



Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Sostenibilidad

# **Influencia de los aportes externos a la variabilidad intradiaria de los niveles polínicos de *Olea* en Alicante**

---

**SARA MARTÍNEZ PÉREZ**

Directora de la tesis

**Dra. Dña. Montserrat Varea Morcillo**

Codirector de la tesis

**Dr. D. José Francisco Nicolás Aguilera**

---

Universidad Miguel Hernández de Elche

- 2024 -





La presente Tesis Doctoral, titulada **“Influencia de los aportes externos a la variabilidad intradiaria de los niveles polínicos de *Olea* en Alicante”** se presenta bajo la modalidad de **tesis por compendio** de la siguiente **publicación**:

- S. Martínez-Pérez, J.F. Nicolás, N. Galindo, F.J. Fernández-Sánchez, V. Soriano-Gomis, M. Varea.

Influence of inputs from foreign source regions on daily profiles of *Olea* pollen at an urban site in the southeast of the Iberian Peninsula.

Atmospheric Environment, 2024, 331, 120578

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120578>

JIF 26 / 110 (Q1)





La Dra. Dña. **Montserrat Varea Morcillo**, directora, y el Dr. D. **José Francisco Nicolás Aguilera**, codirector de la tesis doctoral titulada **“Influencia de los aportes externos a la variabilidad intradiaria de los niveles polínicos de *Olea* en Alicante”**,

**INFORMAN:**

Que Dña. Sara Martínez Pérez ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo titulado **“Influencia de los aportes externos a la variabilidad intradiaria de los niveles polínicos de *Olea* en Alicante”** conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmamos para los efectos oportunos, en Elche a 3 de julio de 2024.

Directora de la tesis

Dra. Dña. Montserrat Varea Morcillo

Codirector de la tesis

Dr. D. José Francisco Nicolás Aguilera





El Dr. D. José Navarro Pedreño, Coordinador del Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Sostenibilidad,

**INFORMA:**

Que Dña. Sara Martínez Pérez ha realizado bajo la supervisión de nuestro Programa de Doctorado el trabajo titulado **“Influencia de los aportes externos a la variabilidad intradiaria de los niveles polínicos de *Olea* en Alicante”** conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmo para los efectos oportunos, en Elche a 3 de julio de 2024.

Prof. Dr. D. José Navarro Pedreño  
Coordinador del Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Sostenibilidad





# ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. <i>Olea</i> .....	8
1.2. Desarrollo vegetativo del olivo .....	12
1.3. HYSPLIT .....	14
2. OBJETIVOS .....	18
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	20
3.1. Sitio de muestreo y posibles regiones fuente de polen de <i>Olea</i> .....	20
3.1.1. Características del sitio de monitoreo.....	20
3.1.2. Posibles regiones fuente de polen de olivo .....	21
3.2. Monitorización del polen de <i>Olea</i> y de los datos meteorológicos.....	22
3.3. Análisis de datos .....	23
3.3.1. Análisis de clúster.....	23
3.3.2. Origen de las masas de aire .....	25
4. DISCUSIÓN .....	27
5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....	31
6. BIBLIOGRAFÍA .....	33
7. ANEXO .....	48
Influence of inputs from foreign source regions on daily profiles of <i>Olea</i> pollen at an urban site in the southeast of the Iberian Peninsula .....	48
8. AGRADECIMIENTOS .....	61



