, encuentra mediante la técnica *Western-blott*, la presencia de nueve bandas alergénicas en distintas especies de pinos, destacando mayormente una proteína que ronda los 42 kilodaltons (kDa). Mediante inmunoensayos se cuantifica la cantidad de IgE específica de cada alérgeno perteneciente a distintas especies y se comprobó que presentan reactividad cruzada, inhibiéndose entre sí, por ejemplo, las proteínas de *Pinus radiata* desaparecen en el *blott* cuando el suero del paciente se incubaba de forma previa con un extracto de *Pinus sylvestris*, por lo tanto *P.*

sylvestris inhibe a *P. radiata* ya que sus proteínas capturan los anticuerpos del suero del paciente y por lo tanto el suero no puede reconocer las proteínas de *Pinus radiata*.

Una de las causas que puede aumentar la polinosis en las ciudades es la flora ornamental que se encuentra en los espacios verdes, como los parques, y que constituyen un elemento muy importante para hacer a una ciudad sostenible y saludable, además de los numerosos beneficios que aporta a la población, como la reducción del estrés, el bienestar mental, reducción de la obesidad, etc. Algunas de las causas que han incrementado la sensibilización a los alérgenos de la flora ornamental son la baja biodiversidad, la utilización de especies con capacidad alergénica desconocida y la interacción con los contaminantes presentes en la atmósfera (Cariñanos et al., 2016).

Cariñanos et al. (2016), definen el Índice de Alergenicidad de Espacios Verdes Urbanos (IUGZA), para estimar el potencial alergénico de algunos de los principales parques urbanos en diferentes ciudades de España. Se trata de un índice cuantitativo que considera tanto parámetros biológicos de las propias especies vegetales presentes en el parque, como ciertos aspectos de su actividad como foco emisor de partículas alergénicas.

$$I_{UGZA} = \frac{1}{\max VPA \times S_T} \sum_{i=1}^k VPA \times S_i \times H_i$$

El índice se expresa como un valor comprendido entre 0 (nula alergenicidad) y 1 (máxima alergenicidad), estableciéndose el umbral de 0,30 como suficiente para desencadenar reacciones de alergia en la población.

El Valor de Potencial Alergénico (VPA) que aparece en la fórmula, es a su vez un valor que resulta de la combinación de tres variables intrínsecas a las propias especies: la estrategia de polinización, la duración del periodo de polinización (en semanas), y la alergenicidad del polen de las especies (Cariñanos et al., 2016).

Pinus es una especie que se ha usado con fines ornamentales en algunas ciudades como Palma de Mallorca y Barcelona, siendo una de las principales especies contributivas a aumentar este índice (Cariñanos et al., 2017). En este

estudio se propone como medida de gestión, la introducción de diferentes especies a medida que las actuales vayan muriendo e introducir un bajo porcentaje de especies alergógenas.

Este índice puede constituir una herramienta muy útil para estimar el riesgo de padecer síntomas de alergia a la población que habita en las inmediaciones de los parques, permitiendo conocer que especies contribuyen más y cuales no pueden coexistir por problemas de reactividad cruzada, pudiendo incorporarse como una herramienta para el análisis del medio ambiente (Cariñanos et al., 2017).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo del trabajo se va a presentar la instrumentación y métodos seguidos para la obtención de los datos necesarios.

4.1 Ciudad de estudio: aspectos biogeográficos

Cartagena es una ciudad mediterránea situada a nivel del mar, en el Sureste de España, en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Este municipio se encuentra delimitado al norte con San Javier, Los Alcázares, Murcia y Torre Pacheco; al sur por el mar Mediterráneo; al oeste con Mazarrón y Fuente Álamo, situándose dentro de su término municipal y al este de Cartagena con el municipio de La Unión.

La localidad de Cartagena tiene una extensión de 558,1 km² y una población de 213 943 habitantes (Centro Regional de Estadística de la Región de Murcia, 2019). La ciudad se encuentra rodeada por cinco pequeñas colinas, el Molinete, Monte Sacro, Monte de San José, Despeñaperros y Monte de la Concepción.

El clima de Cartagena se define como mediterráneo cálido árido o subárido, ya que se trata de una de las áreas más secas de toda Europa. Generalmente, la mayoría de los días son soleados con vientos débiles. Estos vientos están determinados por el efecto barrera que suponen las sierras de las cordilleras Béticas. La dirección predominante a lo largo del año suele ser el suroeste y el noroeste.

La temperatura media anual está suavizada debido a la posición marítima y es de aproximadamente 18,8°C. El mes más frío es enero con una media de 13,7°C y el más caluroso es agosto con una temperatura media de 28,7°C.

En cuanto a las precipitaciones, la media anual oscila entre 250-270 mm aproximadamente, por lo que constituye una zona de gran aridez. Los valores anuales de precipitaciones son heterogéneos y la mayor parte de las lluvias se concentra en pocos días, en torno a los meses de otoño y en ocasiones de manera torrencial.

La documentación utilizada para definir las especies de *Pinus* más influyentes de la zona ha sido el documento de la CARM, "Estrategia forestal de

la Región de Murcia”, así como el recurso web “Anthos” (<http://www.anthos.es/>), que permite delimitar las especies existentes en una determinada área geográfica.

Anthos es un programa desarrollado para mostrar información sobre la biodiversidad de las especies vegetales de España en Internet. El programa que fue inicialmente fruto del convenio suscrito entre la Fundación Biodiversidad, perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y el Real Jardín Botánico (Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Organismo Público de Investigación del Ministerio Economía y Competitividad, se sostiene ahora a través de diversos proyectos e iniciativas a las que contribuyen las mencionadas instituciones y en no menor medida el proyecto Flora ibérica. Los mapas de distribución de plantas se elaboran a partir de la información corológica publicada en revistas y libros científicos, junto con los datos de colecciones de herbario revisadas críticamente por autores especializados que nos ceden sus datos. Anthos integra una gran cantidad de información cartográfica a través de su visor de mapas. Esta información se ofrece con dos intenciones. Por un lado, se trata de disponer de una base geográfica de referencia que permita ubicar espacialmente, en el territorio, las citas de los taxones buscados, y por otro, la diversidad de información ofrecida permite la interpretación visual de los datos de distribución de plantas sobre el mapa. La información cartográfica que ofrece Anthos procede de servicios públicos (WMS) nacionales o internacionales, o ha sido cedida por particulares (Anthos, 2020).

4.2 Captación de polen

El proceso de captación de polen trata de obtener los granos de polen presentes en el bioaerosol atmosférico para poder así realizar la identificación de los tipos polínicos, un conteo al microscopio y poder obtener resultados.

4.2.1 Dispositivo y principio de captación

El dispositivo que se ha utilizado para la retención de los granos de polen es un captador de impacto por succión, en concreto un captador tipo Hirst modelo VPPS 2000 de la casa Lanzoni S.R.L. Este muestreador permite obtener datos semanales y diarios y además realizar aproximaciones horarias. Estos datos son

homologables indistintamente de las características geográficas y climáticas de la zona en la que se ubica.

Estos captadores son utilizados por todos los grupos de investigación que se encuentran dentro de la red internacional *European Aeroallergen Network*, dentro de la cual se encuentra la REA.



Figura 6. Captador tipo Hirst, dispositivo de muestreo utilizado para este estudio (Belmonte & Roure Nolla, 2002)

El principio de funcionamiento en el que se basa el captador tipo Hirst es el principio de impacto activo, que consiste en que una corriente de aire choque con una superficie de captación. Para ello el aire se introduce por una ranura hacia el captador, debido a un vacío que es generado por una bomba de succión. El aire que entra impacta con una superficie que contiene un adhesivo, reteniendo así las partículas del diámetro adecuado que contiene la corriente de aire. El caudal de succión de la bomba es de 10 L/min similar al volumen de inhalación de un pulmón de persona humana.

El dispositivo contiene un tambor, que es un soporte circular y que se encuentra conectado a un reloj, el cual realiza un giro que posibilita el movimiento del soporte 2 mm cada hora, lo que permite obtener datos horarios y diarios.

La superficie receptora contiene un fragmento de cinta transparente, fabricada con un tipo de polietileno, llamada comercialmente Melinex e impregnada con una sustancia adhesiva que es una disolución de silicona en tetracloruro de carbono. Todos estos parámetros hacen que únicamente las partículas de entre 2-200 μm queden adheridas en la superficie.

Por otra parte, la veleta se encuentra en el exterior del dispositivo que protege la unidad de impacto con la función de orientar el orificio de entrada en la dirección del viento dominante.

4.2.2 Ubicación del captador

Una de las condiciones más importantes para obtener un muestreo representativo de la zona de estudio es la ubicación del captador. En este caso, el captador se encuentra ubicado en una azotea de la estación de trenes de Cartagena a 10 m de altura. Alrededor de esta azotea no se encuentran edificios colindantes que puedan obstaculizar la libre circulación del aire y está libre de parques o jardines que puedan adulterar los resultados de los muestreos.

La Red Española de Aerobiología (REA) emitió una serie de requisitos que deben cumplir los grupos de investigación a la hora de ubicar los captadores para minimizar los errores, estas normas son:

- Se debe colocar sobre una superficie horizontal, plana y de fácil acceso.
- Evitar que los edificios próximos hagan de pantalla e impidan el flujo de aire libre, recomendando ubicar el captador encima de un edificio a una altura que dependería de la ciudad y los edificios colindantes.
- Ubicar el muestreador con cierta elevación respecto a la superficie de instalación, para evitar los efectos del rozamiento de las capas de aire, mediante la instalación de una torreta que lo eleva sobre la superficie elegida.
- Evitar en la medida de lo posible la proximidad del captador a fuentes de emisión masiva de partículas, tanto fijas como móviles, de material biológico y no biológico. La existencia de poblaciones vegetales monoespecíficas alrededor del área elegida como ubicación provocará la sobreprestación de algún tipo polínico sobre otros, lo que originará datos erróneos y no representativos de la zona. La proximidad a fuente de material no biológico tanto fijas como móviles puede favorecer la presencia masiva de residuos en las muestras, lo que aumenta la dificultad en la identificación de los granos de polen.

- Evitar instalar el captador cerca del borde del edificio para eliminar todo lo posible las turbulencias generados por el choque del viento contra el mismo.

Por último, para la puesta en marcha del captador, una vez ubicado debe enchufarse el cable de conexión de la bomba de succión a la corriente eléctrica.

4.2.3 Procedimiento para el mantenimiento del captador

Para la realización de un buen mantenimiento, el flujo de la bomba de succión debe ser comprobado todas las semanas. Del mismo modo, se deben revisar todos los componentes del equipo cuando se efectúa el cambio de la cinta del tambor. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Medición del caudal de salida, anotando el valor y las posibles incidencias.
- Comprobar que el orificio de entrada del aire se encuentre limpio, sin obstrucciones, eliminando cualquier acumulación de suciedad con un pincel mojado en alcohol o acetona.
- Mantener constante durante el periodo de muestreo la distancia entre la superficie colectora y el lado interno del orificio de entrada del aire.
- Comprobar que el anclaje del equipo es seguro, estando el cuerpo del captador firmemente adherido a la superficie que lo sustenta y el orificio de entrada situado a una altura aproximada de un metro.
- Tras la instalación de la nueva cinta y vuelta a poner en marcha el equipo, comprobar el buen funcionamiento de la veleta y anotarlo en la hoja de ruta de muestreo.
- La ubicación del captador solo se revisa si al cabo del tiempo varían las condiciones del entorno o si se cambia dicho emplazamiento.

4.3 Preparación del tambor para la captación

El tambor consta de un soporte circular en el que se dispone una cinta de Melinex impregnada con un material adhesivo. El adhesivo utilizado para la retención de los granos de polen aspirados debe tener una serie de características:

- Debe ser insoluble en agua.
- No debe secarse ni evaporarse.

- El grosor de la película de adhesivo extendida debe permanecer intacta e inalterable en el tiempo, además de no sufrir ningún cambio con la humedad ni con la temperatura.
- Debe tener una buena capacidad de retención y evitar el rebote de las partículas impactadas.
- No debe permitir el crecimiento de hongos ni bacterias.
- No debe ser opaco bajo la luz del microscopio.
- Debe ser de fácil utilización.

Del mismo modo, el adhesivo utilizado es una silicona que se encuadra dentro del protocolo de trabajo de la REA, de la marca Lanzoni S.R.L. Esta silicona viene en disolución con tetracloruro de carbono, y tiene como ventaja que mantiene sus propiedades físicas inalterables en un intervalo de temperaturas muy amplio, comprendido desde -20°C a 150°C, lo que la hace un material adecuado para todas las zonas bioclimáticas del país.

Para impregnar la cinta Melinex con el adhesivo se utiliza un pincel con una anchura similar a la de la cinta. Esta acción se tiene que llevar a cabo bajo una campana de extracción de gases debido al carácter tóxico y volátil de los gases que desprende el tetracloruro de carbono.

4.4 Cambio del tambor y transporte de la muestra

Una vez preparado el tambor, es decir, se ha puesto la cinta de Melinex y se ha aplicado el adhesivo, se transporta hasta el lugar donde se encuentra el captador. Este transporte se debe realizar en un recipiente metálico, circular y herméticamente cerrado, para eliminar la posible contaminación y los roces con la cinta de Melinex durante su recorrido.

Para realizar el cambio del tambor se debe seguir el siguiente orden:

- Asegurarse que la veleta está bloqueada para evitar que esta pueda golpear al personal y producir un accidente, así como apagar la bomba de succión.
- Sacar el tambor antiguo.
- Poner el tambor nuevo y dar cuerda al reloj mecánico del muestreador para que vaya girando a lo largo de la semana.
- Encender de nuevo la bomba de succión y soltar la veleta.

4.5 Acondicionamiento de la muestra

Una vez que el tambor se lleva al laboratorio, la cinta de Melinex se tiene que separar del tambor con cuidado, sin tocarla, para no mancharla ni contaminarla (Figura 7) y se coloca sobre una regla de metacrilato. Una vez colocada sobre la regla, la cinta se corta en porciones de 48 mm que corresponden a 24 horas del muestreo semanal.



Figura 7. Separación de la cinta de Melinex del tambor.

Las tiras diarias ya cortadas se colocan sobre un portaobjetos, como se observa en la Figura 8. Para sellarlas, anteriormente se ponen unas gotas de glicerogelatina a una temperatura de 60°C sobre el portaobjetos y se deposita el trozo de cinta de 48 mm encima. Encima de la cinta se añaden unas gotas de glicerogelatina teñida con fucsina que va a tintar los granos de polen para facilitar su visualización al microscopio, puesto que este colorante es específico para el material vegetal. Por último, para sellar la cinta con las gotas de glicerogelatina con fucsina se pone un cubreobjetos y se presiona cuidadosamente para eliminar las posibles burbujas que se puedan producir.

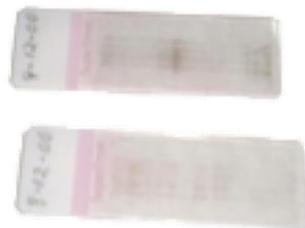


Figura 8. Tiras diarias ya cortadas sobre un portaobjetos.

Para calentar las mezclas de glicerogelatina y glicerogelatina con fucsina se ha utilizado una placa calefactora ya que son mezclas sólidas a temperatura ambiente y se tienen que calentar para que viren a estado líquido. Según las propiedades exigidas por la REA la glicerogelatina teñida con fucsina es el medio utilizado tradicionalmente para la preparación de muestras, entre otras cosas por ser compatible con la disolución de silicona utilizada como adhesivo en la cinta Melinex. Para elaborar un lote de esta disolución se necesitan 50 mL de glicerina, 7 g de gelatina, 1 g de fenol y una cantidad muy pequeña de fucsina básica. Todos estos componentes se diluyen en 42 mL de agua destilada y se mezclan en un agitador eléctrico bajo una campana extractora para evitar la inhalación de gases tóxicos.



Figura 9. Placa calefactora calentando las mezclas de glicerogelatina y glicerogelatina con fucsina.

Antes de que las muestras sean observadas al microscopio es conveniente esperar un tiempo antes para que la glicerogelatina pueda actuar como adhesivo entre la cinta y el cubreobjetos. Con este tiempo de espera también se favorece que los distintos granos de polen se colorean disminuyendo la dificultad en su identificación.

Una vez finalizadas, observadas y selladas, las muestras se pueden almacenar en contenedores que se denominan combi-box durante bastantes años.

4.6 Identificación y recuento de los granos de polen

El análisis al microscopio de las muestras es uno de los procesos fundamentales para la obtención de los resultados, siendo una de las fases en las que más tiempo se emplea por su exigencia para hacerlo de forma correcta,

por ello la mayoría de personal que realiza esta etapa debe tener experiencia suficiente en este campo.

Para la identificación y el recuento de los granos de polen se ha utilizado el microscopio óptico Olympus modelo BH-3. La observación al microscopio se realiza con cuatro barridos longitudinales utilizando el objetivo de inmersión 50x y el ocular 10x, además de el objetivo 100x para aquellas ocasiones en las que la identificación de determinados tipos polínicos lo requieran.

Los granos de polen son identificados por sus características morfológicas que se pueden apreciar al microscopio óptico: simetría y polaridad, unidades, forma, aperturas, tamaño y arquitectura de la pared que conforma el grano de polen (ornamentación, aperturas...) En este sentido, son de gran utilidad los atlas polínicos y las palinotecas que se confeccionan con las especies propias del entorno del lugar de estudio

4.6.1 Identificación del tipo polínico de *Pinus*

El polen de *Pinus* es muy característico. Presenta un cuerpo central ovoide flanqueado en su eje mayor, por dos cavidades laterales que se denominan sacos aeríferos, que aligeran su peso ayudando a mantenerse a flote en el aire.

Muestran un tamaño que oscila de mediano a muy grande ($P=35-36\ \mu\text{m}$; $E=48-82\ \mu\text{m}$), simetría bilateral, la exina en la superficie del corpus es granuloso-verrugosa y la de las vesículas es psilada-microperforada y carecen de aperturas típicas como, colpos o poros, es decir, es inaperturado.

Para liberar su contenido se produce una rasgadura en la exina del cuerpo central, que tiene un espesor de 2-4 micras y que separa los sacos aeríferos.

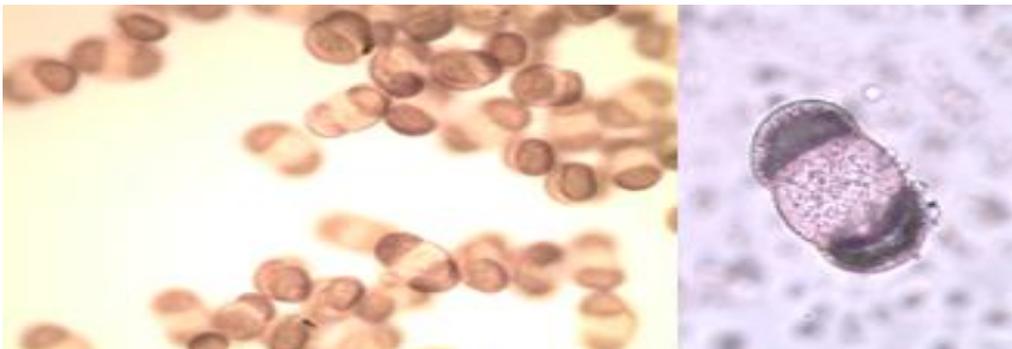


Figura 10. Micrografías al microscopio de un grano de polen de *Pinus* a diferentes aumentos.

4.6.2 Identificación del tipo polínico de *Pinus* como bioindicador

Como se ha comentado anteriormente, *Pinus* es uno de los mejores bioindicadores para detectar el cambio climático local (Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018). Para determinar los cambios morfológicos que definen al taxón *Pinus* como bioindicador usamos los criterios del trabajo de Mičieta & Murín (1998), que son:

1. Alteración del tamaño de polen de *Pinus*: tamaño significativamente más grande de lo normal.
2. Variaciones evidentes en la morfología del polen de *Pinus*: forma alterada, con un número de sacos aeríferos mayor de dos.
3. Deficiencias de tinción.

4.6.3 Criterios del potencial alergénico del polen de *Pinus* para determinar su uso ornamental

Para definir la idoneidad del uso de especies de pinos como flora urbana ornamental en la ciudad de Cartagena se usa el Índice de Alergenicidad de Espacios Verdes Urbanos definido por Cariñanos et al., 2016. El IUGZA, es un índice cuantitativo que considera tanto parámetros biológicos de las propias especies vegetales presentes en el parque, como ciertos aspectos de su actividad como foco emisor de partículas alergénicas.

El índice se expresa como un valor comprendido entre 0 (nula alergenidad) y 1 (máxima alergenidad), estableciéndose un umbral de 0,30 como suficiente para desencadenar reacciones de alergia en la población.

Se calcula mediante la formula:

$$I_{UGZA} = \frac{1}{\max VPA \times S_T} \sum_{i=1}^k VPA \times S_i \times H_i$$

El Valor de Potencial Alergénico (VPA) que aparece en la fórmula, es a su vez un valor que resulta de la combinación de tres variables intrínsecas a las propias especies: la estrategia de polinización, la duración del periodo de polinización (en semanas) y la alergenidad referenciada del polen de las especies consideradas:

- **Estrategia de polinización (E_p):**
 - Valor 0: Plantas que no emiten polen porque son estériles, cleistógamas o de sexo femenino.
 - Valor 1: Plantas con estrategia de polinización entomófila exclusiva.
 - Valor 2: Plantas con estrategia de polinización mixta o anfífila.
 - Valor 3: Plantas con estrategia de polinización anemófila.
- **Duración del periodo de polinización (D_{pp}):**
 - Valor 1: Duración del periodo de polinización de 1 a 3 semanas.
 - Valor 2: Duración del periodo de polinización de 4 a 6 semanas.
 - Valor 3: Duración del periodo de polinización de más de 6 semanas.
- **Potencial alergénico (P_a):**
 - Valor 0: No alergénico o sin referencia como alergénico.
 - Valor 1: Baja alergenicidad.
 - Valor 2: Moderada alergenicidad.
 - Valor 3: Alta alergenicidad.
 - Valor 4: Principales alérgenos locales en distintas zonas climáticas correspondientes.

Por lo tanto, para cada taxón el Valor de Potencial Alergénico (VPA) constará de tres valores que se corresponden con las variables anteriormente comentadas.

La contribución de cada especie al IUGZA, a parte del VPA, también incluye otros parámetros que se pueden observar en la Tabla 3, como el número de individuos presentes en un determinado parque y su porte individual (superficie emisora de polen (Si) y altura (H)).

Especie	Familia	n	TP	DPP	PA	Diámetro (m)	Radio	Si	Hi	Volumen Hi x Si	$n_i \times a_{pi} \times p_{ei} \times p_{ppi} \times S_i \times H_i$	Ii
		Número de individuos	Tipo de polinización	Duración del periodo de polinización	Potencial alergénico	Diámetro del árbol	Radio del árbol	Proyección del diámetro de copa	Porte o altura de la corona			

Tabla 3. Tabla modelo del cálculo del IUGZA de *Pinus* con los parámetros utilizados.

Los datos de campo recogidos que aparecen en la Tabla 3 son la proyección del diámetro de la copa (S_i) y la altura del árbol (H_i). Ambos parámetros se calculan según la explicación de la Figura 11, acentuando que la altura del árbol se estimó como la distancia entre la corona y la parte inferior de un cilindro que simula el árbol (Cariñanos et al., 2014).

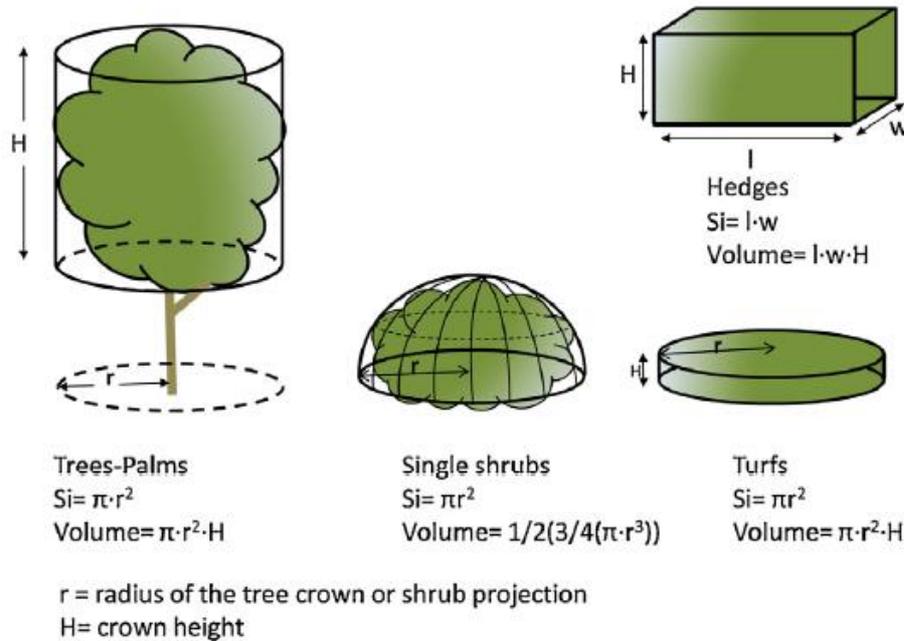


Figura 11. Explicación del cálculo de los parámetros S_i y H_i (Cariñanos et al., 2014).

4.6.4 Criterios de valores umbrales del polen de *Pinus* en Cartagena

En el manual de calidad de la Red Española de Aerobiología se propone una serie de categorías polínicas, considerando distintos umbrales, que posibilitan la clasificación de las concentraciones polínicas resultantes de los muestreos. Dichas categorías facilitan la expresión gráfica de los resultados en mapas sobre la situación actual y una posible previsión. De esta manera el usuario obtiene una mejor comprensión de la información generada. Con el establecimiento de las diferentes categorías polínicas se intenta homogeneizar la información aerobiológica en el territorio nacional, teniendo en cuenta los diferentes pisos bioclimáticos y unidades biogeográficas existentes.

Además, indica que se pueden establecer categorías y umbrales de concentración polínica a nivel local o regional teniendo en cuenta los numerosos factores que condicionan su presencia: abundancia de la especie en una zona concreta, presencia de otras especies con las que puede establecer relación de

reactividad cruzada, presencia de contaminantes atmosféricos, condiciones meteorológicas particulares, etc.

Para definir las diferentes categorías se tiene en cuenta:

- a) El carácter anemófilo/entomófilo de las distintas especies.
- b) El Índice Polínico Anual.
- c) La posible capacidad alergógena de las distintas especies.

A nivel nacional existen cuatro grupos con umbrales polínicos diferentes, perteneciendo *Pinus* al Grupo 4. Las categorías del Grupo 4 son las siguientes:

- Nulo: <1 granos/m³
- Bajo: 1-50 granos/m³
- Moderado: 51-200 granos/m³
- Alto: >200 granos/m³

Los tipos polínicos incluidos en este grupo son: *Olea*, *Cupressus*, *Platanus*, *Populus*, *Quercus* y *Pinus*.

Para determinar los valores umbrales de *Pinus* en Cartagena se calcularon los días del periodo que se catalogan como niveles nulos, bajos, medios y altos del periodo estudiado (1993-2018), teniendo como referencia los valores teóricos del Grupo 4 del Manual de Calidad de la REA según el formato de la Tabla 4.

AÑO	Nº días<1	Nº días>1<50	Nº días>50<200	Nº días>200
-----	-----------	--------------	----------------	-------------

Tabla 4. Número de días por encima de los valores umbrales de la REA para *Pinus* en el periodo estudiado (1993-2018).

En base a los resultados obtenidos se proponen los umbrales de polen más adecuados del taxón *Pinus* (según el formato de la Tabla 5) conforme nuestros datos bioclimáticos, biogeográficos y datos epidemiológicos relacionados con su potencial alergénico.

AÑO	Nº días<5	Nº días>5<20	Nº días>20<40	Nº días>40
-----	-----------	--------------	---------------	------------

Tabla 5. Número de días por encima de los valores umbrales propuestos para Cartagena durante el periodo estudiado (1993-2018).

4.7 Cálculo de la concentración por el método Hirst

Los cálculos de la concentración de polen se han llevado a cabo conforme el procedimiento indicado en el manual de la REA publicado en 2007. Los resultados alcanzados se obtienen como concentraciones medias diarias de granos de polen por metro cúbico de aire, de esta forma son comparables a los proporcionados por otras zonas de estudio.

Para llegar a ese valor es necesario realizar algunos cálculos en los que intervienen diferentes parámetros:

- Número de partículas contadas en un día (N)
- Superficie analizada al microscopio (S)
- Área total de la muestra diaria (A)
- Volumen de aire aspirado por el captador (V)

Considerando esto, la fórmula de la concentración media (C_{med}) diaria sería:

$$C_{med} = \frac{N}{V} \times \frac{S}{A}$$

El volumen de aire que succiona el captador son 10 L/min, por lo que se realiza un factor de conversión para saber cuanto aspira a lo largo del día:

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

$$V = 14.400 \frac{L}{día} = 14,4 m^3$$

El área total de la muestra se calcula multiplicando el largo por el ancho de la tira, por lo tanto:

$$A = 48mm \times 14 mm$$

$$A = 672 mm^2$$

Para calcular la superficie de muestra analizada es necesario saber el número de líneas barridas al microscopio, su longitud y su anchura, la cual depende del propio microscopio.

$$S = N^{\circ} \text{ líneas} \times \text{Longitud} \times \text{Anchura}$$

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

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

Finalmente, la concentración media diaria queda en función del número de granos de polen contados en un día (N):

$$C_{med} = \frac{N}{14,4} \times \frac{672}{76,416}$$

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

4.8 Análisis de datos y métodos estadísticos

En cuanto al programa utilizado para manejar los datos ha sido Microsoft Excel versión 16.29.1. Por otro lado, las pruebas estadísticas se han realizado con el paquete de software IBM SPSS versión 25 (SPSS-Chicago, Illinois, EE.UU.).

4.8.1 Periodo Principal de Polinización (PPP)

Los datos con los que se trabaja en aerobiología se corresponden normalmente con periodos de un año, en los que se registra el polen total acumulado para una zona. Con el paso del tiempo, los expertos han ido definiendo criterios para definir y limitar el periodo en el que un tipo polínico se encuentra presente en la atmósfera.

El Periodo Principal de Polinización se le puede denominar de múltiples maneras: estación de polinización, periodo de polinización, estación efectiva de polen, estación atmosférica de polen, etc. (Jato et al., 2006). Según el trabajo de Galán et al., 2017, se puede definir como el periodo de tiempo en el que el polen esta presente en la atmosfera con una concentración significativa.

Existen diferentes criterios para definir el comienzo y final del Periodo Principal de Polinización (PPP). En este trabajo, para calcular y definir el PPP del polen de *Pinus* en Cartagena se ha seguido el método descrito por Andersen, 1991, según el cual el PPP comienza el día en el que la concentración acumulada de polen equivale a un 2,5% del total anual, y finaliza cuando alcanza

un 97,5%, es decir, es el periodo central del año en el que se encuentra el 95% del polen total.

4.8.2 Otros parámetros relacionados con el PPP

Para un mejor entendimiento de los resultados, se van a definir los parámetros relacionados con el Periodo Principal de Polinización de polen y otros términos, con las unidades utilizadas.

- Integral Anual de Polen (IAP): Suma de las concentraciones medias diarias de polen durante un periodo de tiempo determinado, en granos de polen/m³ (Galán et al., 2017).
- Año: Año de estudio en cuestión, del que se van a obtener los datos.
- Inicio: Día de inicio del Periodo Principal de Polinización, en fecha y día ordinal del año. Generalmente suele ser el que contiene un valor mínimo de polen diario acumulado, valor que depende de cada taxón y criterio utilizado (Jato et al., 2006). Depende del criterio utilizado para definir el PPP.
- Final: Día final del Periodo Principal de Polinización, en fecha y día ordinal del año. Este día también depende del criterio utilizado para definir el PPP.
- Pico: Día de máxima concentración de polen durante el PPP, en fecha y día ordinal del año.
- Conc. día pico: Concentración de polen de la especie en el día de máxima concentración.
- Duración PPP: Duración en días del Periodo Principal de Polinización para la especie dada.
- Conc. *Pinus* PPP: Concentración acumulada de polen de *Pinus* en el PPP, también se puede llamar Integral de Polen en el PPP.
- Conc. Todos: Concentración acumulada de todos los tipos de polen encontrados en el PPP de *Pinus*.
- %: Porcentaje de polen de *Pinus* con respecto al total de los demás tipos de polen.

AÑO	INICIO		FINAL		PICO		Conc. Día Pico	Duración PPP	Conc. Pinus PPP	Conc. Todos	%
	X-feb.	Día ordinal del año	X-mar.	Día ordinal del año	X-abr.	Día ordinal del año	granos/m ³	Días	granos/m ³	granos/m ³	%
XXX	X-feb.	Día ordinal del año	X-mar.	Día ordinal del año	X-abr.	Día ordinal del año	granos/m ³	Días	granos/m ³	granos/m ³	%

Tabla 6. Tabla modelo PPP con los parámetros utilizados y las unidades correspondientes.

4.8.3 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos diarios se han obtenido de la web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET OpenData, 2019), que permite la utilización y difusión de la información meteorológica y climatológica. De esta forma se recopilieron los datos diarios desde el 21 de marzo de 1990 hasta el 21 de marzo de 2018.

Los parámetros que se obtuvieron para la localidad de Cartagena fueron: temperaturas diarias máximas, medias y mínimas, en grados Celsius y las precipitaciones acumuladas diarias, en mm.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras el análisis y procesamiento de los datos de polen de *Pinus* realizados en la ciudad de Cartagena durante 1993-2018 (26 años).

5.1 Identificación de las especies de *Pinus* dominantes en el área de estudio

Como ya se ha dicho, en la Región de Murcia podemos encontrar cuatro especies principales del género *Pinus*: *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Pinus nigra*, que son descritas en el apartado 3.2.1 de los antecedentes. Utilizando la herramienta Anthos se han obtenido los mapas de distribución de las especies de *Pinus* en la Región de Murcia (Figuras 12 y 13). Debido a la imposibilidad que presentaba la página web de representar más de tres especies en el territorio, se ha tenido que mostrar la distribución de las cuatro especies en dos mapas.

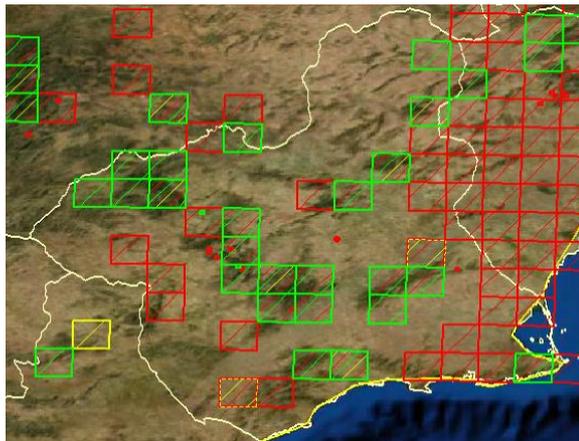


Figura 12. Distribución de las especies de *Pinus halepensis* (rojo), *Pinus nigra* (amarillo) y *Pinus pinaster* (verde) en la Región de Murcia (Anthos, 2020).

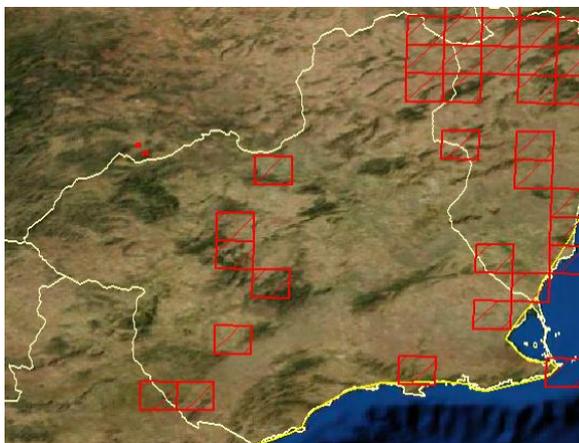


Figura 13. Distribución de la especie *Pinus pinea* (rojo) en la Región de Murcia (Anthos, 2020).

5.2 Morfotipos evidentes de *Pinus* como bioindicador

A lo largo de los 26 años de estudio del bioaerosol atmosférico de Cartagena, el grupo de investigación de Aerobiología y Toxicología Ambiental de la Universidad Politécnica de Cartagena han visualizado en muestras aerobiológicas varios granos de polen de *Pinus* que presentan más de dos sacos aeríferos, pudiendo observarse con tres y cuatro sacos tal y como se muestra en la Figura 14. Este hecho se engloba dentro de los criterios que definen Mičieta & Murín, 1998, para evidenciar los efectos de la contaminación ambiental local sobre la vegetación, siendo muy sensibles a ella los granos de polen de *Pinus* por lo que se utilizan como bioindicadores para detectar el cambio climático local (Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018).

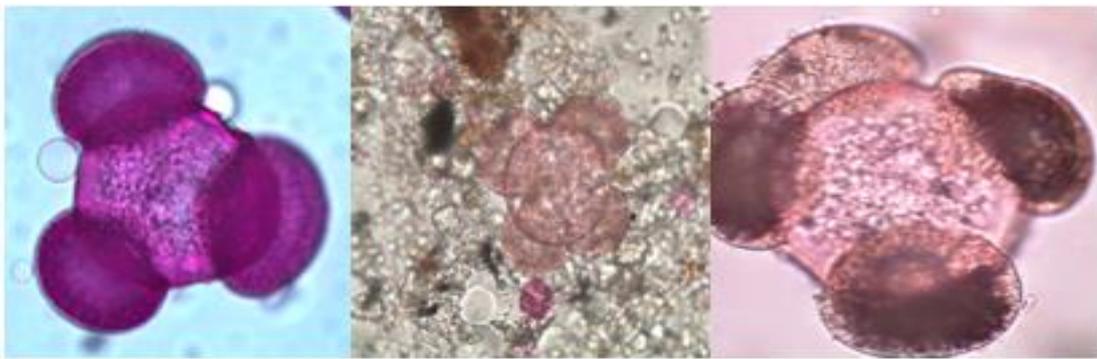


Figura 14. Micrografías de polen de *Pinus* a diferentes aumentos. A la izquierda se observa un grano de polen de *Pinus* con tres sacos aeríferos, en el centro un grano de polen con cuatro sacos aeríferos con abundante presencia de partículas (fondo), a la derecha, otro grano de polen con cuatro sacos aeríferos.

Asimismo, las hojas de algunas especies de este género se han utilizado para determinar la deposición atmosférica de contaminantes metálicos en zonas rurales (Raboal et al., 2004).

5.3 Cálculo del potencial alergénico del género *Pinus* para estimar su potencial uso ornamental

Una de las causas que puede aumentar la polinosis en las ciudades es la flora ornamental que se encuentra en los espacios verdes, como los parques. Para estimar el potencial alergénico del pino cuando se usa como ornamental se aplica el cálculo del IUGZA (Índice de Alergenicidad de Espacios Verdes Urbanos) (Cariñanos et al., 2016). Para su cálculo necesitamos conocer una serie de parámetros entre los que se encuentra el Valor de Potencial Alergénico (VPA).

Aplicando los criterios indicados en el apartado de materiales y métodos (4.6.3), para el taxón *Pinus* el VPA para cada una de las variables será:

- **Estrategia de polinización (E_p): 3**
 - Valor 3: Plantas con estrategia de polinización anemófila.
- **Duración del periodo de polinización (D_{pp}): 2**
 - Valor 2: Duración del periodo de polinización de 4 a 6 semanas.
- **Potencial alergénico (P_a): 2**
 - Valor 2: Moderada alergenicidad.

Para conocer la contribución de *Pinus* al IUGZA se estudiaron los datos del parque de la Rosa de Cartagena (Tabla 7) donde además del VPA, se incluye el número de individuos presentes en el parque y su porte individual (superficie emisora de polen (Si) y altura (H)).

Especie	Familia	n	TP	DPP	PA	Diámetro (m)	Radio	Si	Hi	Volumen Hi x Si	$ni \times api \times pei \times pppi \times Si \times Hi$	li
<i>Pinus spp.</i>	<i>Pinaceae</i>	2	3	2	2	5	2,5	19,6349541	18	353,429174	8482,30016	0,00047092
<i>Pinus pinea</i>	<i>Pinaceae</i>	1	3	2	2	8	4	50,2654825	14	703,716754	8444,60105	0,00046883

Tabla 7. Cálculo del IUGZA de *Pinus*. n: número de individuos, TP: Tipo de polinización, DPP: Duración del periodo de polinización, PA: Potencial alergénico, Si: Proyección del diámetro de copa, Hi: Porte o altura de la corona

El resultado indica que es muy poco alergénico por lo que su presencia como flora ornamental urbana es recomendable. El polen de *Pinus* provoca un bajo número de sensibilizaciones en los pacientes, incluso, algunos Tratados de alergia, siguen con duda sobre la alergenicidad de los pinos (Lasarte, 2003). Esto se debe a su bajo contenido en proteínas, su gran tamaño y su naturaleza hidrofóbica. Por esta razón, se necesita una exposición muy abundante a este polen para que se produzca polinosis (Armentia et al., 1990).

La flora ornamental constituye un elemento muy importante para hacer a una ciudad sostenible y saludable, además de los numerosos beneficios que aporta a la población, como la reducción del estrés, el bienestar mental, reducción de la obesidad, etc. Algunas de las causas que han incrementado la sensibilización a los alérgenos de la flora ornamental son la baja biodiversidad,

la utilización de especies con capacidad alergénica desconocida y la interacción con los contaminantes presentes en la atmósfera (Cariñanos et al., 2016).

Si su presencia en nuestros parques hoy en día es menor de lo deseado, es a causa de la presencia de la plaga de procesionaria y por ser considerado un árbol que ensucia mucho.

5.4 Análisis de los datos aerobiológicos del taxón *Pinus*

En la Tabla 8 se presentan los datos obtenidos en la serie estudiada 1993-2018, de valores válidos, perdidos y totales anuales de polen de *Pinus*.

AÑO	CASOS					
	VALIDOS		PERDIDOS		TOTAL	
	N	PORCENTAJE	N	PORCENTAJE	N	PORCENTAJE
1993	99	97%	3	3%	102	100%
1994	129	86%	21	14%	150	100%
1995	127	85%	23	15%	150	100%
1996	150	100%	0	0%	150	100%
1997	150	100%	0	0%	150	100%
1998	148	99%	2	1%	150	100%
1999	145	97%	5	3%	150	100%
2000	150	100%	0	0%	150	100%
2001	150	100%	0	0%	150	100%
2002	150	100%	0	0%	150	100%
2003	136	91%	14	9%	150	100%
2004	135	90%	15	10%	150	100%
2005	84	56%	66	44%	150	100%
2006	149	99%	1	1%	150	100%
2007	141	94%	9	6%	150	100%
2008	150	100%	0	0%	150	100%
2009	145	97%	5	3%	150	100%
2010	142	95%	8	5%	150	100%
2011	144	96%	6	4%	150	100%
2012	150	100%	0	0%	150	100%
2013	150	100%	0	0%	150	100%
2014	150	100%	0	0%	150	100%
2015	150	100%	0	0%	150	100%
2016	150	100%	0	0%	150	100%
2017	150	100%	0	0%	150	100%
2018	148	99%	2	1%	150	100%

Tabla 8. Clasificación de los datos de polen de *Pinus* en válidos, perdidos y totales, para los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio, en los 26 años de estudio (1993-2018).

Hay que aclarar que en el año 1993 el número total de datos es de 102, y no de 150 como en el resto de los años, esto es debido a que en 1993 el muestreo se inició el primer día de primavera, es decir, 21 de marzo.

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”, 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 atmosfera.

En la mayoría de los años analizados el porcentaje de valores perdidos es nulo, como ocurre en: 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2008, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017. Otros años presentan valores perdidos entre el 1% y el 10%: 1993, 1998, 1999, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011 y 2018.

Dos años: 1994 y 1995, presentan el 14% y 15% de valores perdidos.

Finalmente, el año de la base de datos más afectado por el elevado número de datos perdidos es 2005 con un 44%, el problema fue que el captador de polen tuvo una avería grave, imposibilitando la toma de muestras justo en un periodo de tiempo que afectó a los registros de este tipo polínico.

En la Tabla 9 se presentan las concentraciones mensuales acumuladas de polen de *Pinus* en Cartagena para cada año del periodo estudiado (1993-2018), cuyo sumatorio constituye el Integral Anual de Polen (IAP).

Los resultados de la Tabla 9 sirven para describir el comportamiento estacional del polen de *Pinus* en nuestra atmósfera y conocer cuáles son los meses predominantes de presencia de polen del *Pinus*, que, en este estudio, van desde febrero a junio, de forma general para casi todos los años.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	IAP
1993	-	-	391	571	84	343	34	15	3	4	2	0	1447
1994	6	187	85	62	38	26	14	0	2	2	0	0	422
1995	0	24	169	81	162	219	25	3	1	0	0	0	684
1996	0	4	93	71	58	152	12	0	0	0	0	0	390
1997	1	20	141	50	51	17	0	0	0	0	0	0	280
1998	0	8	1126	211	38	277	7	1	3	0	0	0	1671
1999	0	1	129	133	52	7	1	0	0	0	0	0	323
2000	0	5	103	25	10	39	0	0	0	0	0	0	182
2001	0	229	45	30	22	26	1	0	1	0	0	0	354
2002	0	20	298	47	91	147	2	0	0	0	0	0	605
2003	0	1	349	394	233	48	0	0	1	0	0	0	1026
2004	8	312	187	66	32	29	1	0	2	0	0	0	637
2005	1	0	115	12	78	147	1	1	6	0	0	0	361
2006	0	1	444	129	152	93	7	2	0	4	0	0	832
2007	0	53	372	75	147	249	27	6	1	0	0	0	930
2008	0	93	1276	174	33	126	9	0	3	0	0	0	1714
2009	0	67	431	269	82	110	1	1	1	0	0	0	962
2010	0	0	439	412	297	520	35	1	2	0	0	0	1706
2011	0	31	433	278	132	174	31	7	6	7	3	0	1102
2012	6	5	154	302	290	291	10	6	6	6	1	0	1077
2013	1	159	177	31	56	52	14	2	6	7	0	1	506
2014	3	35	147	279	102	120	24	4	5	2	6	6	733
2015	6	7	322	146	497	43	7	1	2	2	4	0	1037
2016	3	155	374	85	35	113	15	2	3	8	1	0	794
2017	1	22	131	75	54	79	10	1	1	1	1	3	379
2018	0	5	880	345	126	291	109	10	16	1	2	6	1791
TOTAL	36	1444	8811	4353	2952	3738	397	63	71	44	20	16	21945
%	0%	7%	40%	20%	13%	17%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Tabla 9. Concentraciones mensuales de polen de *Pinus* en Cartagena para cada año del periodo estudiado (1993-2018). En la última columna, Integral Anual de Polen (IAP), en granos/m³, suma de las concentraciones medias diarias de polen de *Pinus* para un año dado. En la penúltima y última fila el total para cada mes, en granos/m³ y su porcentaje.