## RESUMEN

El ciclo diario de las concentraciones de polen refleja la respuesta genética a las condiciones ambientales. El estudio detallado de estos ciclos se utilizó para identificar la influencia de fuentes externas en los niveles locales de polen. En este estudio se identificaron tres perfiles diarios diferentes (Ci) de concentraciones de polen de *Olea* en la ciudad de Alicante (sureste de España) mediante un análisis de clúster. Para ello se utilizaron datos bihorarios del año 2010 al año 2015. La frecuencia porcentual, el índice de polen y la concentración media de polen de *Olea* (en granos de polen·m<sup>-3</sup>) para cada grupo fueron: C1 (~91%, 8797, 26), C2 (~7%, 4641, 179) y C3 (~ 2%, 1845, 308). C1 fue el patrón predominante en todo el periodo principal de polinización (MPS, *Main Pollen Season* (MPS)), mientras que C2 y C3 solo estuvieron presentes en la mitad de la MPS. Se observaron pequeñas variaciones en las concentraciones de polen a lo largo del día para C1, mientras que C2 y C3 mostraron la concentración de polen más alta a las 04:00 UTC y 10:00 UTC, respectivamente. C1 presentó patrones debidos a los aportes locales de polen, influenciados por las precipitaciones, las brisas marinas y la recirculación de contaminantes del aire. Por otro lado, C2 y C3 estuvieron fuertemente influenciados por aportes externos de polen de las regiones del suroeste de España. Los resultados del estudio indican que los aportes externos del suroeste se asociaron con la exposición de la población a altas concentraciones de polen durante cortos períodos de tiempo. Por el contrario, los aportes del noroeste se asocian con la exposición a concentraciones más bajas de polen durante períodos de tiempo más prolongados.



## ABSTRACT

The daily cycle of pollen concentrations reflects its genetic response to environmental conditions. The detailed study of these cycles was used to identify the influence of external sources on local pollen levels. In this work, three different daily profiles ( $C_i$ ) of *Olea* pollen concentrations were identified in the city of Alicante (southeastern Spain) using cluster analysis. For this, two-hour data from 2010 to 2015 were used. The percentage frequency, pollen index and mean *Olea* pollen concentration (in pollen grains·m<sup>-3</sup>) for each cluster were: C1 (~91%, 8797, 26), C2 (~7%, 4641, 179) and C3 (~2%, 1845, 308). C1 was the predominant pattern throughout the whole main pollen season (MPS), while C2 and C3 were only present in the middle of the MPS. Small variations in pollen concentrations throughout the day were observed for C1, while C2 and C3 showed the highest pollen concentration at ~04:00 UTC and 10:00 UTC, respectively. C1 represented concentration patterns due to local pollen inputs, being influenced by precipitation events, sea breezes and the recirculation of air pollutants. On the other hand, C2 and C3 were strongly influenced by external pollen inputs from southwestern regions of Spain. The results of this study indicate that external inputs from these regions were associated with exposure of the population to high pollen concentrations for short periods of time. In contrast, inputs from the northwest were associated with exposure to lower pollen concentrations for longer periods of time.



## 1. INTRODUCCIÓN

El polen atmosférico es una de las principales causas de alergia (polinosis), sobre todo en los países desarrollados (D'Amato et al., 2001). Las consecuencias clínicas de la polinosis son la rinitis alérgica, la conjuntivitis alérgica, el asma bronquial y, en menor medida, la urticaria (Gioulekas et al., 2004). Estas son causas importantes de morbilidad y pérdida de productividad en personas sensibilizadas, ocasionando un aumento de los costes sanitarios (Traidl-Hoffmann et al., 2003). Según el Libro Blanco Europeo sobre Alergia, la prevalencia de la rinitis crónica es aproximadamente 10,9 %, mientras que las tasas de prevalencia del asma varían del 2,5 al 10,0 % y la de la dermatitis atópica oscila entre el 15-20 %, en población pediátrica, y el 10 % en población adulta (Agache et al., 2018). Varios estudios ponen de manifiesto que hasta el 90 % de las personas sensibilizadas no están siendo tratadas de manera correcta, lo que conlleva consecuencias socioeconómicas negativas, como absentismo laboral y reducción en la productividad, entre otros (Maurer et al., 2009; Maurer & Zuberbier, 2007; Zuberbier et al., 2014). En Europa, las enfermedades alérgicas se han convertido en la patología crónica más frecuente entre la población, con una prevalencia estimada en torno al 31 %, que se prevé que irá en aumento (Bauchau & Durham, 2004; Blomme et al., 2013).