El mes de marzo con 8811 granos/m³ representa el 40% del polen total recogido en el periodo, el mes de junio con 3738 granos/m³ representa el 17%. Como se puede observar en la Tabla 9 ambos meses registran el mayor número de los valores mensuales acumulados más altos de la serie, coincidente con los picos de floración de las especies de *Pinus* dominantes de la zona. Variaciones en estos valores por adelantos (concentraciones altas en el mes de febrero >100 granos/m³) o retrasos (concentraciones en junio o incluso julio) son sin duda, consecuencia de las variables fenológicas de dicha especie y de las variables climáticas de la zona. No forma parte de este estudio el análisis en profundidad de estos cambios.

Los valores registrados de IAP de *Pinus* en el periodo en estudio, presenta variaciones interanuales importantes. Las cifras de polen total anual acumulado van desde un máximo de 1791 granos de polen/m³ en el año 2018, hasta los 182 granos de polen/m³ registrados en el año 2000, valor 10 veces menor con respecto al año 2018, siendo el valor del primer año de estudio 1993 de 1447 granos de polen/m³. Los datos sugieren una tendencia a una mayor producción de polen de *Pinus* al final del periodo estudiado, esto ocurre conforme con el escenario de cambio climático y efecto invernadero en el sur de Europa, donde se prevé una mayor liberación de polen y un alargamiento en el periodo de polinización de especies arbóreas que florecen en invierno o al inicio de la primavera (Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018) como es el caso del polen de *Pinus*. De todas las formas, tal y como aparece en la Tabla 9, los IAP de *Pinus* presentan unas variaciones interanuales muy amplias, así en 2017, año anterior al de IAP máximo, el IAP es de tan solo 379 granos de polen/m³. El muestreo aerobiológico y monitoreo de especies anemófilas es una herramienta eficaz para conocer la fenología reproductiva de especies como el polen de *Pinus* siendo el bioindicador esencial para entender las variaciones de concentraciones de polen en áreas concretas. La producción y dispersión de polen está influenciada por factores complejos bióticos y ambientales. Depende, de hecho, de la tasa de producción de granos de polen de cada planta individual que a su vez depende de su genotipo, la edad y el tamaño de la planta, la fenología, los factores climáticos regionales y edáficos, enfermedades, etc. (García-Mozo et al., 2016)

En la Tabla 10 se presentan las características que definen el periodo principal de polinización de *Pinus* 1993-2018, además se incluye el polen total en dicho periodo y el porcentaje del taxón *Pinus* con respecto al total.

AÑO	INICIO		FINAL		PICO		Conc. Día Pico	Duración PPP	Conc. <i>Pinus</i> PPP	Conc. Todos	%
	Fecha	Días	Fecha	Días	Fecha	Días					
1993	21-mar.	82	10-jul.	191	26-mar.	85	122	110	1407	16695	8%
1994	12-feb.	43	10-jun.	181	27-feb.	58	57	139	398	10319	4%
1995	26-feb.	57	1-jul.	182	1-jun.	152	42	126	646	12142	5%
1996	5-mar.	65	2-jul.	184	3-jun.	155	36	120	373	7511	5%
1997	26-feb.	57	5-jun.	156	21-mar.	80	19	100	266	8411	3%
1998	4-mar.	63	23-jun.	174	9-mar.	68	261	112	1579	9496	17%
1999	7-mar.	66	30-may.	150	18-abr.	108	29	85	308	7168	4%
2000	29-feb.	60	12-jun.	164	1-mar.	61	23	105	172	3684	5%
2001	7-feb.	38	6-jun.	157	27-feb.	58	53	120	333	4778	7%
2002	28-feb.	59	12-jun.	163	6-mar.	65	70	105	583	9123	6%
2003	19-mar.	78	9-jun.	160	6-abr.	93	65	83	979	11533	8%
2004	14-feb.	45	4-jun.	156	17-feb.	48	71	112	597	7655	8%
2005	13-mar.	72	22-jun.	173	29-mar.	88	37	102	342	2827	12%
2006	5-mar.	64	7-jun.	158	11-mar.	70	117	95	795	12618	6%
2007	25-feb.	56	5-jul.	186	5-mar.	64	89	131	892	13034	7%
2008	21-feb.	52	16-jun.	168	5-mar.	65	181	117	1623	10218	16%
2009	25-feb.	56	11-jun.	162	4-mar.	63	188	107	905	12449	7%
2010	10-mar.	69	26-jun.	177	4-abr.	94	121	109	1620	13295	12%
2011	28-feb.	59	24-jul.	205	17-mar.	76	88	147	1058	11094	10%
2012	10-mar.	70	3-jul.	185	11-jun.	163	44	116	1026	11939	9%
2013	20-feb.	51	12-jul.	163	23-feb.	54	32	113	423	11078	4%
2014	24-feb.	55	19-jul.	170	20-abr.	110	38	116	651	6043	11%
2015	12-mar.	71	20-jun.	171	21-may.	141	78	101	985	9946	10%
2016	20-feb.	51	15-jul.	197	3-mar.	63	60	147	755	7083	11%
2017	25-feb.	56	17-jul.	198	18-jun.	169	16	143	362	9452	4%
2018	6-mar.	65	23-jul.	204	15-mar.	74	75	140	1710	15402	11%

Tabla 10. Periodo Principal de Polinización para los años del periodo 1993-2018. Inicio: día de inicio del PPP, en fecha y día ordinal del año. Final: día final del PPP, en fecha y día ordinal del año. Pico: día de máxima concentración de polen de *Pinus*, en fecha y día del año. Conc. Día pico: concentración del día pico, en granos/m³. Duración PPP: duración del PPP en días. Conc. *Pinus* PPP: concentración acumulada de polen de *Pinus* en el PPP. Conc. Todos: concentración acumulada de todos los tipos de polen en el PPP de *Pinus*, en granos/m³. %: porcentaje de polen de *Pinus* con respecto al total de los demás tipos de polen.

Tal y como aparece en la Tabla 10, la proporción de polen de *Pinus* con respecto al polen total presente durante su PPP varía entre un 3% de mínima y un 17% de máxima, dependiendo del año, siendo un 8% del total de media. En este periodo de tiempo, el taxón *Pinus* coincide en la atmósfera con otros muchos tipos polínicos fundamentalmente en la estación primaveral. La media de la concentración acumulada de polen de *Pinus* en el PPP es de 800 granos de polen/m³, con un mínimo de 172 granos de polen/m³ en el año 2000 y un máximo de 1710 granos de polen/m³ en el año 2018.

La duración del PPP de *Pinus* presenta un mínimo de 83 días en 2003 y un máximo de 147 días en 2011 y 2016, con una duración media de 115 días para el periodo estudiado (1993-2018).

El inicio del PPP en el periodo estudiado abarca desde el día 38 (año 2001) hasta el 78 (año 2003), sin tener en cuenta el año 1993, que empezaría el día 82, ya que en ese año el muestreo empieza a finales de marzo y se pierde la floración preprimaveral. El día de inicio promedio es 60. El final del PPP abarca desde el día 150 (año 1999) hasta el 205 (año 2011), siendo el final promedio el día 174 del año. Por otro lado, el inicio del día pico abarca desde el día 48 (año 2004) hasta el 169 (año 2017), siendo el día pico medio el 89.

El PPP de *Pinus* se sitúa en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio (preprimavera y primavera), similares resultados aparecen en el estudio nacional de *Pinus* (De Linares et al., 2017) donde se indica que en España, el periodo principal de polinización (PPP) de *Pinus* normalmente aparece al final de febrero o marzo (preprimaveral), aunque suele variar dependiendo de la especie y el lugar de estudio. En general existe una tendencia a un adelanto de su comienzo y un retraso en su final, lo que supone un aumento de la duración del periodo de polinización (De Linares et al., 2017).

Frenguelli et al., 2002, estudian una serie de 20 años de *Pinus* en Perugia (Italia), en este trabajo el PPP de *Pinus* es un poco más corto ya que para su cálculo aplican el método de Nilsson and Persson, 1981, en el cuál el comienzo de la polinización se inicia cuando se alcanza el 5% del total anual, y finaliza cuando alcanza un 95%, es decir, es el periodo central del año en el que se

encuentra el 90% del polen total. En este caso se eliminan las colas de inicio y final de la polinización por lo que se acorta el PPP.

La mayor concentración del día pico se produce el 9 de marzo de 1998 con 261 granos de polen/m³ y la menor con 16 granos de polen/m³ el 18 de junio de 2017. La concentración media diaria en el día pico es de 77 granos/m³. En general, en el periodo estudiado, los picos de mayor intensidad se sitúan en el mes de marzo, donde se refleja fundamentalmente la floración del *Pinus halepensis*, especie dominante en la zona y los de menor intensidad, en junio, representado fundamentalmente por *Pinus pinea*, de uso ornamental.

La presencia del polen en la atmósfera está condicionada en gran medida por la época de floración de las plantas productoras, por lo que a lo largo del año varían los tipos de polen presentes en el aire que respiramos y su concentración. En España, en invierno, el alérgeno ambiental más importante es el polen de cupresáceas, sobre todo en los meses de febrero y marzo, coincidiendo con el primer pico de polen de *Pinus*. En la Región de Murcia también es importante *Artemisia*, aunque en Cartagena alcanza bajas concentraciones. En la segunda quincena de marzo o la primera de abril coincide con otro alérgeno urbano importante, el plátano de sombra, de floración corta e intensa. El mes de mayo suele ser el de mayor riesgo para los alérgicos al polen, pues coinciden muchos tipos polínicos, algunos muy alergénicos como, Gramíneas, Olivo, *Plantago*, *Rumex* y *Parietaria* donde el polen de *Pinus* está menos representado (Elvira-Rendueles et al., 2019).

Tan solo en un año se han superado los 200 granos de polen/m³ (9 de marzo de 1998 con 261 granos de polen/m³) considerado un valor umbral de exposición al polen de pino alto. El periodo 2006-2010 se caracteriza por valores pico que superan los 100 granos de polen/m³.

5.4.1 Comportamiento intraanual

Valores diarios

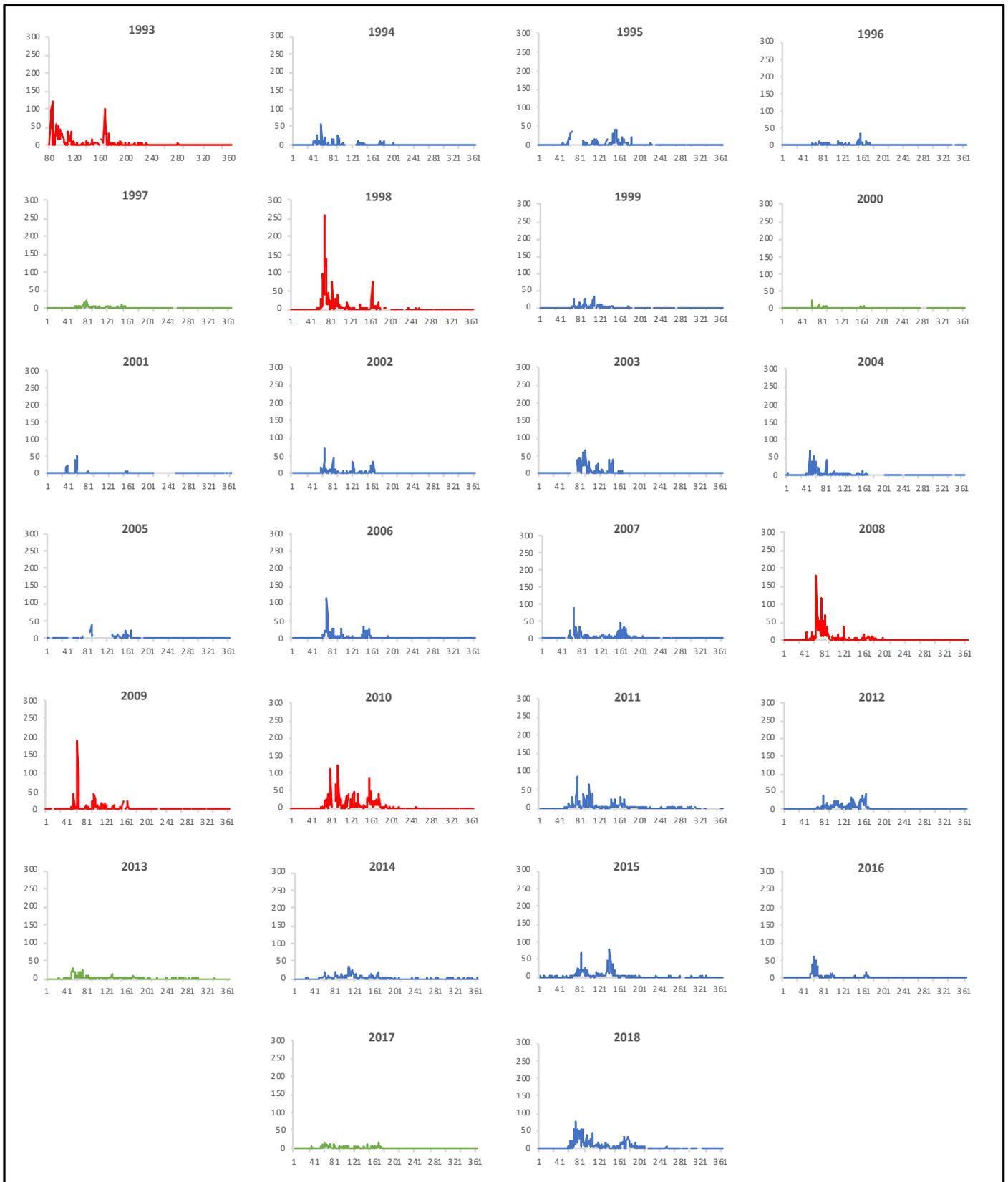


Figura 15. Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el periodo 1993-2018. Unidades del eje de abscisas: granos de polen/m³. Unidades del eje de ordenadas: día del año. En rojo: años con concentración máxima. En verde: años con concentración mínima.

En la Figura 15 se representa la evolución diaria de la concentración de polen de *Pinus* en cada uno de los años que componen la serie. En dicha figura, todos los gráficos presentan valores estándar en la escala de los ejes definidos por los valores máximo y mínimo de la serie, con la finalidad de permitir de forma visual la comparación interanual de la floración de *Pinus*.

Los gráficos que aparecen en rojo, correspondientes a los años 1993, 1998, 2008, 2009 y 2010 hacen referencia a los años del periodo (1993-2018) cuya concentración diaria es máxima. Por otro lado, los gráficos que aparecen de color verde, correspondiente a los años 1997, 2000, 2013 y 2017, hacen referencia a los años del periodo estudiado cuya concentración diaria es mínima.

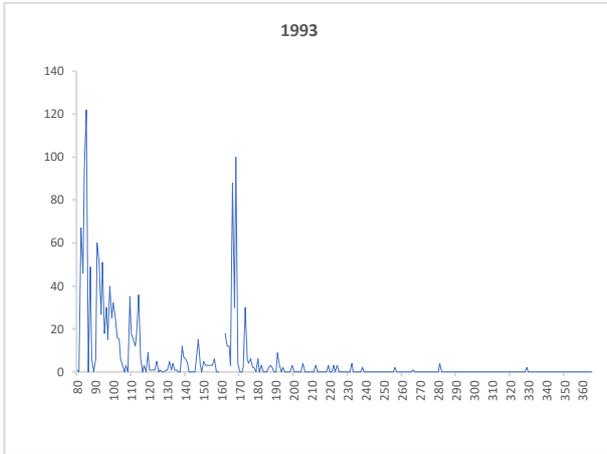
Dentro de un mismo año se muestran varios picos de concentración dentro del periodo de floración, que corresponden a las concentraciones diarias máximas que representan los valores reales de cada día.

Estos picos pasan desapercibidos cuando se representan los valores medios semanales o mensuales, siendo una información importante para estimar la capacidad alergénica de cada tipo polínico y la respuesta en las personas sensibles en cada momento del año.

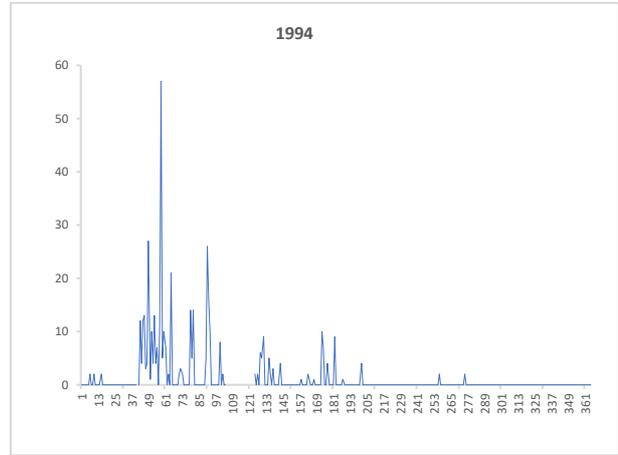
Dado que, las representaciones diarias suelen presentar bastante variabilidad en los datos, el análisis de los picos de concentración intraanuales y el estudio de comportamientos, se realiza mejor con valores medios semanales o mensuales que homogenizan los resultados y muestran tendencias más claras (Recio et al., 2018).

Para una mejor interpretación de los gráficos de las concentraciones diarias de polen de *Pinus*, a continuación, se exponen las mismas gráficas sin homogeneizar las escalas (Figura 16), en ellas, se puede observar la variación intradiaria y los picos de concentración, siendo algunos más significativos que otros.

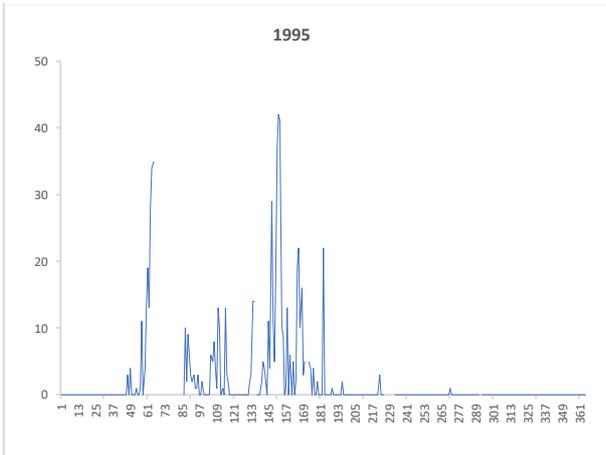
a) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1993



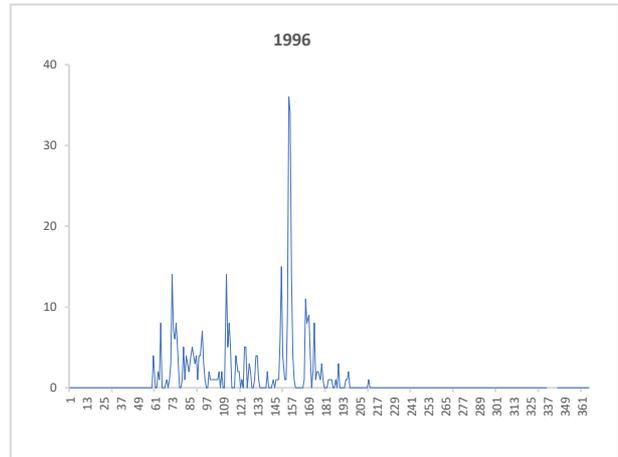
b) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1994



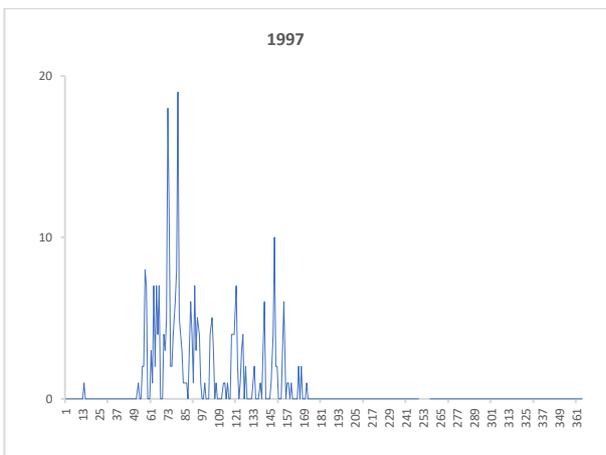
c) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1995



d) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1996



e) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1997



f) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1998

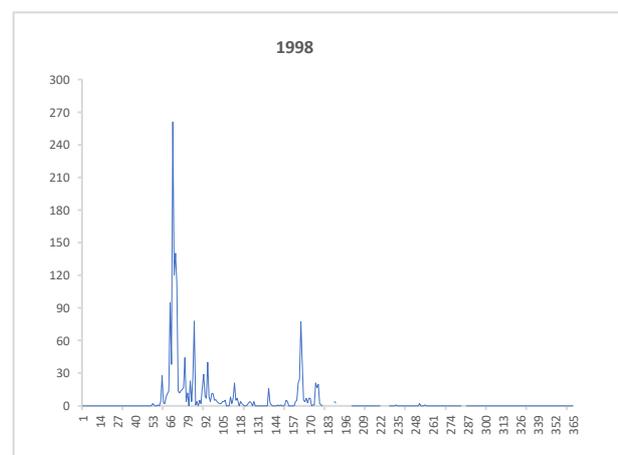
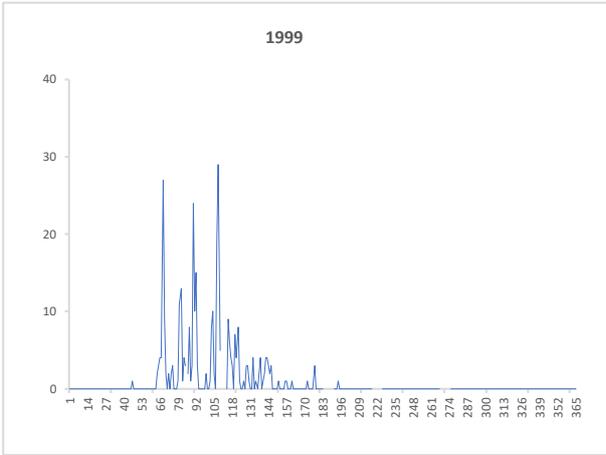
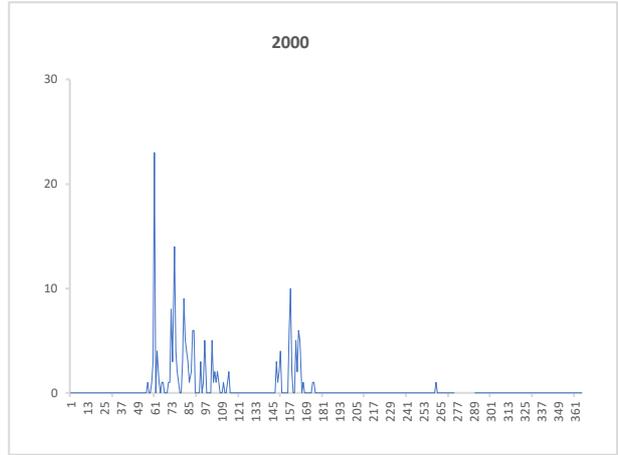


Figura 16. Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el periodo 1993-2018. Unidades del eje de abscisas: granos de polen/m³. Unidades del eje de ordenadas: día del año.

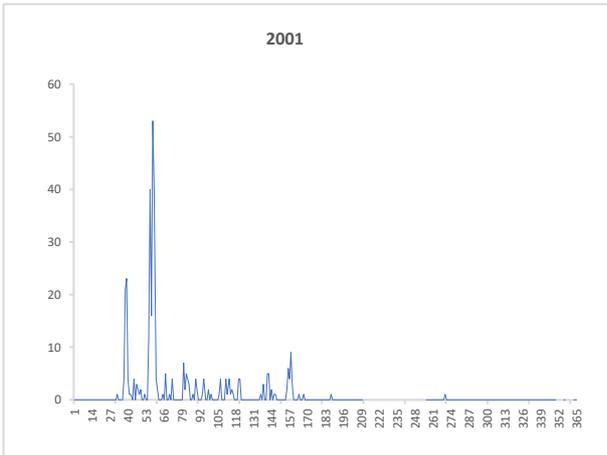
g) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 1999



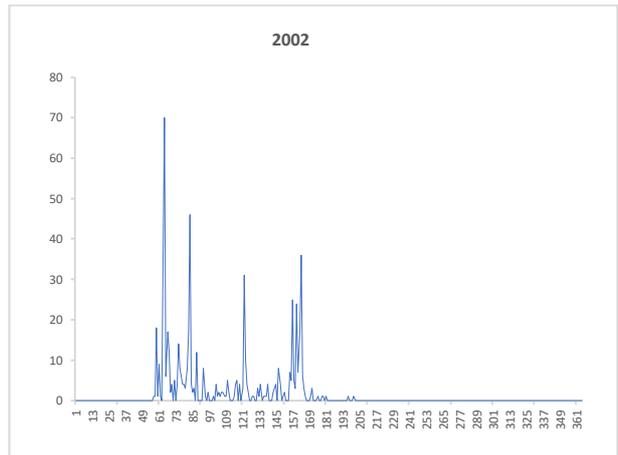
h) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2000



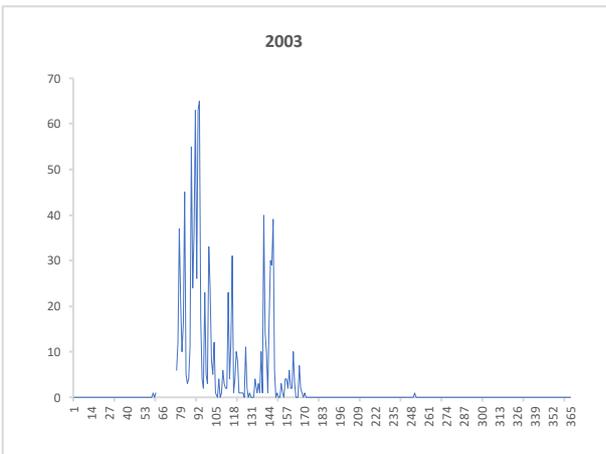
i) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2001



j) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2002



k) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2003



l) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2004

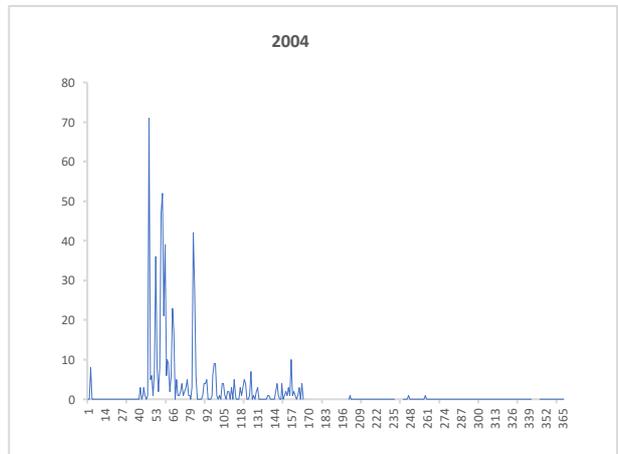
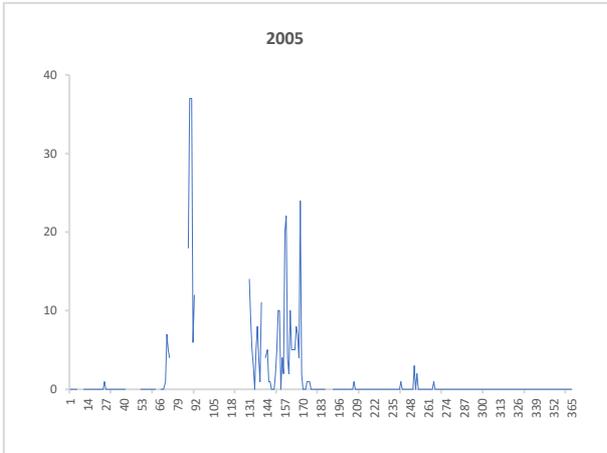
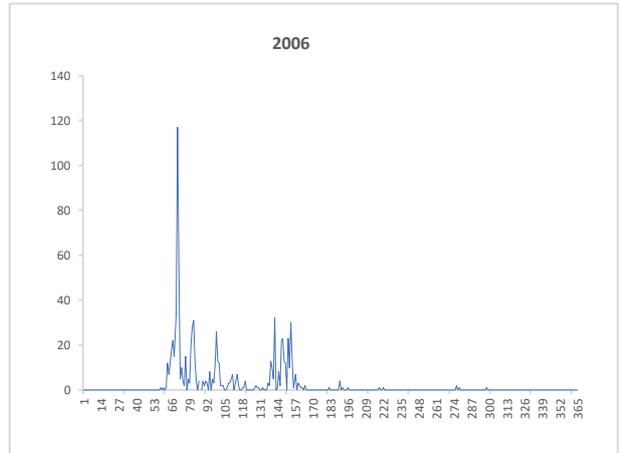


Figura 16. Continuación.

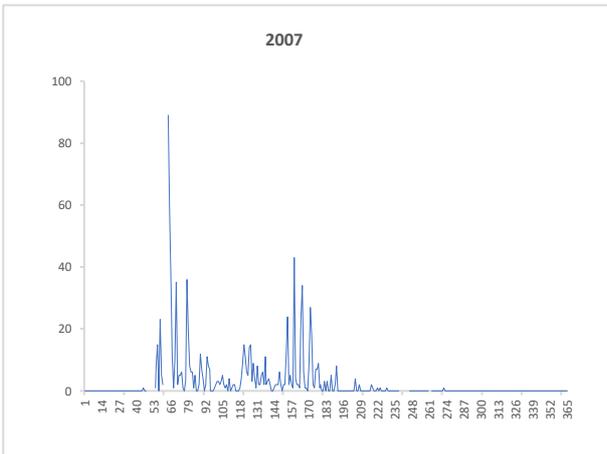
m) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2005



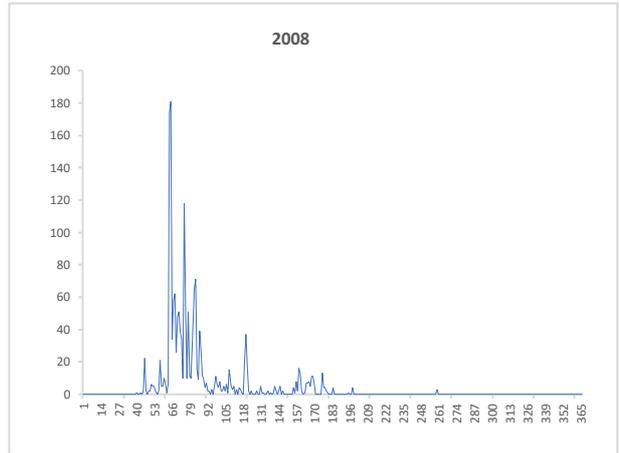
n) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2006



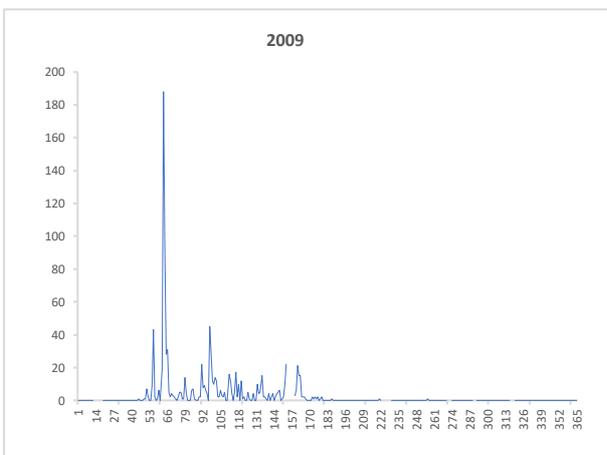
ñ) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2007



o) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2008



p) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2009



q) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2010

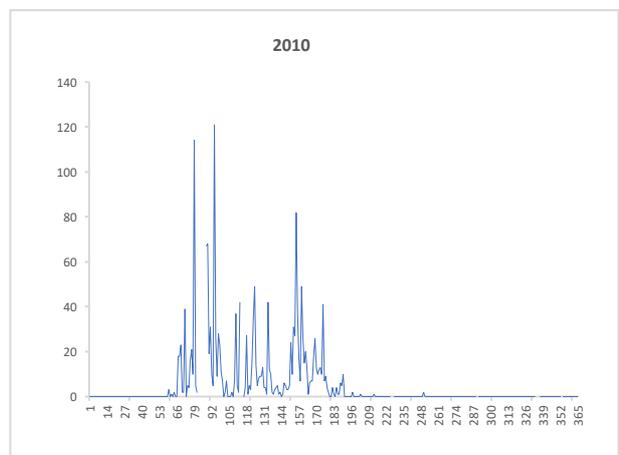
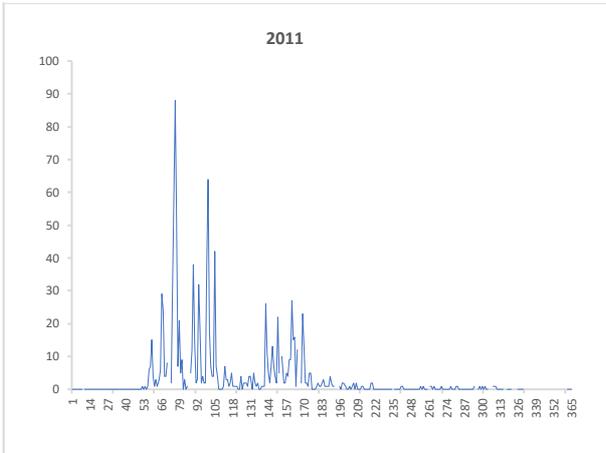
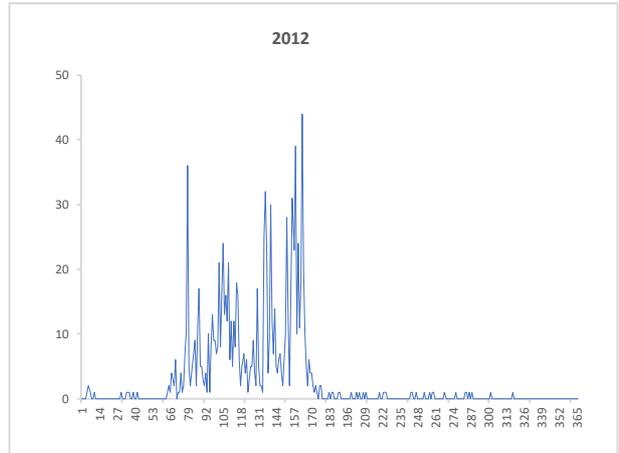


Figura 16. Continuación.

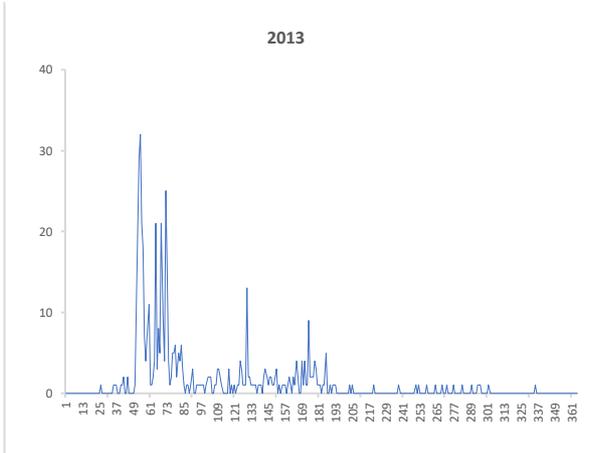
r) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2011



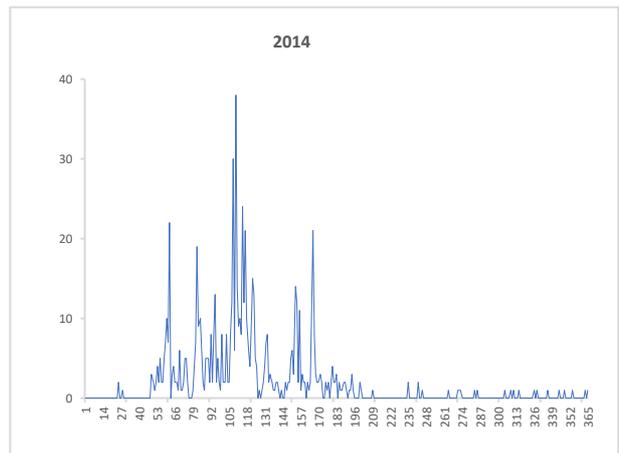
s) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2012



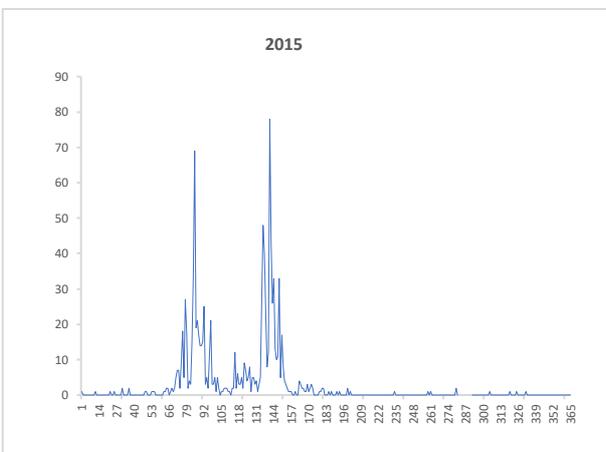
t) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2013



u) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2014



v) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2015



w) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2016

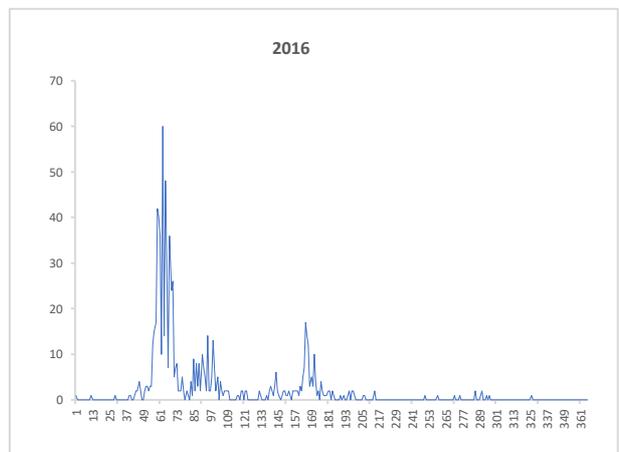
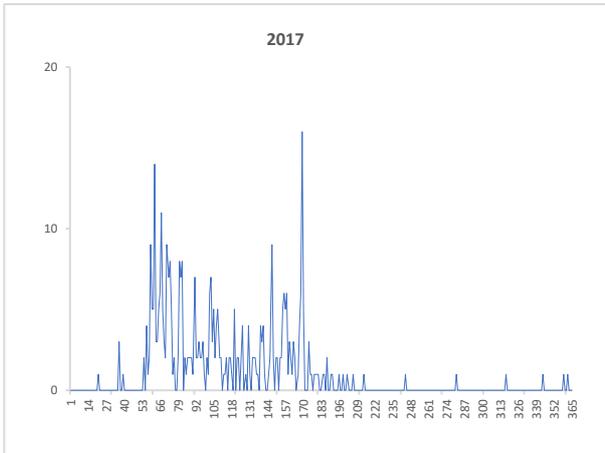
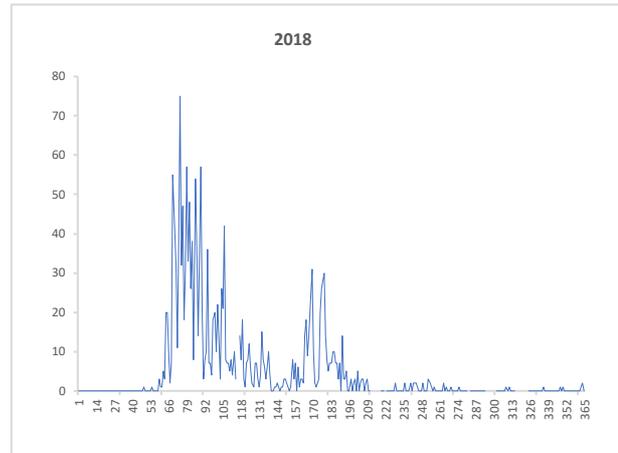


Figura 16. Continuación.

x) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2017y) Valores diarios de concentración de polen de *Pinus* en el año 2018**Figura 16.** Continuación.

Valores semanales

Debido a la gran variabilidad que presentan los valores diarios y con el propósito de ofrecer una tendencia más clara del comportamiento intraanual del polen de pino en la atmósfera de Cartagena, se han realizado graficas que representan la concentración de polen semanal frente a la semana del año (Figura 17).

Para la realización de estas graficas se han agrupado los valores de concentración diaria por semanas del año, con el fin de ofrecer resultados más claros. Asimismo, para hacer una comparación más homogénea, todos los años se han ajustado a 52 semanas. De esta manera, los días que pertenecen a la semana 53 de los años que la tuvieron, se han dividido entre la semana 52 del año anterior (días de diciembre) y la semana 1 del año siguiente (días de enero). Del mismo modo, también se ha ajustado el eje de ordenadas (granos de polen/m³) a una misma concentración para poder hacer comparaciones.

La presencia de polen de *Pinus* a lo largo del año si bien se concentra fundamentalmente entre febrero o junio, a veces julio, lo que constituye su periodo de polinización, no es raro encontrar polen de pino en todo el año, aunque de forma esporádica y en concentraciones muy pequeñas. Esto puede deberse a su morfología polínica, que le permite mantenerse mucho tiempo en

la atmósfera, así como viajar grandes distancias transportado por el viento (Méndez et al., 2000).

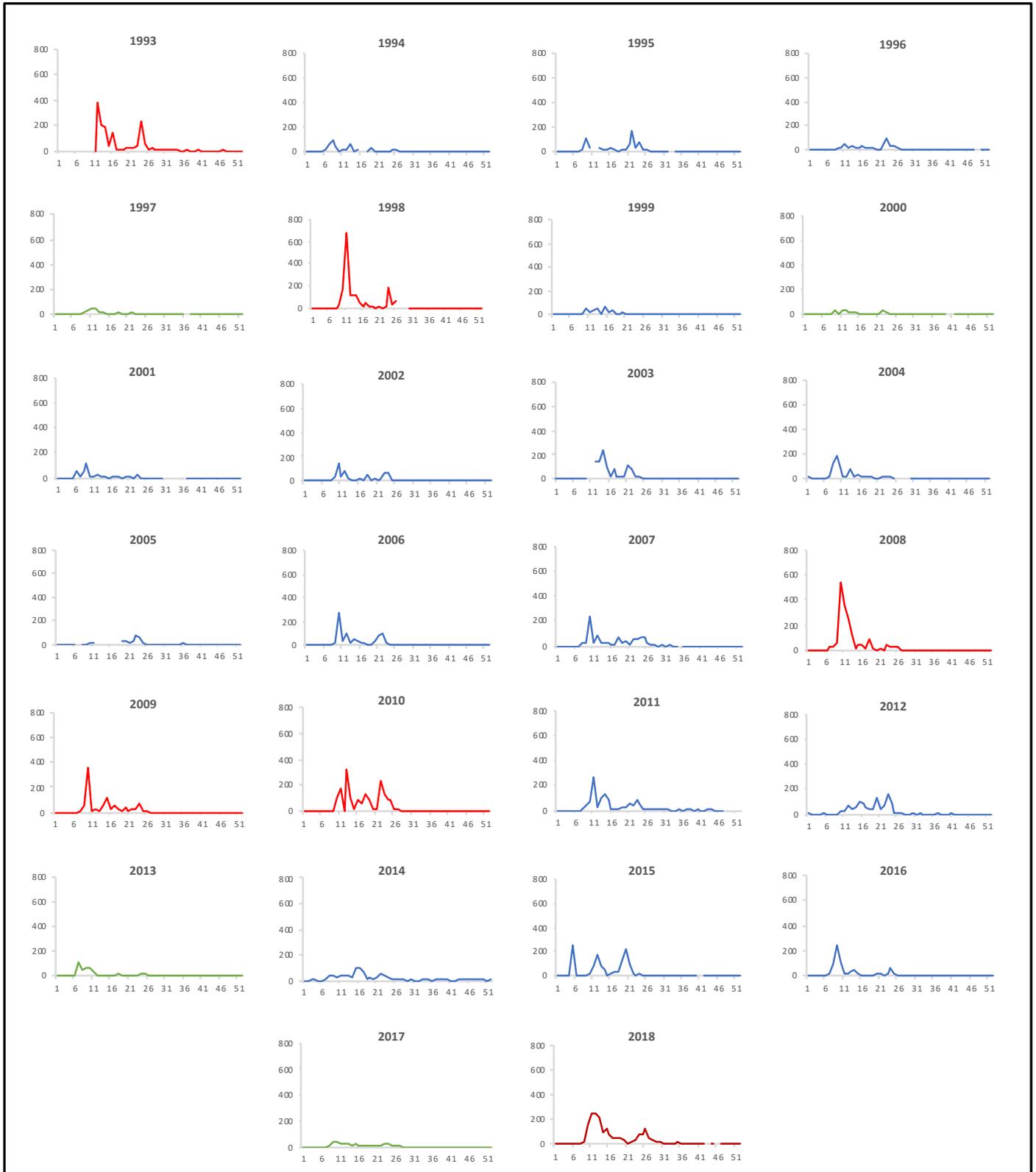


Figura 17. Valores acumulados semanales de la concentración de polen de *Pinus* para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2018). Unidades del eje de ordenadas: granos de polen/m³. Unidades del eje de abscisas: semana del año. En rojo: años con concentración máxima. En verde: años con concentración mínima.

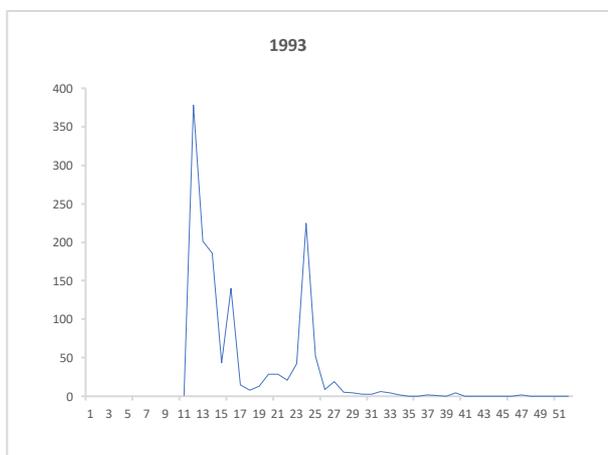
Los gráficos de los valores de polen semanal nos sirven para observar de forma más clara la localización de los picos de máxima concentración del polen (gráficos en rojo) que predominan dentro de cada año, como ocurre en los años: 1993, 1998, 2008, 2009 y 2010. Los motivos de la existencia de estos picos deben ser analizados de forma particular ya que puede deberse a varios factores, aunque las principales causas son las grandes cantidades de polen producidas por este género, la floración escalonada de las diferentes especies presentes en la zona que integran este tipo polínico (Méndez et al., 2000) y las condiciones meteorológicas locales.

Por otro lado, las gráficas en verde representan los años (1997, 2000, 2013 y 2017) cuya concentración es mínima. Al igual que con las gráficas de concentraciones diarias, las discontinuidades que se observan se deben a la ausencia de datos.