El hecho de que los granos de polen inducen alergia y, con ello, síntomas es incuestionable (Subiza, 2004). La fisiopatología de la polinosis se cree que se inicia mediante el contacto del organismo con los alérgenos (antígenos), proteínas específicas presentes en los granos de polen, a través de la mucosa nasal, la conjuntiva ocular y el árbol bronquial. En el primer contacto con el alérgeno, se estimula la formación de células T específicas presentadoras de antígeno (especialmente Th2) y la producción consiguiente de células B productoras de inmunoglobulinas E específicas de antígeno (IgE). Durante el segundo encuentro con el antígeno, se produce la liberación de sustancias pro-inflamatorias y la subsiguiente inflamación que conduce a la manifestación clínica de la alergia (Traidl-Hoffmann et al., 2003).

El tamaño es una característica definitoria de la capacidad del polen para producir manifestaciones clínicas alérgicas. Las reacciones alérgicas en órganos de fácil acceso

(nariz y ojos), se debe al contacto directo de los granos de polen intactos y a la posterior liberación de los alérgenos solubles (D'Amato et al., 2007). Sin embargo, el asma bronquial se debe al contacto de los alérgenos en forma de partículas con un tamaño inferior a 10  $\mu\text{m}$  que se encuentran en la atmósfera y que proceden de restos de las plantas (anteras), del interior de los granos de polen fraccionados por la acción de la lluvia y de su disolución y transporte en partículas <2,5  $\mu\text{m}$  presentes en la atmósfera como, por ejemplo, las derivadas de la combustión del diesel. Así, se asume que todas las partículas con un diámetro aerodinámico mayor a 10  $\mu\text{m}$  quedan atrapadas en las vías respiratorias superiores, requiriéndose partículas con un diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  para activar la respuesta asmática (Lippmann, 2010). De hecho, el tamaño es una de las características más importantes utilizadas para describir las propiedades y el comportamiento de la materia suspendida en la atmósfera (PM, *Particulate Matter*). La PM puede ser debida a causas naturales, como el polen, o por la acción del hombre, como el uso de combustibles fósiles (Gieré & Querol, 2010). Aunque muchas partículas no son esféricas, el tamaño se clasifica utilizando su diámetro aerodinámico que equivale al diámetro de un objeto esférico con las mismas propiedades (Buseck & Schwartz, 2003). La PM presente en el aire incluye partículas con rangos muy amplios de tamaño, desde nanómetros (nm) hasta varias decenas de micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), definiéndose PM10 (partículas con diámetros aerodinámicos <10  $\mu\text{m}$ ) y PM2,5 (partículas con diámetros aerodinámicos <2,5  $\mu\text{m}$ ) como los tamaños de partículas inhalables (torácicas) y respirables (alveolares) para un ser humano adulto, respectivamente (Figura 1). La PM no solo es motivo de preocupación por sus efectos adversos sobre la salud humana (mayor riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, enfermedades alérgicas, entre otras) (Khaniabadi et al., 2017) sino también por su efecto perjudicial sobre el medio ambiente (Zhao et al., 2013) y sobre el cambio climático (Fuzzi et al., 2015).

La polinosis se caracteriza por la recurrencia de síntomas, alternando periodos de mejoría y periodos de empeoramiento (Makris et al., 2010), aunque suelen ser más prevalentes durante el periodo principal de polinización de las plantas (MPS, *Main Pollen Season*). La caracterización precisa de la MPS, mediante el estudio aerobiológico de los pólenes más alérgicos presentes en la atmósfera durante todo el año,



proporciona información muy valiosa a la población alérgica para llevar a cabo medidas preventivas, con el fin de minimizar los efectos de la polinosis en los días de mayor concentración polínica como, por ejemplo, limitar las actividades al aire (Ribeiro et al., 2009; Smith et al., 2014); y, también, a los profesionales sanitarios, cuya información es de gran ayuda para ajustar el tratamiento farmacológico de los pacientes alérgicos (Targonski et al., 1995).

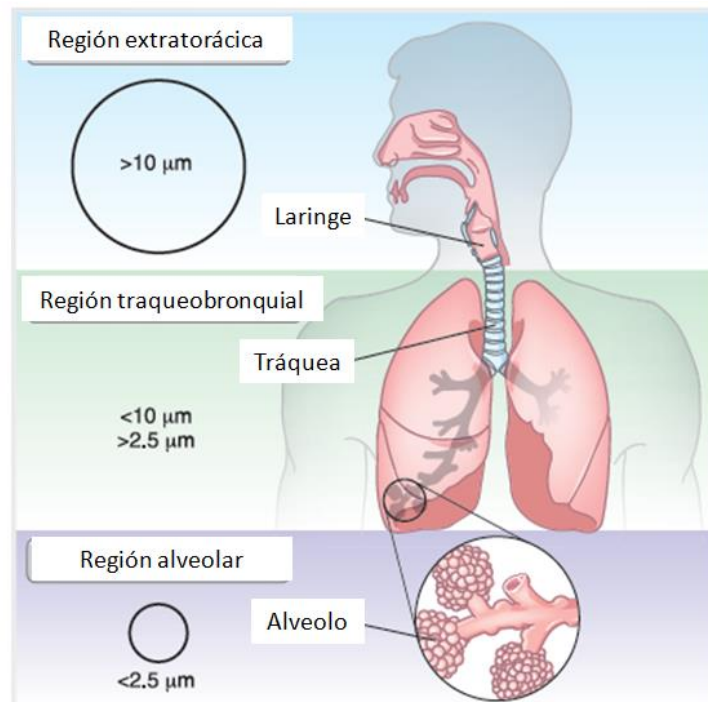


Figura 1. Regiones del sistema respiratorio humano y la capacidad de penetración de las partículas en función de su diámetro aerodinámico. Adaptado de Lippmann 2010.

El espectro polínico en cada zona geográfica, influida por las condiciones meteorológicas imperantes, lo conforman diferentes especies herbáceas y arbóreas (García-Mozo et al., 2006). En España, los tipos polínicos alergológicos más importantes son las gramíneas, entre las herbáceas, y el olivo entre las arbóreas (Subiza, 2004). Este último, presenta una tasa de sensibilización del 29,4 % con mayor prevalencia en el sur de la península, siendo Jaén, con más del 90 % de su extensión geográfica cultivada de olivo, la que presenta las tasas más elevadas de sensibilización (97 %) registrando concentraciones polínicas diarias  $> 4000$  granos de polen·m<sup>-3</sup>

(Armentia et al., 2002). Concretamente, los estudios realizados en la provincia de Alicante, revelaron un aumento sustancial de la sensibilización de la población al polen del olivo. Mientras que en 1995 el 10 % de la población era monosensible al polen de *Olea* (Fernandez et al., 1998), en 2015 esta cifra ascendió al 53 % de la población. Aunque no se identificó un aumento de la frecuencia del polen de *Olea* en la atmósfera ni variaciones en la densidad del cultivo de olivares en la zona, se registró un incremento puntual en los picos de polen de olivo detectados que se podían explicar, solo en parte, por un aumento en las precipitaciones a lo largo del periodo de estudio (Fernández et al., 2015).

A continuación, para proporcionar un marco de referencia a los resultados observados, se describen: las principales características del polen de *Olea*, haciendo especial mención a su relación con la polinosis; el desarrollo vegetativo del olivo, sobre todo en lo relacionado al proceso de producción de polen; y, por último, una breve descripción del modelo más utilizado para la simulación del transporte polínico (HYSPLIT).

### 1.1. *Olea*

La familia de las *Oleaceae* es la principal representante de la orden *Lamiales*, la cual incluye 615 especies agrupadas en 29 géneros. Esta se encuentra extensamente distribuida en la cuenca mediterránea, en Norteamérica, en la Península Ibérica, en las Islas Canarias y en las Islas Baleares (Armentia et al., 2002; Solomon & Jelks, 1997).