Del mismo modo, durante algunos años las floraciones pueden solaparse, siendo difícil la distinción de los picos correspondientes a las diferentes especies.

Para una mejor observación de estos picos, a continuación, se representan las mismas gráficas (Figura 18), pero con la diferencia de que no están ajustadas a los valores máximos y mínimos de la serie de datos, ofreciendo un mayor detalle, al igual que se ha realizado con las gráficas de los valores diarios.

a) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1993



b) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1994

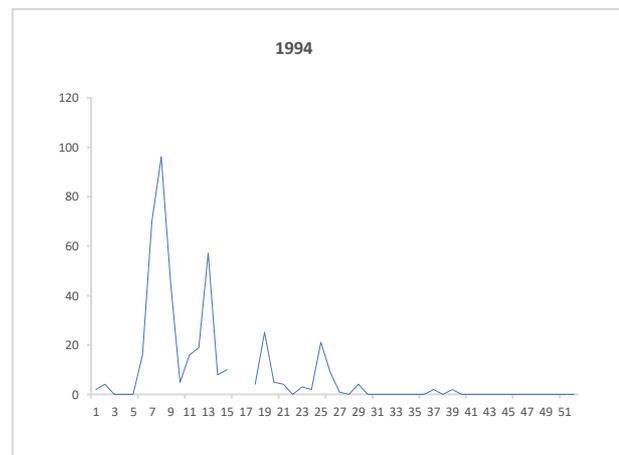
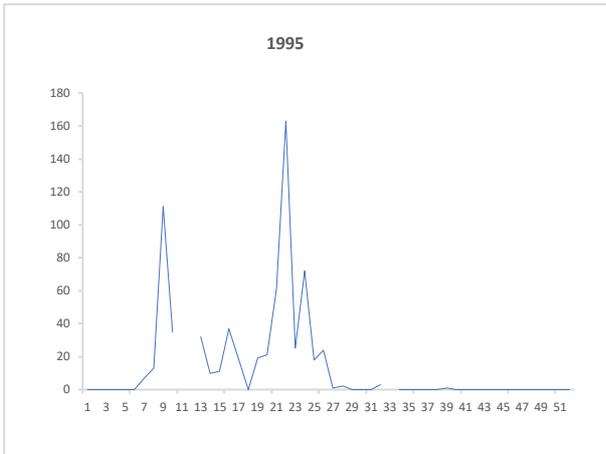
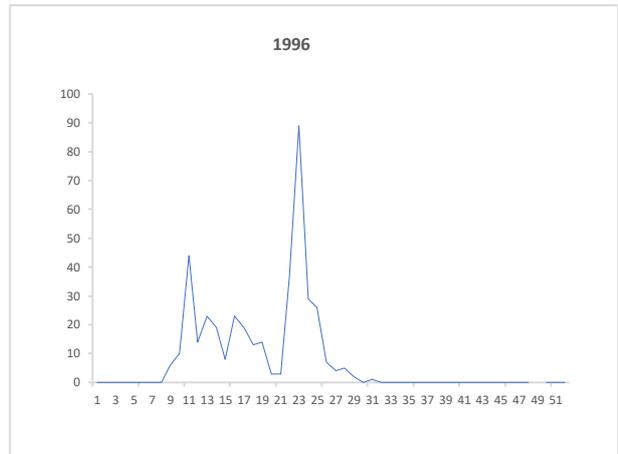


Figura 18. Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el periodo 1993-2018. Unidades del eje de ordenadas: granos de polen/m³. Unidades del eje de abscisas: semana del año.

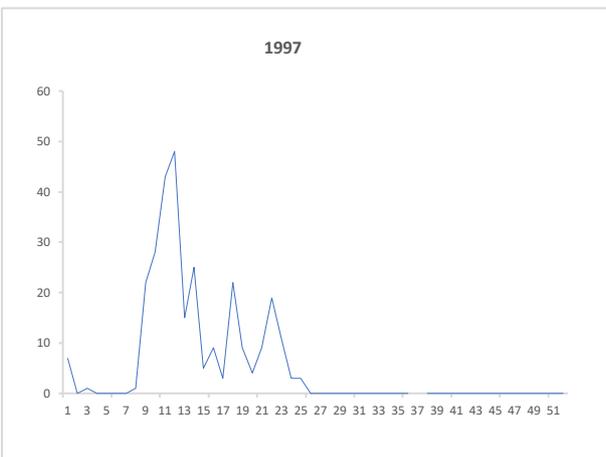
c) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1995



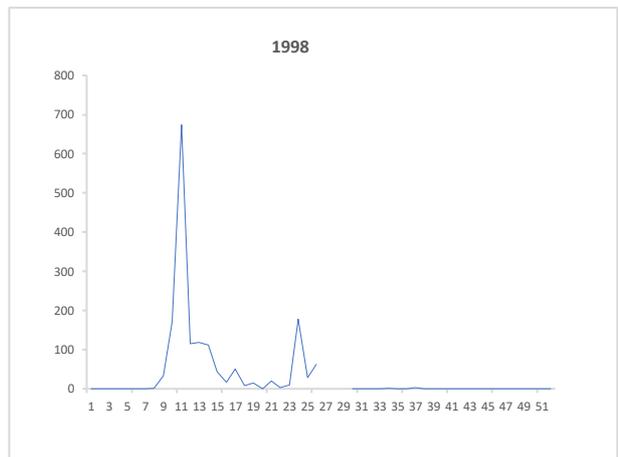
d) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1996



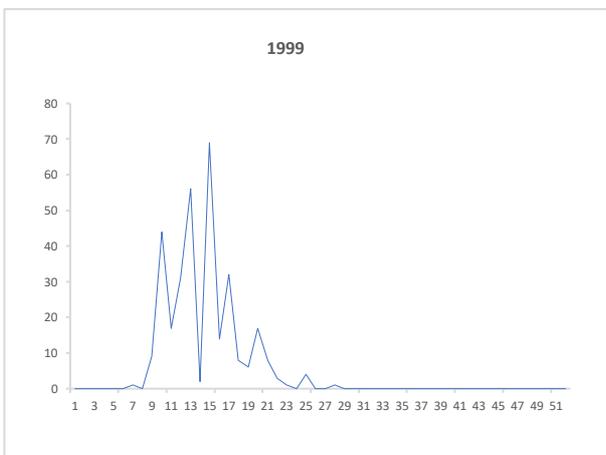
e) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1997



f) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1998



g) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 1999



h) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2000

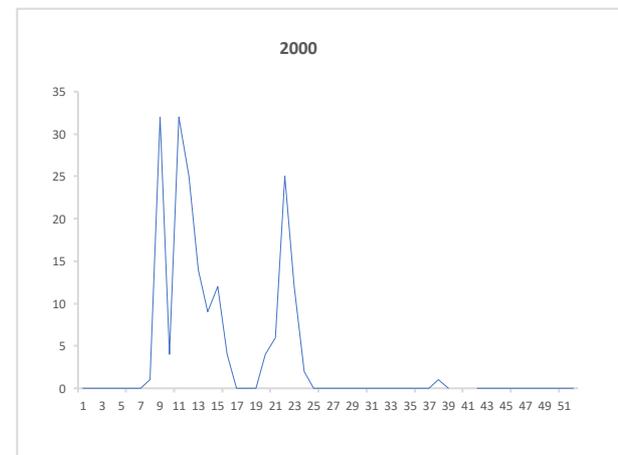
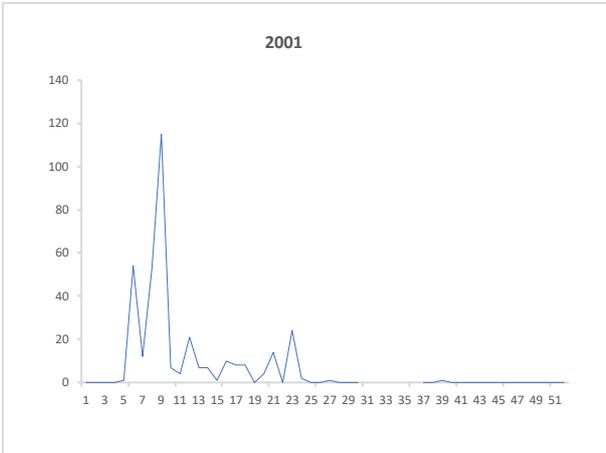
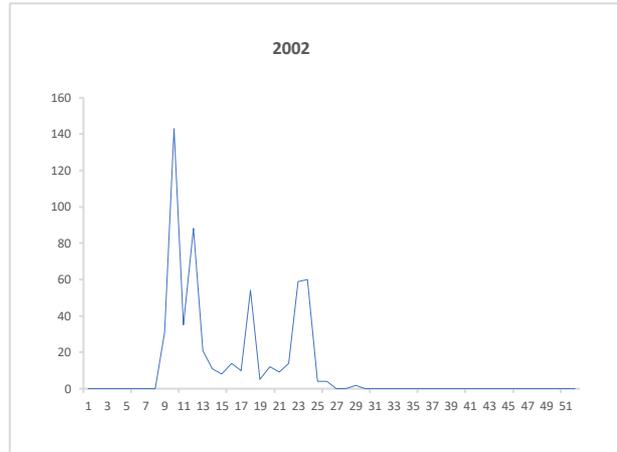


Figura 18. Continuación.

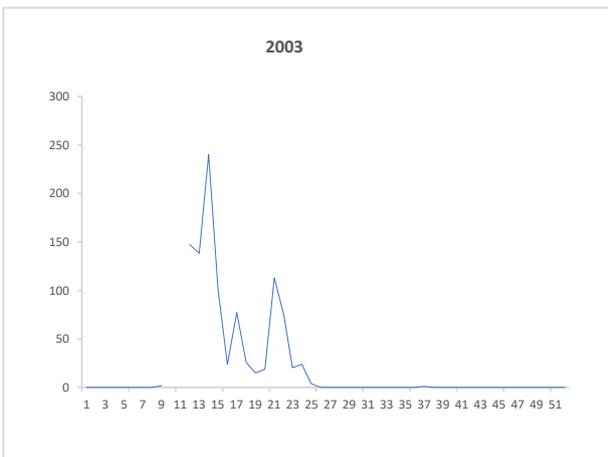
i) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2001



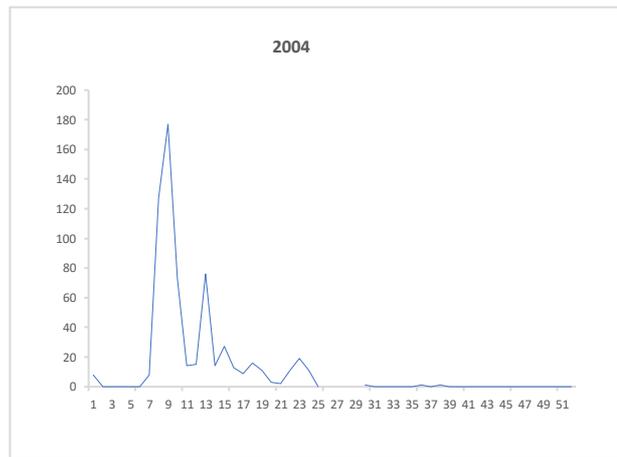
j) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2002



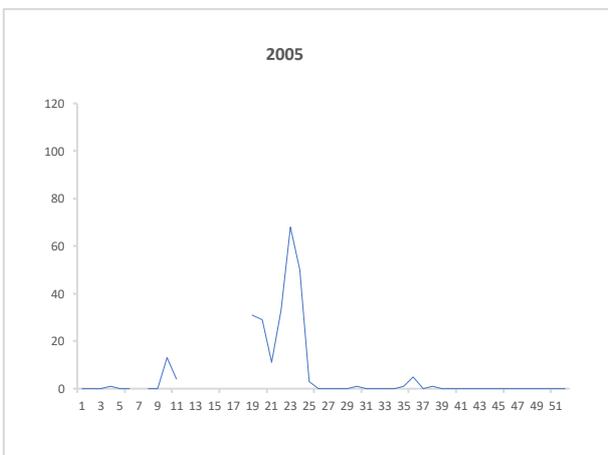
k) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2003



l) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2004



m) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2005



n) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2006

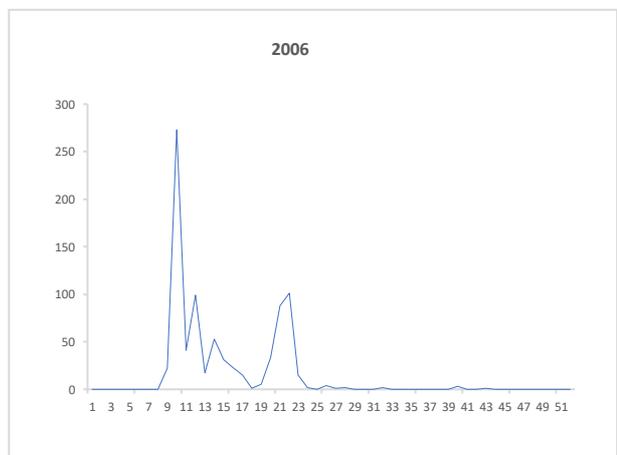
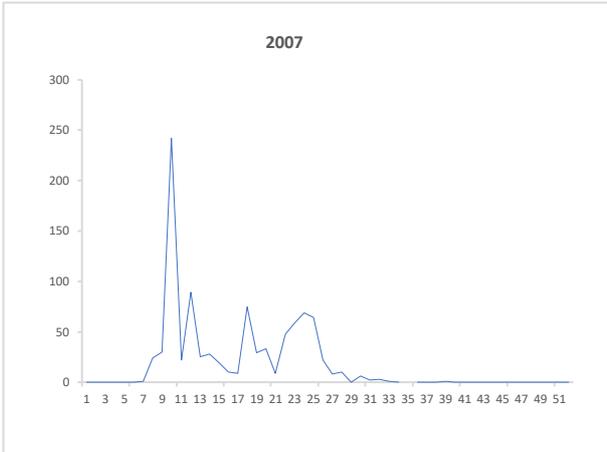
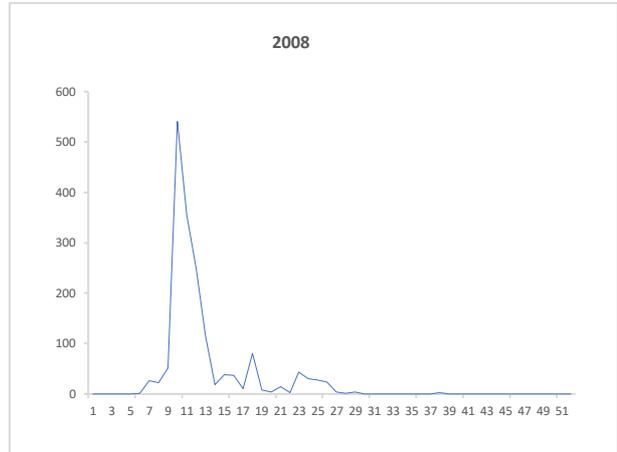


Figura 18. Continuación.

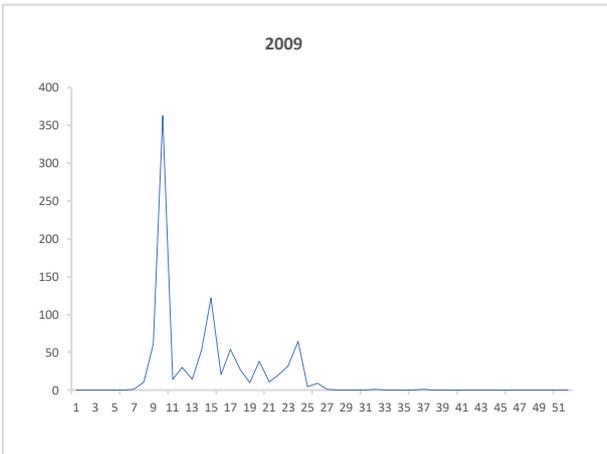
ñ) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2007



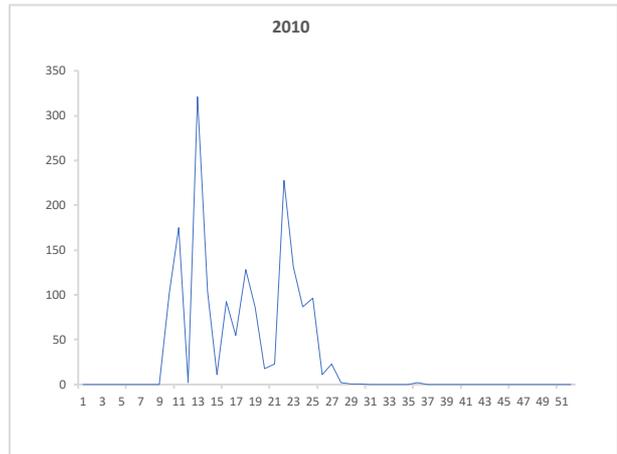
o) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2008



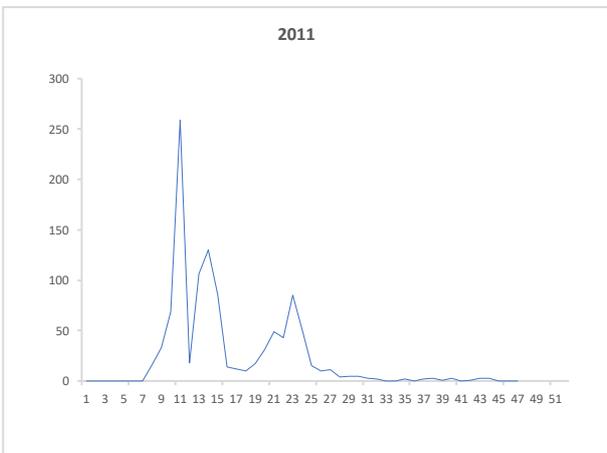
p) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2009



q) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2010



r) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2011



s) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2012

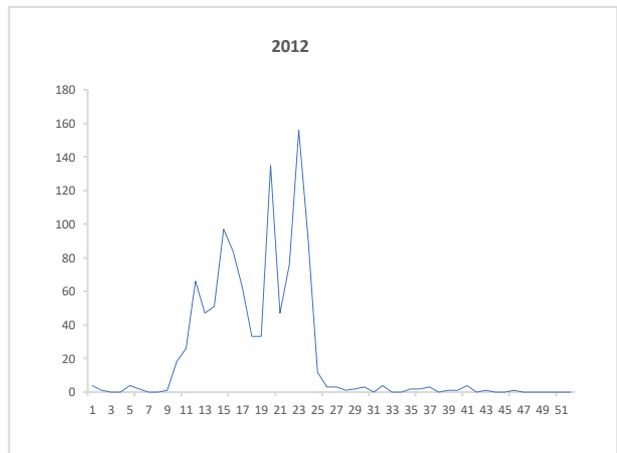
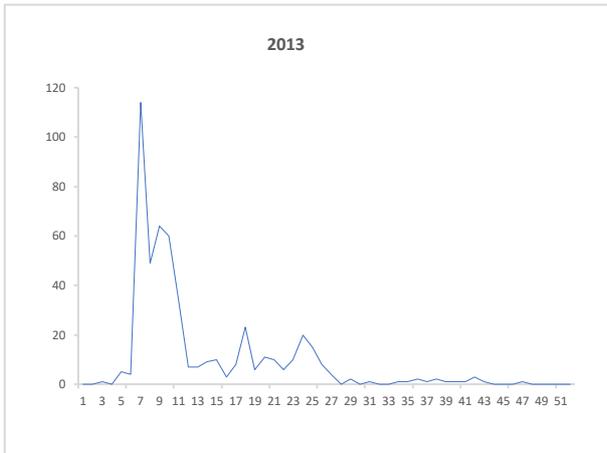
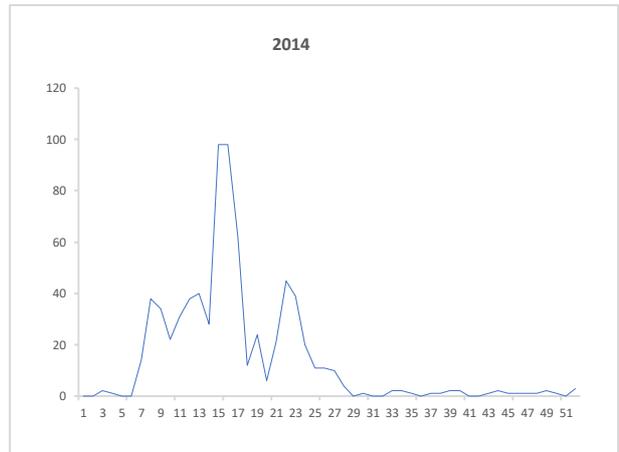


Figura 18. Continuación.

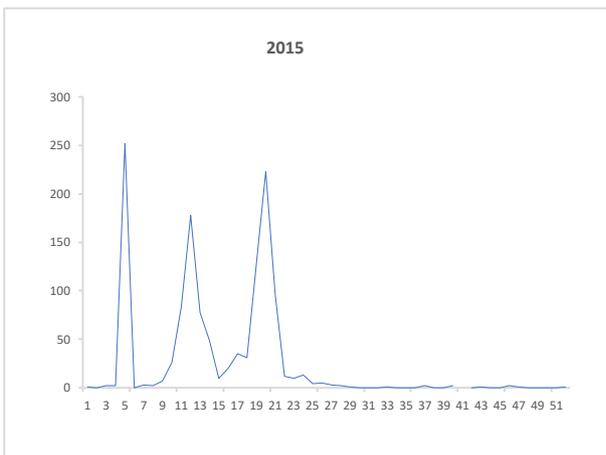
t) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2013



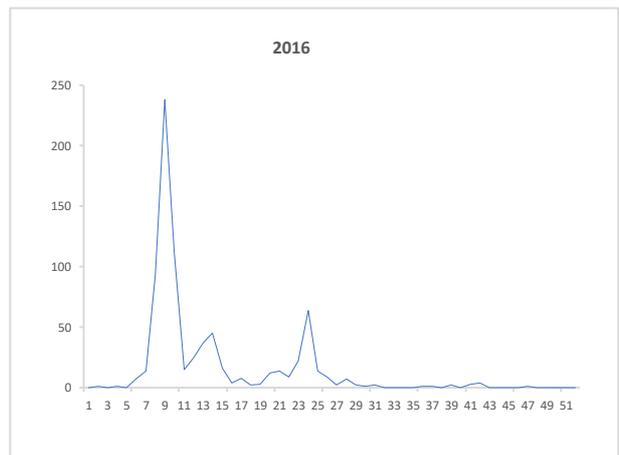
u) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2014



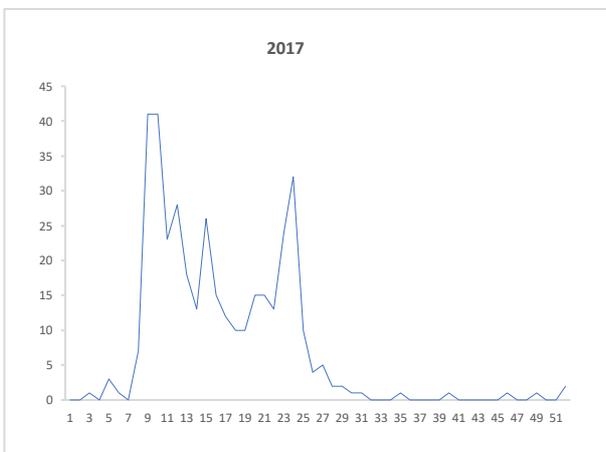
v) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2015



w) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2016



x) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2017



y) Valores semanales de concentración de polen de *Pinus* en el año 2018

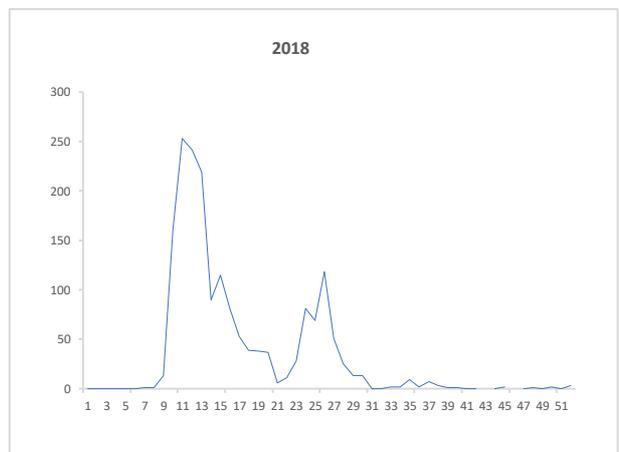


Figura 18. Continuación.