El género *Olea* incluye aproximadamente 35 especies en todo el mundo; concentrándose el 98 % de los olivos en la zona mediterránea y el 24 % en España, mayoritariamente presente en Andalucía (62 %), Castilla La Mancha (15 %) y Extremadura (11 %) (Vargas & Talavera, 2012). En España, la única representante de esta familia es la *Olea europaea* L, relevante por los productos obtenidos de su cultivo y como especie ornamental (Vargas & Talavera, 2012). La explotación agrícola del olivo tiene un bajo coste y una elevada resistencia a las altas temperaturas y a la sequía, hecho que explica porque es el cultivo mayoritario en estas áreas geográficas (Giourga & Loumou, 2002). La polinización del olivo es fundamentalmente anemófila, es decir,

por acción del viento, siendo la participación de los insectos muy escasa (Mazzeo et al., 2014).

El polen del olivo es de pequeño tamaño (17-21  $\mu\text{m}$ ), esférico, isopolar y tricolporado; con reticulaciones con columnelas muy visibles en su exina, la cual tiene un grosor de 3  $\mu\text{m}$  (Liccardi et al., 1996) (Figura 2). Estas características morfológicas son las utilizadas para cuantificar su concentración en el aire, mediante microscopía óptica tras su captación.

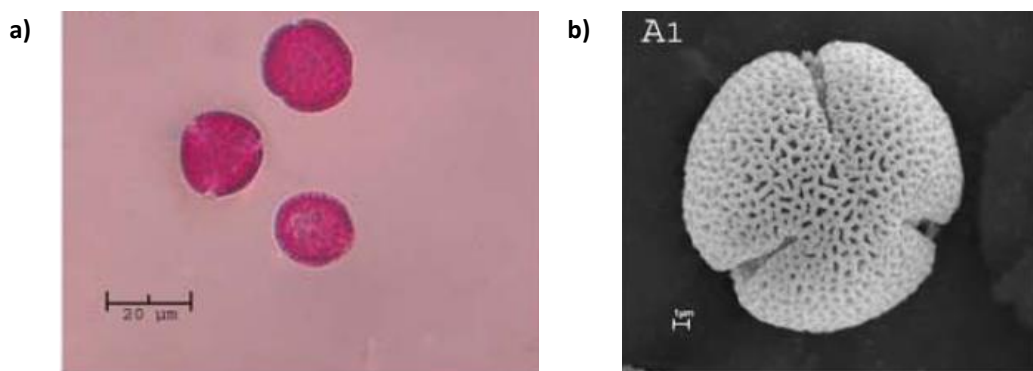


Figura 2. a) Polen del olivo teñido con fucsina; b) Polen del olivo visto a través del microscopio electrónico de barrido (MEB).

El sistema más utilizado para el muestreo de polen es el captador volumétrico tipo Hirst que, a través de una hendidura 14x2 mm, aspira un flujo de aire constante de 10  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$  (similar al volumen de inhalación de aire por el pulmón humano) y lleva acoplada una veleta que orienta permanentemente el orificio de succión en función del viento. El aire impacta en una película plástica transparente (Melinex), recubierta de una capa fina y uniforme de vaselina, montada sobre un tambor que, mediante un mecanismo de relojería, gira a una velocidad fija de 2  $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  (Figura 3). En la cinta quedan retenidas secuencialmente la mayoría de las partículas atmosféricas  $>1 \mu\text{m}$ , entre ellas los granos de polen. La cinta se retira semanalmente y se corta en fragmentos de 48 mm que corresponden a 24 horas, los cuales se colocan en un portaobjetos y se observan al microscopio óptico después de ser teñidos con fucsina.

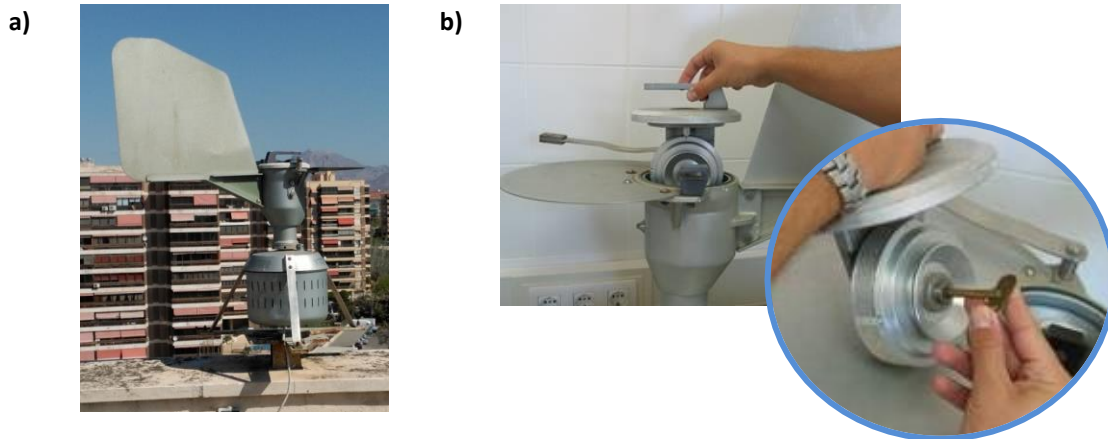


Figura 3. a) Captador volumétrico tipo Hirst (Burkard) ubicado en un punto de muestreo; b) Vista del tambor y la cinta de impactación.

Las muestras son observadas al microscopio óptico a 40x10 aumentos, en visión de superficie y sección óptica, mediante cuatro barridos horizontales continuos a lo largo de toda la preparación (12 % superficie impactada). En cada barrido se cuenta el número de granos de polen de cada tipo polínico identificado y así se obtiene información sobre la concentración polínica del aire a lo largo del día, comúnmente denominado recuento polínico. Dependiendo de la longitud del fragmento se pueden hacer recuentos de pólenes semanales, diarios e incluso horarios. Así, si se quiere conocer la concentración polínica horaria, se emplea una regla de acetato con 24 divisiones transversales separadas 2 mm (la velocidad de desplazamiento). La concentración polínica debe expresarse como la media diaria de granos de polen por metro cúbico de aire, para poder compararlos con los datos proporcionados en otros lugares. Para ello, se debe multiplicar el número de granos de polen contabilizados por un factor (0,55) que tiene en cuenta el volumen de succión del captador ( $0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ) y la superficie del campo del microscopio (0,44 mm), que varía en función de la marca de microscopio utilizada (Galán et al., 2007).

Esta técnica de monitorización es la empleada para evaluar la temporada polínica de los diferentes taxones polínicos presente en la atmósfera. Dicha información es utilizada para indicar a la población alérgica el riesgo de alergia, que hacen referencia a la concentración de polen necesaria para que un porcentaje bajo, medio o alto de la población sensible desarrolle los síntomas asociados a la presencia de estos pólenes

(Galán et al., 2007). Sin embargo, la variabilidad en la relación entre las concentraciones de polen y los síntomas de alergia ha puesto de relieve las dificultades para encontrar un umbral clínico universal. Dichos umbrales dependen en gran medida de la cantidad de polen a la que suele estar expuesta la población alérgica, que a su vez depende de la flora local y, por tanto, de la zona geográfica; de la presencia de especies con reactividad cruzada, de la contaminación atmosférica e incluso de la sensibilidad de cada paciente (Becker et al., 2021; Cecchi L., 2013). Por ejemplo, concentraciones de polen de *Olea* > 400 granos de polen·m<sup>-3</sup> provocaron síntomas leves de rinitis en la población alérgica de una zona con alta densidad de olivares (Florido et al., 1999); mientras que concentraciones de 162 granos de polen·m<sup>-3</sup> o incluso mucho menos fueron suficientes en áreas con una menor densidad de cultivos (Feo-Brito et al., 2011; Waisel et al., 2004). Por tanto, si se quiere proporcionar información útil a la población alérgica, sería conveniente determinar los valores umbrales adecuados para cada zona geográfica y para cada tipo de polen. De forma alternativa, ante las dificultades para obtener información clínica, simplemente se estiman umbrales de exposición, generalmente, basándose en percentiles estadísticos (Gabaldón-Arguisuelas, 2016; Galera et al., 2018). Así, por ejemplo, en Alicante se estimaron los niveles de exposición Bajo (<20 granos de polen·m<sup>-3</sup>), Moderado (20-50 granos de polen·m<sup>-3</sup>), Alto (51-100 granos de polen·m<sup>-3</sup>) y Muy Alto (> 100 granos de polen·m<sup>-3</sup>) (Viney et al., 2021), que eran considerablemente inferiores a los propuestos por la Red Española de Aerobiología (REA) para taxones arbóreos (Galán et al., 2007).