5.4.2 Análisis del comportamiento de la variación intraanual del conjunto de datos de la serie estudiada (1993-2018)

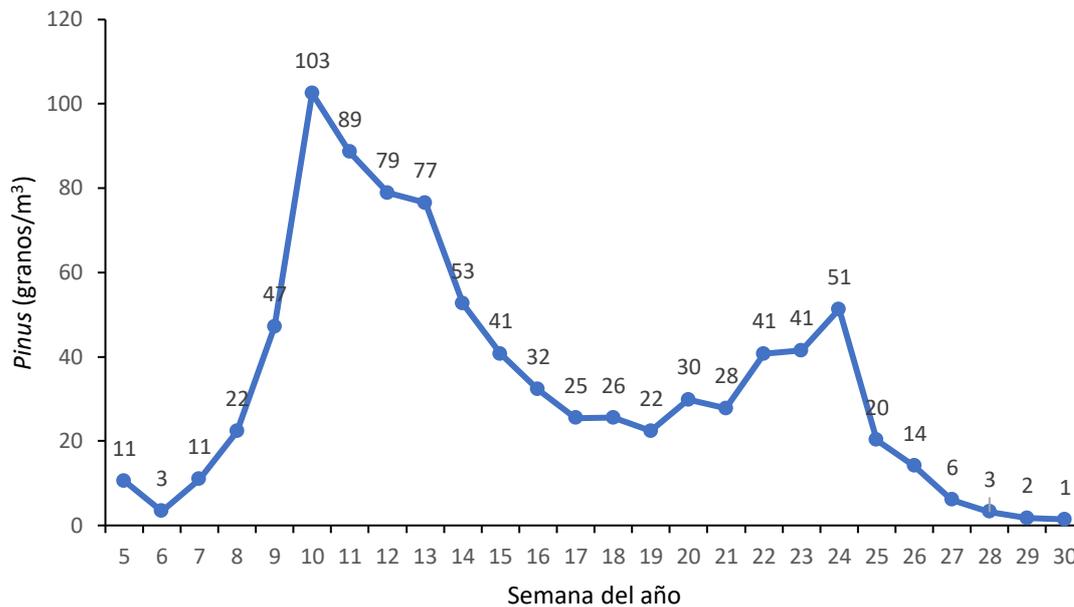


Figura 19. Representación de la media semanal de la concentración de polen de *Pinus* desde 1993 a 2018, entre las semanas 5 y 30.

En la Figura 19 podemos observar la media de los datos de los gráficos de la Figura 18, es decir, se ha realizado la media de los datos de concentración de polen agrupados por semanas. De esta manera se puede ver la tendencia central del polen de pino durante los 26 años de estudio.

La mayoría del polen se concentra en la atmosfera de Cartagena durante las semanas 5-30, que se corresponden con los meses de febrero a julio.

El valor medio más alto aparece en la semana 10 (marzo) con 103 granos/m³, posteriormente aparece otro pico más bajo en la semana 24 (junio) de 51 granos/m³. Estos dos picos, como se ha comentado en el apartado anterior pueden deberse entre otras causas, a la floración escalonada de las especies de *Pinus*, al transporte de polen por el viento, etc.

En términos generales, la evolución que presenta el polen de *Pinus* en la atmósfera a lo largo del año crece a principios de febrero, alcanza su máximo en los meses de marzo y acaba en verano.

5.5 Tendencias en la meteorología anual

Se ha analizado el progreso, de forma anual y estacional, de las temperaturas máximas, mínimas y medias, y de las precipitaciones de la ciudad de Cartagena de 1993 a 2018.

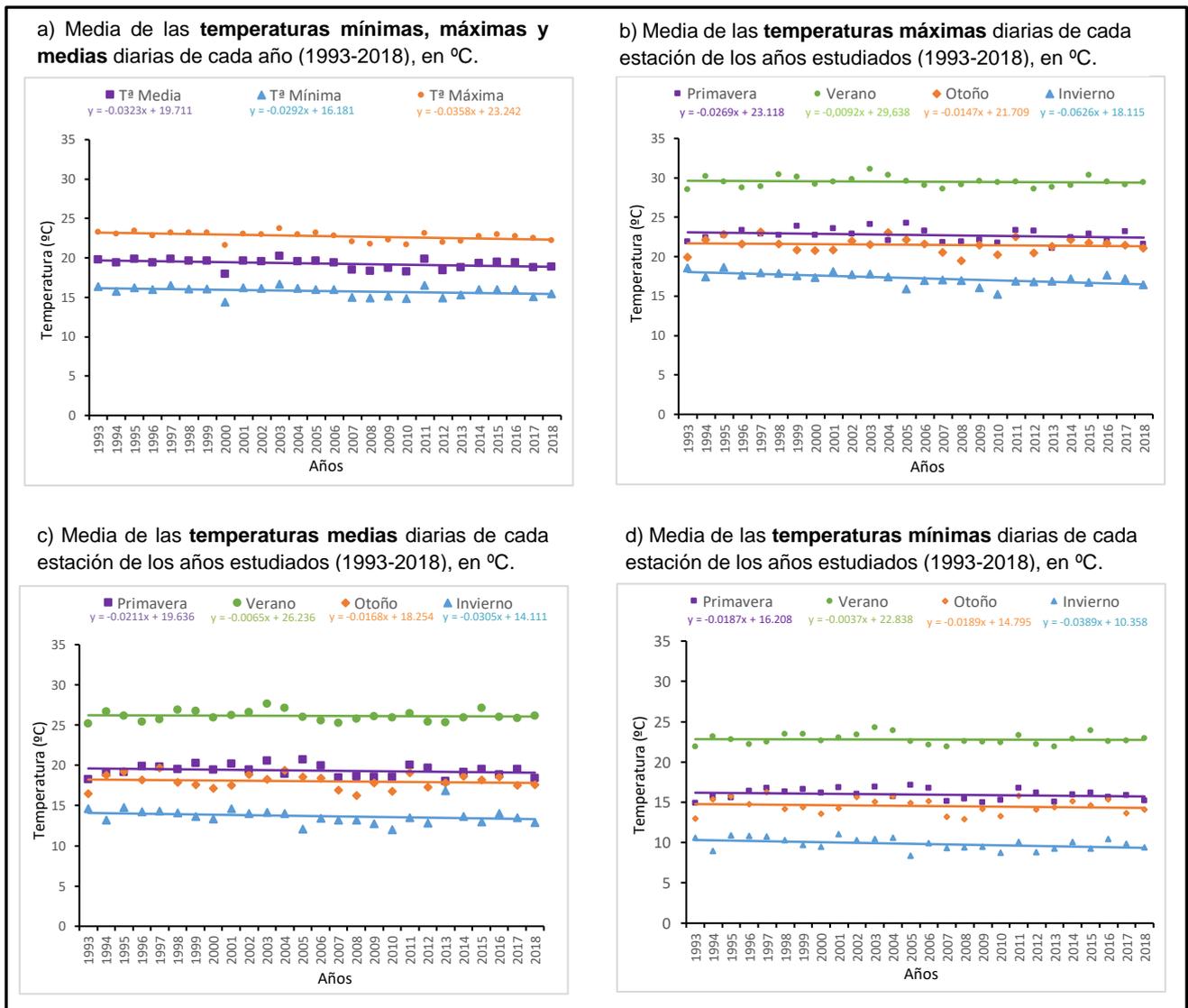


Figura 20. a) Promedio anual de las temperaturas máximas, medias y mínimas entre 1993 y 2017, en °C. d) Valores promedio para las estaciones del año (primavera: violeta, verano: verde, otoño: naranja, invierno: azul) de la temperatura máxima (b), media (c) y mínima (d) para cada año del periodo estudiado, en °C.

En la Figura 20a se muestran los valores promedio de las temperaturas máximas, medias y mínimas diarias de cada año, con las líneas de tendencia, que sirven para marcar la dirección o rumbo de una serie de datos obtenidos a través de un largo periodo de tiempo, mostrando si un parámetro ha aumentado o disminuido en un determinado periodo, junto con las ecuaciones de regresión lineal, que marcan la relación de dependencia entre las variables.

La Figura 20 muestra los valores promedio de las temperaturas máximas (b), medias (c) y mínimas (d) diarias por estación meteorológica (primavera, verano, otoño, invierno). También se presentan las líneas de tendencia, junto a las ecuaciones de regresión lineal correspondientes.

La línea de tendencia promedio de las temperaturas máximas, medias y mínimas diarias por estaciones meteorológicas para los años 1993 a 2018 en la ciudad de Cartagena muestran una disminución con respecto al tiempo para todas las variables y estaciones, Figura 20b, c, d.

Del mismo modo ocurre cuando se analiza las temperaturas medias anuales (máximas, medias y mínimas), las líneas de tendencia también muestran una disminución, Figura 20a. Si bien estos datos no muestran el posible efecto del cambio climático en la zona, otros datos climáticos proporcionados por AEMET señalan que la Región sufre un aumento tanto de las temperaturas máximas como mínimas, como se puede observar en las siguientes figuras.

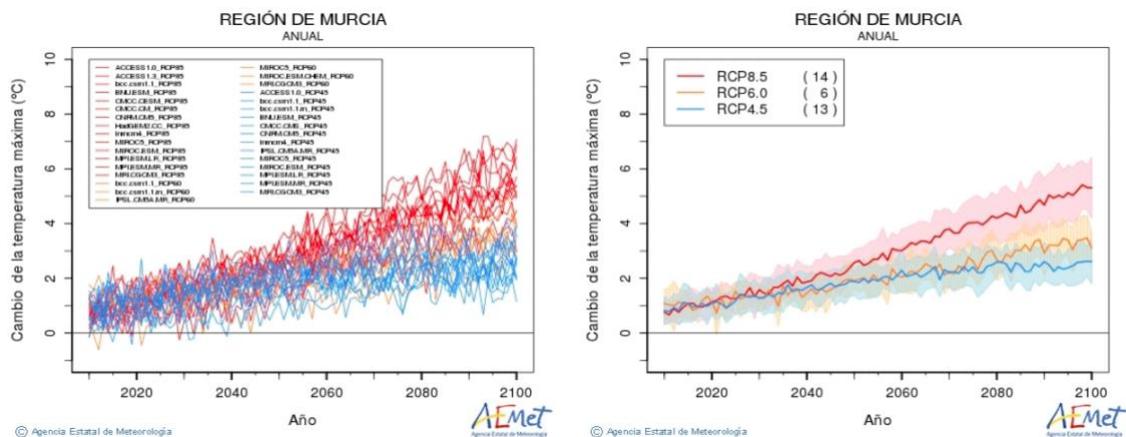


Figura 21. Gráficos de evolución regionalizada de la temperatura máxima, según el quinto informe de evaluación del IPCC, conforme a distintos escenarios (Agencia Estatal de Meteorología, 2020).

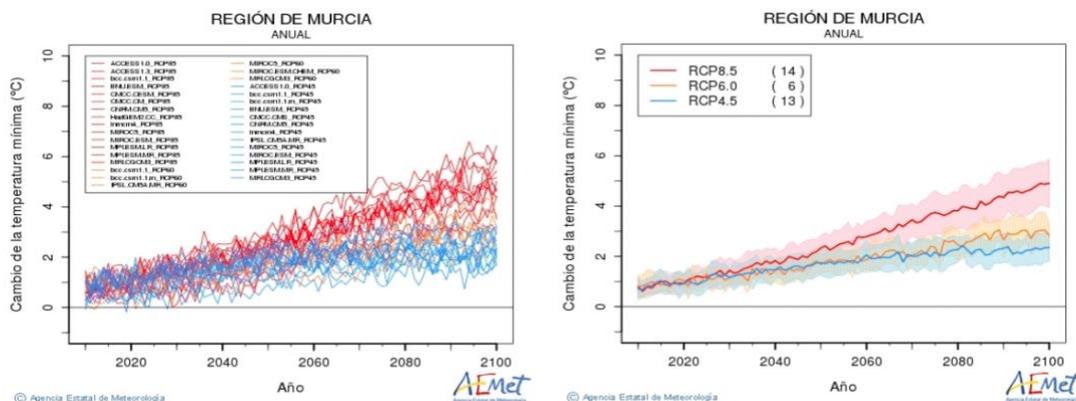


Figura 22. Gráficos de evolución regionalizada de la temperatura mínima, según quinto informe de evaluación del IPCC, conforme distintos escenarios (Agencia Estatal de Meteorología, 2020).

En las Figuras 21 y 22 se muestran la evolución de las temperaturas máximas y mínimas según distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Estos escenarios fueron definidos en el Quinto Informe del IPCC y se denominan RCP por sus siglas en inglés, pudiendo contemplar los efectos de las políticas orientadas a la limitación del cambio climático (Agencia Estatal de Meteorología, 2020). Estas proyecciones se realizan con datos provenientes de satélite y con valores de muchos puntos dentro de una misma región, por lo que un punto de muestreo concreto no es válido para poder sacar conclusiones.

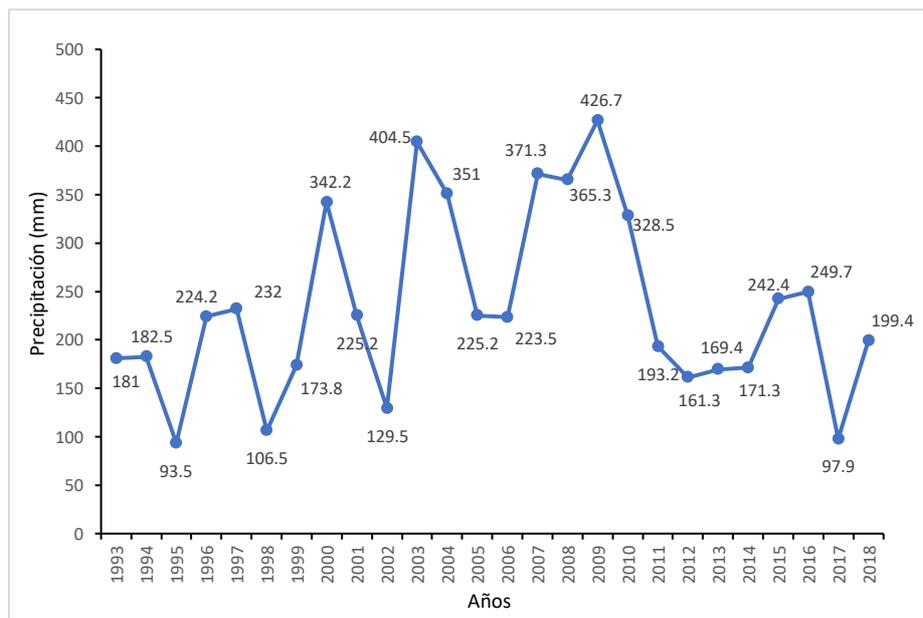


Figura 23. Precipitación anual acumulada en Cartagena (1993-2018), en mm.

Con relación a las precipitaciones anuales acumuladas, Figura 23, los 300 mm únicamente se superan en 7 de los 26 años estudiados: 2000, 2003, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010. Por otro lado, los años más secos que se encuentran por debajo de 100 mm anuales son 1995 y 2017.

El valor máximo anual de lluvia acumulada en la serie se corresponde con el año 2009, con 426,7 mm y el valor mínimo anual de lluvia acumulada se encuentra en 1995 con 93,5 mm. De forma general, las precipitaciones presentan muchas variaciones durante la serie temporal estudiada (1993-2018) y en muchos de los años, estas precipitaciones se concentran de forma torrencial durante pocos días o semanas, siendo lluvias de alta intensidad y corta duración.

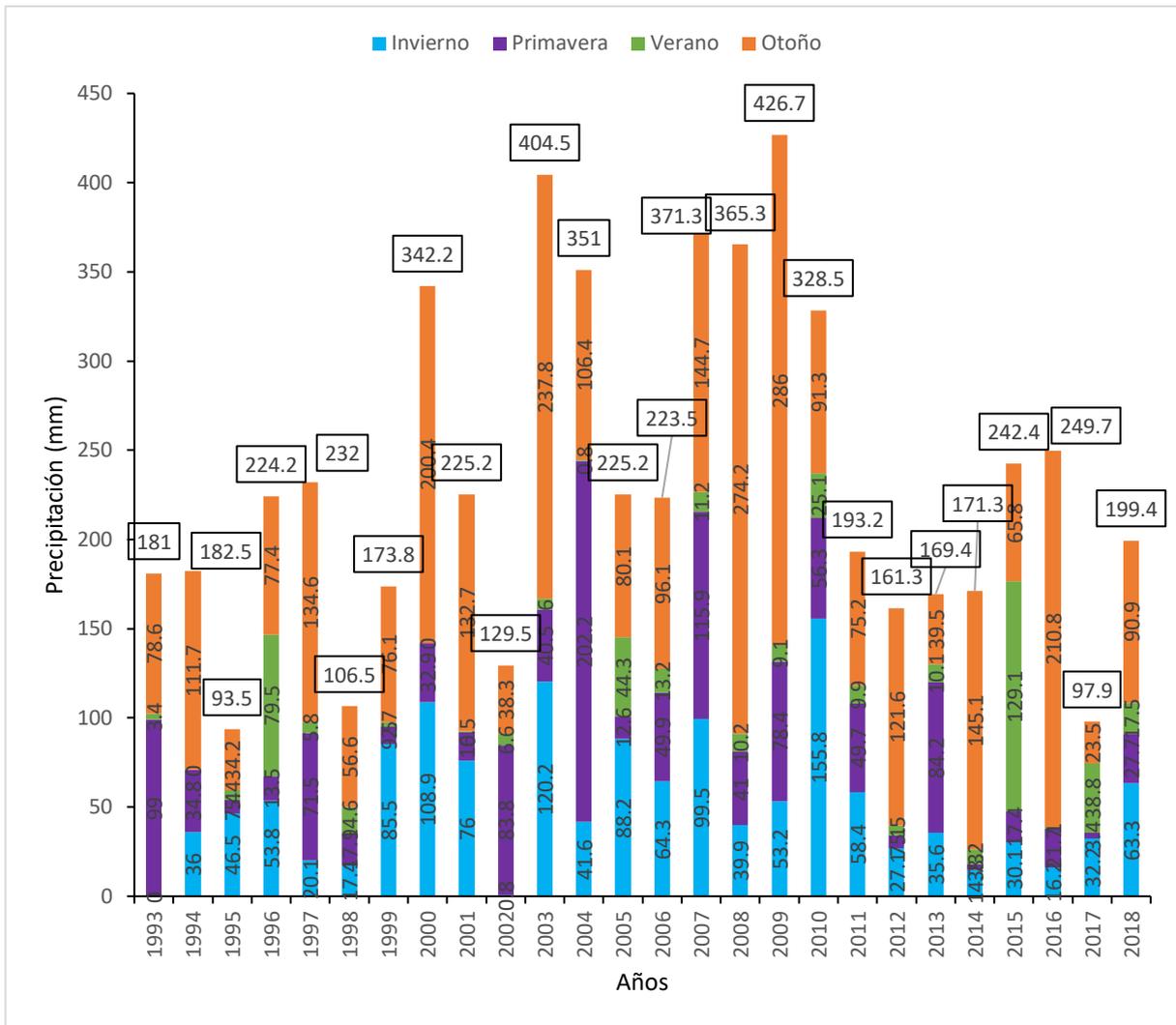


Figura 24. Diagrama de barras apiladas que muestra la precipitación acumulada anual dividida en áreas según la precipitación de cada estación (primavera: violeta, verano: verde, otoño: naranja, invierno: azul), en mm.

La Figura 24 representa, mediante un diagrama de barras apiladas, la proporción de las precipitaciones de cada estación en los años estudiados (1993-2018).

Se puede observar que es en otoño donde ocurren la mayor parte de las precipitaciones acumuladas durante el periodo de estudio (3029,6 mm), seguido del invierno (1385,3 mm), posteriormente se encuentra la primavera (1197,6 mm) y por último el verano (458,5 mm).

De forma general, durante todos los años, los meses de mayor precipitación son octubre, noviembre y diciembre (otoño). Aunque, en algunos años, parte de las precipitaciones se concentran en otras estaciones debido a las lluvias torrenciales que se comentaban anteriormente.

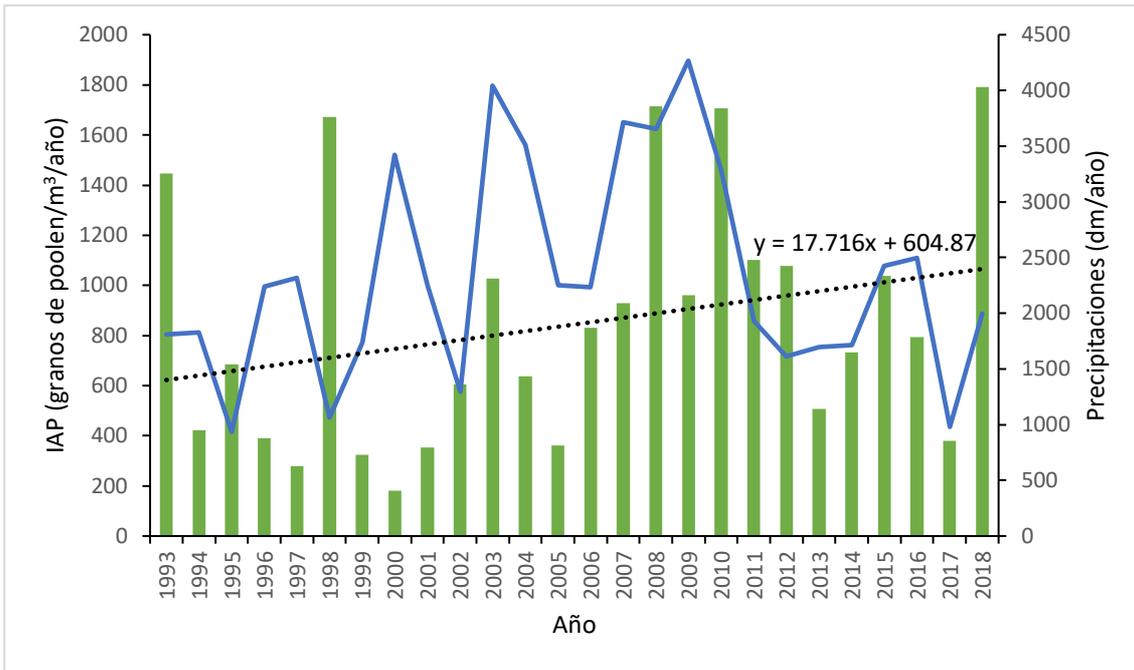


Figura 25. En el eje de ordenadas principal (verde) se representa con un gráfico de barras la Integral Anual de Polen (IAP), en granos/m³/año. En el eje de ordenadas secundario (azul) las precipitaciones anuales acumuladas, en dm/año. La línea de puntos se corresponde con la línea de tendencia del IAP.