Por otro lado, se ha observado que la clínica que en muchas ocasiones presentan los pacientes alérgicos no se corresponde con los recuentos polínicos (Sánchez et al., 2005), confiriendo a los alérgenos un papel relevante. La exposición a los granos de polen puede no ser sinónimo de exposición a alérgenos (De Linares et al., 2007; Moreno et al., 2016; Fernández-González et al., 2020) ya que, como ya se ha comentado anteriormente, los granos de polen son responsables de las reacciones alérgicas en órganos de fácil acceso pero se necesitan los alérgenos (partículas de un tamaño inferior a 10 µm) para activar la respuesta asmática (Lippmann, 2010). En este sentido, del polen de *Olea*, se han descrito hasta diez alérgenos diferentes, clasificados de Ole e 1 a Ole e 10 (Esteve et al., 2012), siendo Ole e 1 el alérgeno más frecuente y

responsable del 70 % de los síntomas alérgicos de la población sensibilizada (Berghi, 2014). La cuantificación de los alérgenos del polen se realiza mediante ensayos inmunoquímicos y, de momento, en la práctica clínica habitual, no se ha establecido una metodología para su determinación sistemática. Por tanto, los recuentos polínicos siguen siendo los valores de referencia.

## 1.2. Desarrollo vegetativo del olivo

El recuento sistemático de granos de polen de *Olea* presente en la atmósfera ha dado lugar a numerosos estudios centrados en las características aerobiológicas de esta especie. Los estudios realizados en diferentes regiones revelan que las concentraciones de polen en el aire pueden mostrar importantes variaciones no solo anuales, sino también diarias e incluso horarias. Estas variaciones parecen estar estrechamente relacionadas con el estado fisiológico de la planta y las condiciones climáticas locales (Aguilera et al., 2015; Charalampopoulos et al., 2018; Díaz De La Guardia et al., 2003; Fernández-Rodríguez et al., 2016; Galera et al., 2018).

El periodo de polinización del olivo en España suele tener lugar de abril a julio. Además, también se ha observado el fenómeno de vecería o producción en alternancia, que caracterizan a los árboles frutales. Este fenómeno se debe a la competencia por los nutrientes de la planta que presenta las frutas de una temporada y las flores de la temporada siguiente, que da lugar a la sucesión de años con mayor producción de fruto con otros de mayor emisiones de polen a la atmósfera (Corsico, 1993). Además, las fases biológicas de *Olea* están influenciadas por las condiciones meteorológicas imperantes, como la lluvia y la presencia o ausencia de viento, que también son capaces de influir en la cantidad de polen emitido a la atmósfera, cada año (Armentia et al., 2002; Mazzeo et al., 2014). Los estados fenológicos del olivo engloban la formación de fruto durante el verano, una fase de latencia durante el otoño, la formación de yema a finales de invierno y la floración a finales de la primavera (Galán et al., 2005). Esta última es la fase más crítica del ciclo del olivo y se ha visto que está fuertemente condicionada por la temperatura y las precipitaciones. Así, la presencia de temperaturas bajas y elevadas precipitaciones en el periodo previo

a la floración, son condiciones climáticas que favorecen la formación de flores. En contraposición, el inicio de la floración requiere alcanzar una temperatura óptima (definida para el olivo a 20-30 °C) para la producción de polen y su liberación a la atmósfera; y la presencia de precipitaciones disminuye el polen de la atmósfera hasta en un 80 % debido al efecto lavado que produce (Aguilera et al., 2014; Bonofiglio et al., 2008; Ribeiro et al., 2006).