En la Figura 25, se representa, en un diagrama de barras (verde) la Integral Anual de Polen (IAP), en granos/m³, con su línea de tendencia y la ecuación de la recta. En azul, las precipitaciones anuales acumuladas, en dm/año. Como puede apreciarse, la línea de tendencia del IAP indica un aumento de la concentración de polen a lo largo de la serie temporal (1993-2018), con una pendiente positiva, aunque no tiene significación estadística ($p > 0,05$).

Se ha encontrado una correlación negativa y significativa al 99% ($p < 0,01$) entre las concentraciones diarias de *Pinus* en el PPP y las precipitaciones diarias, lo que indicaría que cuantas más precipitaciones, menor concentración de polen. Esto se debe a que la lluvia provoca un lavado de la atmósfera, limpiando los granos de polen presentes, ya que estos se hidratan, aumentando su velocidad de sedimentación, por lo que se precipitan sobre el suelo (Guidos & Almeida, 2005).

El análisis de correlación entre el IAP y las lluvias de estaciones anteriores muestra una correlación positiva y significativa al 95% ($p < 0,05$) con las lluvias del verano anterior. La lluvia es necesaria para dotar a la planta de agua suficiente para crecer y florecer. En el caso de las especies herbáceas anuales,

la lluvia inmediata previa a su crecimiento y floración es determinante. En el caso de las especies arbóreas de crecimiento preprimaveral o primaveral, en general, son las lluvias acumuladas en el otoño del año anterior las que tienen una mayor influencia en su potencial de floración (Elvira-Rendueles et al., 2015). En el caso de *Pinus*, durante el periodo estudiado, son las lluvias del verano anterior las que muestran un efecto positivo sobre la concentración de polen en el periodo siguiente. La Figura 26 recoge los valores del IAP de *Pinus* en el periodo estudiado y las lluvias acumuladas del verano anterior.

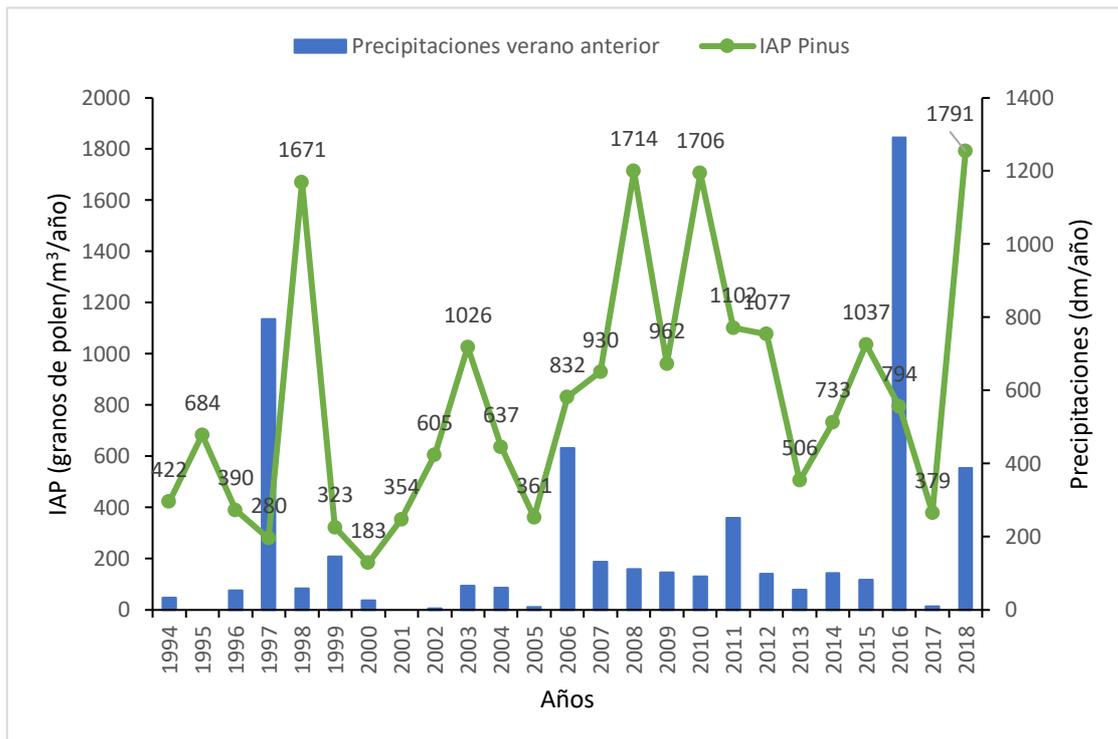


Figura 26. En el eje de ordenadas principal se representa la Integral Anual de Polen (IAP) de *Pinus* (granos/m³/año), en verde y en el eje de ordenadas secundario las precipitaciones (dm/año) del verano anterior, en un gráfico de barras.

La floración de *Pinus* se inicia muchos años en febrero o principios de marzo, antes de iniciarse la primavera, en este periodo se produce la floración del pino carrasco que es la más intensa y si llueve durante este periodo se produce un descenso en los recuentos, por el efecto de lavado que se ha comentado.

Hay que destacar el efecto que puede tener los patrones de lluvia y la sequía sobre la producción de polen por parte de las plantas, teniendo la disponibilidad de agua un efecto importante en el funcionamiento de los ecosistemas con consecuencias a largo plazo (Alba-Sánchez et al., 2010).

5.6 Análisis de tendencias en el Periodo Principal de Polinización de *Pinus*

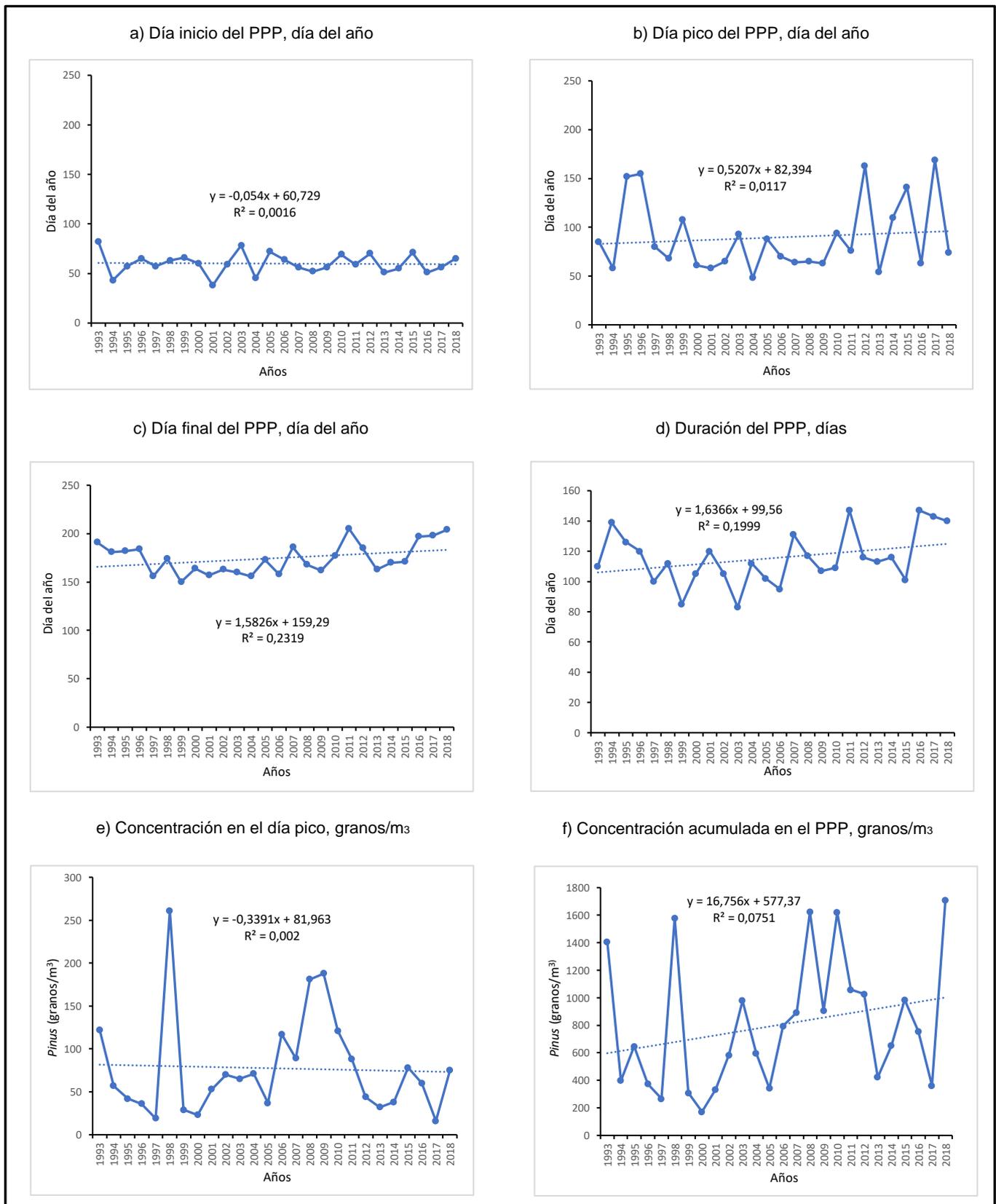


Figura 27. Evolución temporal de las variables del PPP de *Pinus* en Cartagena durante el periodo estudiado (1993-2018).

Se ha realizado un estudio sobre la evolución temporal de los parámetros del PPP de *Pinus* en la atmósfera de Cartagena durante 26 años (1993-2018).

Las Figuras 27a-f representan los parámetros de la Tabla 10 (apartado 5.4): día inicio (a), día pico (b), día final (c), duración del PPP (d), concentración en el día pico, granos/m³ (e) y la concentración total de polen de *Pinus* acumulada en el PPP, granos/m³ (f), con respecto al tiempo, desde 1993 hasta 2018. De la misma forma, se muestran las líneas de tendencia junto con las ecuaciones de regresión lineal y los coeficientes de determinación (R^2), que reflejan la bondad del ajuste de un modelo, cuyo resultado varía de 0 a 1, cuanto más cerca se sitúe de 1, mayor será el ajuste.

Observando las rectas de regresión lineal de los diferentes parámetros del PPP, se puede afirmar que el inicio del PPP se ha adelantado y el final del PPP se ha atrasado, puesto que la pendiente del día inicio es negativa (se adelanta) y la pendiente del día final es positiva (se atrasa). El efecto neto que se observa es que la duración del PPP está aumentando, ya que comienza antes y finaliza después. Igualmente, el día pico también experimenta un retraso ya que la pendiente de la recta de regresión es positiva.

En otros estudios, lo que sucede es un retraso del inicio del PPP y otro retraso del final del PPP, de forma distinta a lo que ocurre en Cartagena, que se adelanta el inicio. Aún así, también se produce un retraso del día pico (Gharbi, 2018).

Las líneas de tendencia muestran un aumento de la concentración acumulada de polen de *Pinus* en el PPP, aunque una disminución de la concentración en el día pico. Estos datos pueden indicar que la concentración total de polen de *Pinus* está aumentando con el paso de los años, pero que, a su vez, se están reduciendo los eventos extremos, es decir, el polen se distribuye de forma más uniforme durante el año, con máximos de concentración menores, pero existiendo un aumento neto de en la concentración total anual.

Según Frenguelli et al., 2002, el PPP de *Pinus* al igual que otros taxones está influenciado por la temperatura de los meses anteriores a su floración, influyendo significativamente en el comienzo del PPP. El polen de *Pinus* parece

ser muy sensible a este parámetro ya que cuando la temperatura aumenta, muestra no solo un adelanto de la polinización, sino también, una reducción significativa de la duración del PPP.

5.7 Categorías polínicas para *Pinus* en Cartagena

Tal y como se ha indicado en el apartado de materiales y métodos, la Red Española de Aerobiología en su Manual de Calidad de 2007 incluye a *Pinus* en el grupo 4, cuyas categorías polínicas son:

- Nulo: <1 granos/m³
- Bajo: 1-50 granos/m³
- Moderado: 51-200 granos/m³
- Alto: >200 granos/m³

Basándonos en estos datos de referencia y con la finalidad de elaborar una serie de valores umbrales a nivel local, que sirvan para la localidad de Cartagena, se han calculado los días del periodo de estudio (1993-2018) con niveles nulos, bajos, medios y altos (Figura 28).

En la Figura 28a se representa el número de días que tienen categoría polínica nulo. Del gráfico se deduce que en la totalidad de los años estudiados entre 190 y 320 días se registran valores de polen de *Pinus* menores a 1 grano/m³, es decir, nulo.

En la Figura 28b se representa el número de días que tienen categoría polínica baja, con niveles de polen entre 1 y 50 granos/m³. En los años estudiados el valor mínimo de días con niveles bajos es de 50 y el valor máximo es de 158 (año 2014).

En la Figura 28c, se observa que solo 16 de los 26 años han presentado niveles de *Pinus* medios según la REA (50-200 granos/m³), y, por último, en la Figura 28d podemos contemplar que únicamente se ha registrado un año (1998) que alcanza la categoría de alto (>200 granos/m³) en el que solo en un día del año se han superado los 200 granos/m³ de polen de *Pinus*.

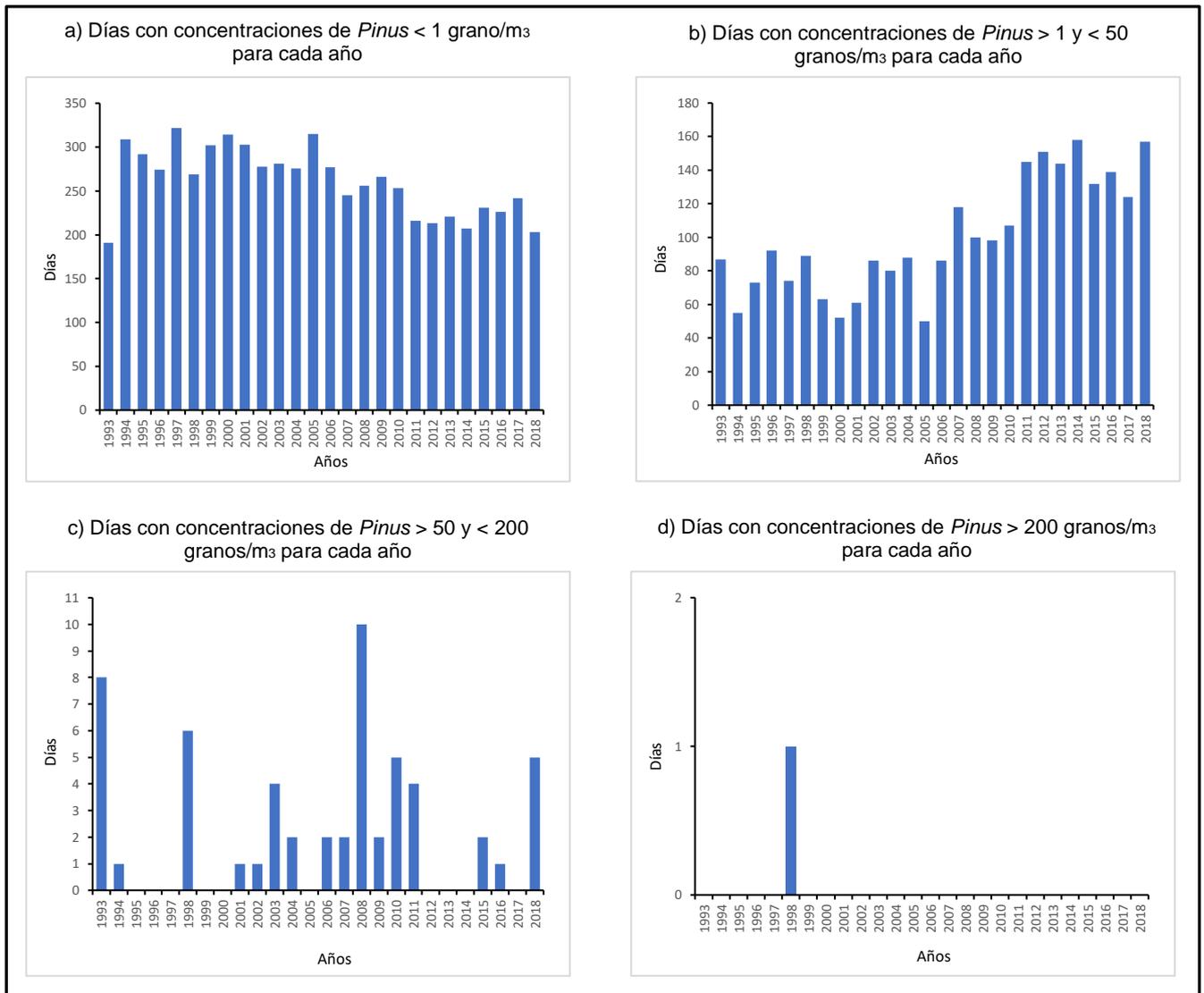


Figura 28. Número de días por encima de los valores umbrales nulo, bajo, medio y alto de concentración de *Pinus* para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2017) en Cartagena.

En la Tabla 11 se muestran los percentiles 90, 95, 97 y 99 que han sido calculados conforme los datos de este estudio.

Percentil	90	95	97	99
Valor (granos/m ³)	5	12	21	40

Tabla 11. Percentiles 90, 95, 97 y 99, calculados para la base de datos de polen de *Pinus* en Cartagena durante el periodo estudiado (1993-2018).

De acuerdo con estos resultados, se proponen las siguientes categorías de polen para *Pinus* en la localidad de Cartagena:

- Nulo, <5 granos/m³
- Bajo, 5-20 granos/m³

- Medio, 21-40 granos/m³
- Alto, >40 granos/m³

Teniendo en cuenta estos umbrales para la localidad de Cartagena, se han elaborado nuevos gráficos para contrastar el número de días por encima de estas nuevas categorías (Figura 29).

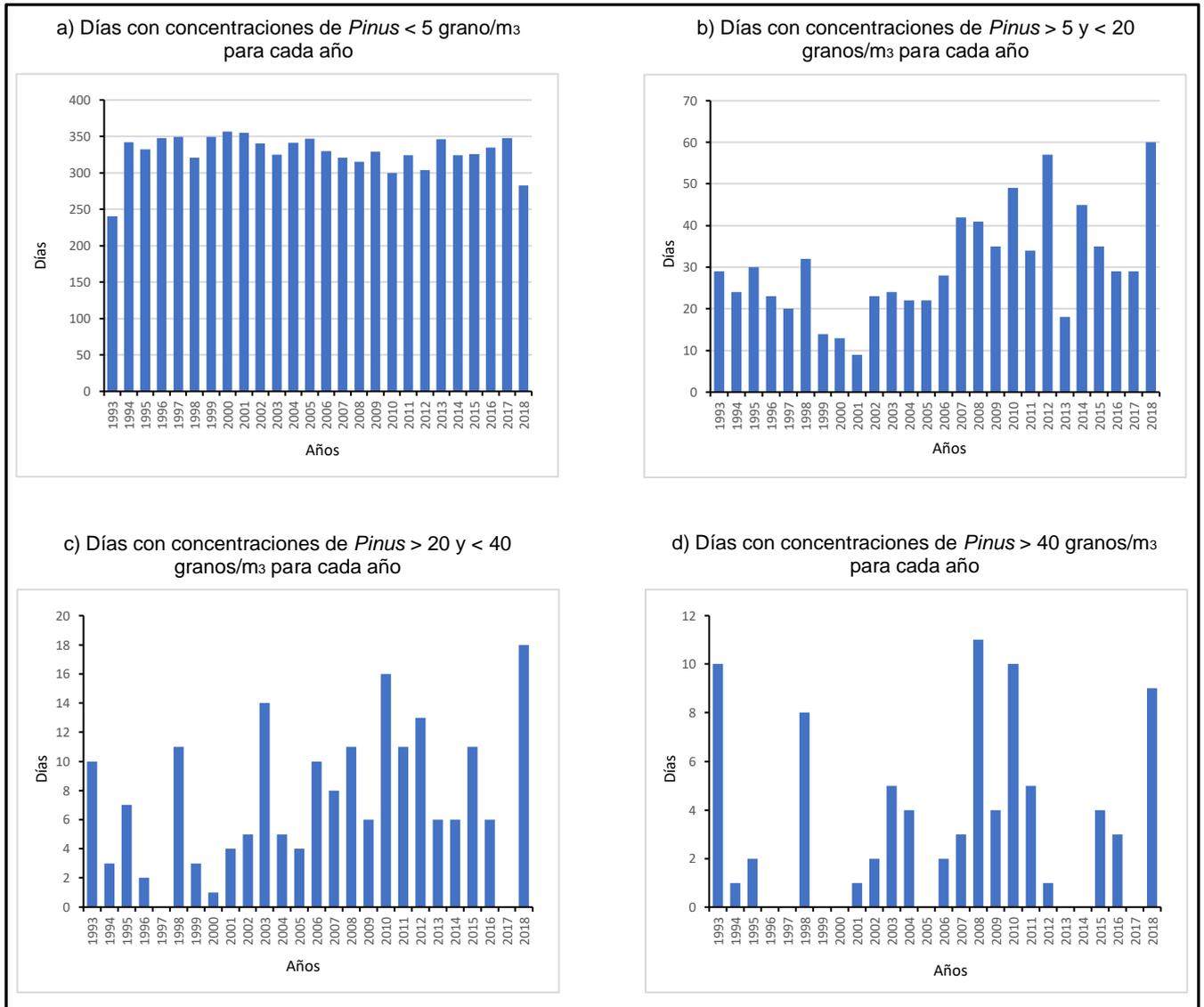


Figura 29. Número de días por encima de los valores umbrales calculados para Cartagena de concentración de *Pinus* para cada uno de los años del periodo estudiado (1993-2017) en Cartagena.

Con esta escala, la población sensible habría sido informada de valores altos de polen de *Pinus* en 18 de los 26 años estudiados (más de la mitad de los años estudiados), como se observa en la Figura 29d, presentando entre 1 y 11 días con niveles de polen mayores a 40 granos/m³.

En la Figura 29c se distinguen valores medios de polen de *Pinus* en todos los años excepto en 1997 y 2017, mostrando entre 1 y 18 días con niveles de polen entre 21 y 40 granos/m³.

Del mismo modo, se contemplan valores bajos y nulos (Figuras 29b y 29a) en todos los años de estudio (1993-2018), presentando valores bajos (de 5 a 20 granos/m³) entre 9 y 60 días y valores nulos (menor de 5 granos/m³) entre 240 y 357 días.

A la hora de evaluar nuestros resultados sobre los valores umbrales del polen de *Pinus*, se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales: su concentración en nuestra atmósfera (valores pico que se consideren que generan una respuesta alérgica) y el potencial alérgico del polen.

Son pocos los trabajos existentes sobre la prevalencia de la alergia al polen de pino, y en los existentes, dicha prevalencia en la población es muy baja, menor del 2% y en zonas donde hay una gran exposición. Su gran tamaño y su bajo contenido proteico (Subiza Garrido-Lestache et al., 2003) son las razones por las que se cataloga en los tratados de alergia como un polen poco alérgico. Por ello, cuando han aparecido casos de alergia a *Pinus* se ha planteado que se debe a reacción cruzada con otros alérgenos, fundamentalmente gramíneas (Lasarte, 2003). Spieksma & Nikkels (1999), demostraron la presencia de alérgenos de *Lolium perenne* en partículas paucimicrónicas (polvo, almidón, diésel...) transportadas por el aire que si llegan a los bronquiolos.

En España, *Pinus* es la conífera exótica más usada en reforestación, dos tercios de ella se sitúan en el País Vasco, Galicia y Cantabria. En el País Vasco, la especie dominante es *Pinus radiata*, que florece en invierno y cuyo PPP dura entre 5-6 semanas iniciándose a mediados de febrero hasta el final de marzo o principios de abril. Posteriormente aparecen otros picos de polinización menores en primavera, debido a otras especies como el *Pinus sylvestris*. En el espectro aerobiológico del País Vasco es el polen más abundante en Vizcaya y Guipúzcoa, alcanzando picos de unos 400 granos/m³ (Lasarte, 2003).

En las últimas décadas, con el incremento de la prevalencia de la enfermedad alérgica a nivel mundial, también se han incluido como alérgicas especies que anteriormente no eran consideradas como tales, es el caso de

Cupressus (Cipreses), *Criptomeria japónica* (Cedro del Japón) o *Casuarina* (Pino australiano), por ello es prudente no descartar ningún polen anemófilo que aporta al aerosol aerobiológico gran cantidad de polen como totalmente inocuo.

Se ha demostrado que el contenido en proteínas del polen de *Pinus* es 40 veces inferior al del olivo o al de las gramíneas, esto quiere decir que, en principio, se necesitarían 40 veces más de polen de *Pinus* en el aire para producir los mismos síntomas.

En el estudio de Lasarte (2003), con sueros de pacientes vascos y gallegos que dieron positivo al polen de *Pinus*, 30 eran monosensibles y el resto polisensibles, fundamentalmente con gramíneas.

La polinización invernal de *Pinus radiata* sirve de ayuda para descartar síntomas de alergia a causa de otros pólenes como las gramíneas, de polinización primaveral o estival, ya que no coinciden en el tiempo con la floración de *Pinus*. En Cartagena, el inicio de la polinización de *Pinus* coincide con *Cupressus*, *Artemisia*, *Morus* y *Platanus*, considerados alergénicos, el segundo grupo primaveral aún coincide con más pólenes alergénicos. Dado el alto grado de polisensibilización en la Región, es difícil demostrar su implicación en la sintomatología alérgica, además que según los datos disponibles en el Estudio Multicéntrico de la SEIAC (Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica), (Alergológica, 2005) y los datos de la Asociación de Alergología e Inmunología Clínica de la Región de Murcia (Huertas Amorós, 2013), el polen de *Pinus* no aparece como alergénico a considerar en nuestra área geográfica.

	Pólenes		Ácaros		Epitelios		Hongos	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Murcia	70	66,7%	34	32,4%	24	22,9%	10	9,5%

Tabla 12. Porcentaje de pacientes con rinoconjuntivitis sensibilizados a alérgenos habituales en Murcia (Alergológica, 2005).

Frecuencia de sensibilización a los aeroalérgenos en los pacientes asmáticos por comunidades autónomas	Murcia
<i>Dermatophagoides pteronyssinus</i>	38,1%
<i>Dermatophagoides farinae</i>	25,4%
<i>Alternaria alternata</i>	15,9%
Especies de <i>Aspergillus</i>	3,2%
Especies de <i>Cladosporium</i>	3,2%
<i>Artemisa</i>	17,5%
Especies de <i>Cupressus</i>	9,5%
Gramíneas	15,9%
<i>Olea europaea</i>	36,5%
<i>Parietaria judaica</i>	7,9%
<i>Platanus acerifolia</i>	6,3%
<i>Salsola kali</i>	22,2%
Gato	9,5%
Perro	7,9%

Tabla 13. Frecuencia de sensibilización a los aeroalérgenos en los pacientes asmáticos en Murcia (Huertas Amorós, 2013).

6. CONCLUSIONES

1. En la Región de Murcia podemos encontrar cuatro especies principales del género *Pinus*: *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Pinus nigra*.
2. A lo largo de los 26 años de estudio del bioaerosol atmosférico de Cartagena se han observado granos de polen de *Pinus* con alteraciones morfológicas, presentado 3 o 4 sacos aeríferos, lo que evidencia su papel bioindicador dada su sensibilidad a los impactos ambientales.
3. Si bien el género *Pinus* se caracteriza por producir una gran cantidad de polen, lo que facilita su dispersión en la atmósfera, la mayoría de los estudios coinciden en que es una causa poco frecuente de alergia. Esto se debe a su bajo contenido en proteínas, su gran tamaño y su naturaleza hidrofóbica.
4. La baja alergenicidad del polen de *Pinus* nos sirve para proponerlo como flora ornamental urbana. Este hecho queda reflejado en un estudio de ámbito nacional sobre la contribución de especies arbóreas al Índice de Alergenicidad de Espacios Verdes Urbanos, en el que se incluye el parque de la Rosa de Cartagena.
5. Se ha realizado un análisis de los datos de la serie estudiada 1993-2018, de valores válidos, perdidos y totales anuales de polen de *Pinus*. Sólo se han producido valores perdidos (entre un 1 y un 10%) en la mitad de los años analizados. Excepcionalmente, en el año 2005 se registró un 44% de datos perdidos debido a una avería en el captador que afectó a los registros de polen de *Pinus*.
6. Se han calculado los IAP (Integral Anual de Polen) de cada año de la serie y las concentraciones mensuales acumuladas que definen el comportamiento intraanual y estacional de polen de *Pinus*. Los valores registrados IAP de *Pinus* en el periodo de estudio, presenta variaciones interanuales importantes, desde un máximo de 1791 granos de polen/m³ en el año 2018, hasta los 182 granos de polen/m³ registrados en el año 2000.
7. El 97% del polen de *Pinus* acumulado se concentra en los meses preprimaverales y primaverales, de febrero hasta junio, y el 3% restante

- en los demás meses del año. El mes de marzo con 8811 granos/m³ representa el 40% del polen total acumulado de *Pinus* recogido en el periodo, el mes de junio con 3738 granos/m³ representa el 17% de la serie de datos, valores coincidentes con los picos de floración de las especies de *Pinus* dominantes en la zona.
8. La influencia del polen de *Pinus* con relación a otros taxones y el polen total durante su PPP se representa por su porcentaje con respecto al polen total. Con un valor medio del 8% del polen total, alcanza un máximo de 17% y un valor mínimo del 3%. En estos meses de marzo a junio aparecen otros muchos tipos polínicos en la atmósfera, fundamentalmente en la estación primaveral, donde *Pinus* representa un porcentaje reducido del polen total.
 9. Se han definido los parámetros del periodo principal de polinización (PPP) de *Pinus* durante 1993-2018, que se caracteriza por:
 - a. La concentración media anual de *Pinus* durante su PPP es de 800 granos/m³, con una concentración mínima de 172 granos/m³ registrada en el año 2000 y una concentración máxima de 1710 granos/m³, correspondiente con el año 2018.
 - b. La duración del PPP de *Pinus* varía entre un mínimo de 83 días (2003) y un máximo de 147 días (2016), siendo la duración media de 115 días para el periodo estudiado.
 - c. El inicio del PPP es variable, situándose el día de inicio en los meses de febrero y marzo. El día de inicio natural del año mas temprano se sitúa en el día 38 (principio de febrero de 2001) y el más tardío hasta el día 78 (2003). El día de inicio promedio es 60 (última semana de febrero). El final del PPP abarca desde el día 150 (1999) hasta el 205 (2011), siendo el final promedio el día 174 del año (penúltima semana de junio).
 - d. En el día pico, el valor diario de concentración más alto alcanzado es de 261 granos/m³ y el pico de concentración más bajo es de 16 granos/m³. La concentración del día pico media es de 77 granos/m³.
 10. El análisis de los datos de polen de *Pinus* en la serie aerobiológica temporal utilizada, nos sugiere una tendencia a una mayor producción de

polen de *Pinus* al final del periodo. Este resultado parece ser coherente con el escenario de cambio climático y de efecto invernadero en el sur de Europa, donde se prevé una mayor producción y liberación de polen, así como un alargamiento en el periodo de polinización de especies arbóreas que florecen en invierno o al inicio de la primavera.

11. El polen de *Pinus* puede presentar varios picos de concentración intraanuales debido a la coexistencia de diferentes especies en la zona y a la floración escalonada de las diferentes especies de este tipo polínico. En nuestra área geográfica, la floración se produce generalmente a finales de febrero o principios de marzo y se corresponde con el pino carrasco. El otro pico más importante y tardío de junio, es posible que se corresponda con el pino piñonero, abundante como flora ornamental. Dado que estas floraciones se solapan y dado las pocas diferencias morfológicas del tipo polínico *Pinus*, hemos considerado un único PPP.
12. El análisis del comportamiento de la variación intraanual de la concentración del polen de *Pinus* en los 26 años de estudio muestra que la mayoría del polen se concentra en la atmósfera de Cartagena entre las semanas 5 y 30 presentando un valor medio semanal máximo de 103 granos/m³ en la semana 10. En general, la presencia de este taxón en el bioaerosol atmosférico de Cartagena aparece en febrero, alcanza su máximo en marzo y finaliza en verano.
13. Sobre las tendencias en la meteorología:
 - a. Las temperaturas máximas, medias y mínimas, tanto por estación meteorológica como anuales, muestran una disminución a lo largo del periodo estudiado.
 - b. Con relación a las precipitaciones, es en otoño donde ocurren la mayor parte, seguido del invierno, la primavera y por último el verano, que es el que muestra una menor cantidad.
 - c. La correlación negativa y significativa al 99% entre la lluvia y el polen diario en el PPP demuestra el efecto de lavado atmosférico.
 - d. Las lluvias producidas en el verano favorecen una mayor intensidad en la producción de polen en el siguiente periodo de floración.

14. La evolución temporal de los parámetros del PPP muestra un adelanto del día inicio y un retraso en el día final y el día pico, y como consecuencia, un aumento de la duración del PPP. La concentración en el día pico disminuye, sin embargo, la concentración de *Pinus* acumulada en el PPP aumenta, lo que sugiere una reducción de los eventos extremos y una distribución más uniforme del polen durante el año.
15. Basados en los percentiles 90, 95, 97 y 99, calculados a partir de la base de datos de polen de *Pinus* en Cartagena durante el periodo estudiado (1993-2018), se han establecido las siguientes categorías polínicas del taxón *Pinus* para Cartagena: Nulo, <5 granos/m³; Bajo, 5-20 granos/m³; Medio, 21-40 granos/m³; Alto, >40 granos/m³.
16. Si bien es cierto que en la mayoría de los tratados de alergia se cataloga al polen de *Pinus* como poco alergénico, y que presenta una prevalencia <2%, hay que tener en cuenta el escenario actual de la enfermedad alérgica al polen. En las últimas décadas, con el incremento de la prevalencia de la enfermedad alérgica a nivel mundial, también se han incluido como alergénicas especies que anteriormente no eran consideradas como tales, es el caso de *Cupressus* (Cipreses), *Criptomeria japónica* (Cedro del Japon) o *Casuarina* (Pino australiano), por ello es prudente no descartar ningún polen anemófilo que aporta al aerosol aerobiológico gran cantidad de polen como totalmente inocuo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AEMET OpenData. (2019). [WWW Document]. <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
- Agencia Estatal de Meteorología. (2019). *AEMET. Gobierno de España*. <http://www.aemet.es/es/portada>
- Agencia Estatal de Meteorología. (2020). *Resultados gráficos: Murcia - Reg. est. regresión - Tmax. - Agencia Estatal de Meteorología - Gobierno de España*. AEMET. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?w=1&opc1=30&opc2=Tx&opc3=Anual&opc4=0&opc6=0
- Alba-Sánchez, F., Sabriego-Ruíz, S., Díaz de la Guardia, C., Nieto-Lugilde, D., & De Linares, C. (2010). Aerobiological behaviour of six anemophilous taxa in semi-arid environments of southern Europe (Almería, SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 1381-1391.
- Albertine, J. M., Manning, W. J., DaCosta, M., Stinson, K. A., Muilenberg, M. L., & Rogers, C. A. (2014). Projected Carbon Dioxide to Increase Grass Pollen and Allergen Exposure Despite Higher Ozone Levels. *PLoS ONE*, 9(11), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111712>
- Alergológica. (2005). *Informe Alergológica, 2005. Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica*. Portal SEAIC. <https://www.seaic.org/profesionales/noticias-para-profesionales/alergologica-2005.html>
- Andersen, T. B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30, 269-275. <https://doi.org/10.1080/00173139109427810>
- Anthos. (2020). Sistema de información de las plantas de España. Real Jardín Botánico CSIC - Fundación Biodiversidad. Recurso electrónico en <http://www.anthos.es/>
- Armentia, A., Quintero, A., Fernández-García, A., Salvador, J., & Martín-Santos, J. M. (1990). Allergy to pine pollen and pinon nuts: A review of three cases. *Annals of Allergy*, 64(1), 49-53.
- Asociación de Naturalistas del Sureste. (2012, mayo). *Reflexiones relativas al*

estado de las masas forestales de Cartagena de cara al verano. ANSE. <https://www.asociacionanse.org/reflexiones-relativas-al-estado-de-las-masas-forestales-de-cartagena-de-cara-al-verano/20120507/>

Barnes, C. S., Alexis, N. E., Bernstein, J. A., Cohn, J. R., Demain, J. G., Horner, E., Levetin, E., Nel, A., & Phipatanakul, W. (2013). Climate Change and Our Environment: The Effect on Respiratory and Allergic Disease. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 1(2), 137-141. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2012.07.002>

Belmonte, J. S., & Roure Nolla, J. R. (2002). Introducción. En *Polinosis. Polen y Alergia*. MRA ediciones: Laboratorios Menarini.

Cariñanos, P., Casares-Porcel, M., Díaz de la Guardia, C., Aira, M. J., Belmonte, J., Boi, M., Elvira-Rendueles, B., De Linares, C., Fernández-Rodríguez, S., Maya-Manzano, J. M., Pérez-Badía, R., Rodríguez-de la Cruz, D., Rodríguez-Rajo, F. J., Rojo-Úbeda, J., Romero-Zarco, C., Sánchez-Reyes, E., Sánchez-Sánchez, J., Tormo-Molina, R., & Vega Maray, A. M. (2017). Assessing allergenicity in urban parks: A nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research*, 155, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.015>

Cariñanos, P., Casares-Porcel, M., Elvira-Rendueles, B., Fernández-Rodríguez, S., Maya-Manzano, J. M., & Pérez, R. (2016). Environmental health of Spanish parks: An approach to the allergenic potential of urban green spaces. *Salud Ambiental*, 16(1), 33-42.

Cariñanos, P., Casares-Porcel, M., & Quesada-Rubio, J.-M. (2014). Estimating the allergenic potential of urban green spaces: A case-study in Granada, Spain. *Landscape and Urban Planning*, 123, 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.009>

Cecchi, L. (2013). Introduction. En *Allergenic Pollen* (pp. 1-7). Springer Dordrecht.

Centro Regional de Estadística de la Región de Murcia. (2019). *Padrón municipal de habitantes. Distribución de superficie de Cartagena*. [CREM]. https://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/sicrem/PU_padron/cifof10/sec1_c1.html

Cervigón, P. M., Gutiérrez-Bustillo, M., & Pérez, R. B. (2016). Aerobiología y Salud. *Salud Ambiental*, 16, 1-5.

- 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>
- Davies, J. M., Beggs, P. J., Medek, D. E., Newnham, R. M., Erbas, B., Thibaudon, M., Katelaris, C. H., Haberle, S. G., Newbiggin, E. J., & Huete, A. R. (2015). Trans-disciplinary research in synthesis of grass pollen aerobiology and its importance for respiratory health in Australasia. *Science of The Total Environment*, 534, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.001>
- De Linares, C., Delgado, R., Aira, M. J., Alcázar, P., Alonso-Pérez, S., Boi, M., Cariñanos, P., Cuevas, E., Díaz de la Guardia, C., Elvira-Rendueles, B., Fernández-González, D., Galán, C., Gutiérrez-Bustillo, A. M., Pérez-Badia, R., Rodríguez-Rajo, F. J., Ruíz-Valenzuela, L., Tormo-Molina, R., del Mar Trigo, M., Valencia-Barrera, R. M., ... Belmonte, J. (2017). Changes in the Mediterranean pine forest: Pollination patterns and annual trends of airborne pollen. *Aerobiología*, 33(3), 375-391. <https://doi.org/10.1007/s10453-017-9476-4>
- Dowding, P. (1987). Wind Pollination Mechanisms and Aerobiology. En *International Review of Cytology* (Vol. 107, pp. 421-437). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(08\)61084-0](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(08)61084-0)
- 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, Moreno-Grau, S., Moreno, J. M., & Suárez-Cervera, M. A. (2013). Aerobiología y Polinosis. En *Pólenes Alergénicos y Polinosis en la Región de Murcia* (Miralles López, J. C. y Negro Álvarez, J. M., pp. 7-22). AlergoMurcia: Asociación de Alergología e Inmunología Clínica en la Región de Murcia.
- Elvira-Rendueles, Belén, Moreno, J. M., García-Sánchez, A., Galera-Martínez, M. D., & Moreno-Grau, S. (2015). *Análisis de factores que influyen en la variabilidad interanual del espectro polínico del bioaerosol atmosférico de Cartagena*. 15, 113.
- Fernández, S. R., & Fernández, R. J. (2014). Aerobiología: De la Universidad a

- la Educación Secundaria. *Revista Boletín Biológica*, 3, 10-14.
- Frenguelli, G., Tedeschini, E., Veronesi, F., & Bricchi, E. (2002). Airborne pine (*Pinus spp.*) pollen in the atmosphere of Perugia (Central Italy): Behaviour of pollination in the two last decades. *Aerobiología*, 18, 223-228.
- Fundación Integra. (2019). *Flora de la Región de Murcia*. http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,1050&r=ReP-27811-DETALLE_REPORTAJESPADRE
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez-González, D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., D. W., Li., Mandrioli, P., Rogers, C. A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith, M., & Sofiev, M. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33, 293-295. <https://doi.org/DOI 10.1007>
- Galán, Cariñanos, P., Alcázar, P., & Dominguez, E. (2007). Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología, REA. *Universidad de Córdoba*, 24, 1-39.
- García-Mozo, H., Oteros, J. A., & Galán, C. (2016). Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. *Science of The Total Environment*, 548-549, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.005>
- García-Ortega, P., & Belmonte, J. S. (2002). Pinos. *Pinus*. En *Polinosis: Polen y Alergia* (pp. 139-142). MRA ediciones: Laboratorios Menarini.
- Gharbi, D. (2018). *Evolución del comportamiento de los diferentes tipos polínicos en la atmósfera de Málaga (1991-2015): Su relación con los parámetros meteorológicos y cambio climático*. Universidad de Málaga.
- Guidos, G. A., & Almeida, V. M. (2005). Polinosis y Aeroalérgenos. *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas*, 14, 52-55.
- Huertas Amorós, Á. J. (2013). *Pólenes alergénicos y polinosis en la Región de Murcia*. AlergoMurcia.
- Iriarte, M. J. (2001). *La paleopolinología*. <http://www.euskonews.eus/0129zbnk/gaia12904es.html>

- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F. J., Alcázar, P., De Nuntis, P., Galán, C., & Mandrioli, P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiología*, 22, 13-25. <https://doi.org/DOI 10.1007/s10453-005-9011-x>
- Lasarte, G. G. (2003). Alergia a polen de pino: ¿sólo en Euskadi? *Estudios Vascos*, 18, 105-118.
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (2003). Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. En *Bioindicators and Biomonitoring* (pp. 3-21). Elsevier Science.
- Méndez, J., Rodríguez, F. J., & Iglesias, I. (1993). *Variaciones Interanuales del Polen de Pinus en Ourense y su relación con los parámetros meteorológicos*. 131-140.
- Méndez, J., Rodríguez, F. J., & Iglesias, I. (2000). Variaciones interanuales del polen de *Pinus* en Ourense y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Botánica Malacitana*, 25, 131-140.
- Mičieta, K., & Murín, G. (1998). Tree Species of Genus *Pinus* Suitable As Bioindicators of Polluted Environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 104(3/4), 413-422. <https://doi.org/10.1023/A:1004984121831>
- Moreno-Grau, S. (2015). De alérgenos aerovagantes: La Red Aerobiológica de la Región de Murcia (REAMUR). *Academia Veterinaria de la Región de Murcia*, 13-75.
- Murcia Natural, & Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. (s. f.). *Estrategía forestal de la Región de Murcia*. Recuperado 2 de noviembre de 2019, de http://www.murcianatural.carm.es/c/document_library/get_file?uuid=5881e6f2-95c7-46da-8dc5-60ff6d4af1f5&groupId=14
- Pasqualini, V., Robles, C., Garzino, S., Greff, S., Bousquet-Melou, A., & Bonin, G. (2003). Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: A bioindicator of air pollution. *Chemosphere*, 52(1), 239-248. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00268-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00268-6)
- 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>

- Raboal, J. R., Fernández, J. A., & Carballera, A. (2004). Hojas de roble y agujas de pino como biomonitores de la contaminación de oligoelementos en el aire. *Environmental and Experimental Botany*, 51(3), 215-225.
- 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>
- Ristiá, M., Perio-Grujiá, A., Antanasijevic, D., Ristiá, M., Uro-eviá, M. A., & Tomaéevi, M. (2013). Plantas como monitores de la contaminación del aire de Plomo. En *Enfermedades contaminantes, Remediación y Reciclaje. Química Ambiental para un Mundo Sostenible*. (Vol. 4, pp. 387-431). Springer.
- Ruiz-Valenzuela, L., & Aguilera, F. (2018). Trends in airborne pollen and pollen-season-related features of anemophilous species in Jaen (south Spain): A 23-year perspective. *Atmospheric Environment*, 180, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.012>
- Sánchez, Á., Díaz-Fernández, P., Valdés, C. M., & Gil Sánchez, L. (2001). *Tercer inventario forestal nacional: 1997-2006. La Transformación histórica del paisaje forestal de la Región de Murcia*. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Sánchez-Borges, M., Ivancevich, J. C., Pérez, N. R., & Ansotegui, I. (2011). Evidence based approaches to diagnosis and management. En *White Book on Allergy, WAO* (pp. 101-132).
- 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
- Singh, A. B., & Mathur, C. (2012). An aerobiological perspective in allergy and

- asthma. *Asia Pacific Allergy*, 2(3), 210-222.
<https://doi.org/10.5415/apallergy.2012.2.3.210>
- Smith, G. C., Coulston, J. W., & O'Connell, B. M. (2008). *Ozone Bioindicators and Forest Health: A Guide to the Evaluation, Analysis, and Interpretation of the Ozone Injury Data in the Forest Inventory and Analysis Program*. Forest Service.
- Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., & Rantio-Lehtimäki, A. (2006). Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: Theoretical considerations and a feasibility study. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 392-402. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0027-x>
- Spieksma, F. Th. M., & Nikkels, A. H. (1999). Similarity in seasonal appearance between atmospheric birch-pollen grains and allergen in paucimicronic, size-fractionated ambient aerosol. *Allergy*, 54(3), 235-241. <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.1999.00817.x>
- Subiza Garrido-Lestache, J. F., Pola Pola, J., Feo Brito, F., & Moral de Gregorio, A. J. (2003). Pólenes de interés en alergología en nuestro medio. En *Estudio Multicéntrico 2003* (pp. 425-447). <https://studylib.es/doc/8742921/estudio-multic%C3%A9ntrico-2003>
- Subiza, J., Brito, F. F., Pola, J., Moral, A., & Fernández, J. (1998). Pólenes alergénicos y polinosis en 12 ciudades españolas. *Revista Especial de Alergología e Inmunología Clínica*, 13, 45-48.
- Terán, L. M., & Haselbarth-López, M. M. M. (2009). Alergia, pólenes y medio ambiente. *Gad Med Méx*, 145(3), 215-222.
- Valero Santiago, A. L., & Picado Valles, C. (2002). Polinosis. En *Polinosis: Polen y alergia*. MRA ediciones: Laboratorios Menarini.
- Williams-Linera, G., & Meave, J. (2002). Patrones fenológicos. En *Ecología y conservación de los bosques neo tropicales* (pp. 407-431).