Por otro lado, la alta capacidad adaptativa del olivo lo convierte en una herramienta útil para estudiar los efectos del cambio climático global en los agroecosistemas (Aguilera et al., 2014; Bonofiglio et al., 2008; Moriondo et al., 2013; Orlandi et al., 2014). De hecho, en las últimas décadas la tendencia creciente en la prevalencia de la polinosis se ha atribuido, en gran medida, al cambio climático, ya que el aumento de la temperatura se ha asociado con MPS más tempranas y duraderas y con floraciones más intensas (D'Amato et al., 2016; Martínez-Bracero et al., 2019; Picornell et al., 2023; Ruiz-Valenzuela & Aguilera, 2018). Por otro lado, la cuenca mediterránea occidental es una de las regiones con mayor probabilidad de verse afectada por el cambio climático este siglo (Giorgi & Lionello, 2008), ya que se caracteriza por una dinámica atmosférica específica, debido a interacciones complejas entre factores climáticos y topográficos (Millán et al., 1991, 1996; Ulbrich et al., 2012).

La respuesta genética del polen a las condiciones ambientales, como la temperatura, también se refleja en la variación de la concentración polínica a lo largo del día. Así, el perfil diario de *Olea* muestra un comportamiento distinto a lo largo del año. Durante la MPS el patrón horario está bien definido, a diferencia del resto del año en el que las concentraciones polínicas horarias muestran una distribución más heterogénea (Fernández-Rodríguez et al., 2020). Generalmente, durante la MPS, las máximas concentraciones de polen se registran durante las horas centrales del día, cuando se produce la máxima dehiscencia de las anteras (Domínguez et al., 1993; Galán et al., 1991). Mientras que, en otros estudios, la presencia de picos polínicos fuera de las horas centrales del día se asociaron con aportes polínicos no locales (García-Mozo, 2017; Hernández-Ceballos, 2014; Izquierdo et al., 2011). Dichos aportes se pueden determinar mediante la simulación del movimiento de las masas de aire, las cuales transportan el polen registrado en regiones potencialmente fuente, es decir, regiones

con elevada densidad de olivo cultivado. Existen diferentes modelos meteorológicos que permiten estudiar el origen de las masas de aire como, por ejemplo, SILAM (*System for Integrated modeLLing of Atmospheric coMposition*), FLEXPART (*Flexible Particle Dispersion model*) y, el más utilizado, HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*). Este último, se desarrolla más ampliamente en el siguiente apartado.

### 1.3. HYSPLIT

La mayor parte del polen se deposita cerca de las fuentes de emisión. Comtois et al. (2000) reportaron concentraciones más altas de varios tipos de polen en ciertas altitudes que a nivel del suelo, y evidenciaron una capa de transporte aerobiológico a aproximadamente 500 m sobre el nivel del mar. A pesar de su gran tamaño, el comportamiento del polen de muchos taxones en la atmósfera es similar al de los aerosoles atmosféricos convencionales debido a la baja densidad de los granos de polen y a sus contornos aerodinámicos (Izquierdo et al., 2011). Considerando su tasa de deposición y su tiempo promedio de residencia en la atmósfera, se puede inferir que aproximadamente la mitad de la masa de polen emitida será transportada a distancias > 10 km (Aylor, 2002).

El estudio del transporte atmosférico de polen es esencial para identificar fuentes remotas del mismo. Varios trabajos han demostrado que el análisis de los movimientos de las masas de aire, junto con información detallada de la cobertura del suelo y de las variables meteorológicas, es una herramienta adecuada para localizar fuentes de polen situadas a largas distancias (Alarcón et al., 2022; Belmonte et al., 2008; Cecchi et al., 2006; Fernández-Rodríguez, Tormo, et al., 2014; Hernández-Ceballos et al., 2011; Mohanty et al., 2017; Skjøth et al., 2013). La importancia de su estudio se debe a que los aportes de polen de otras regiones, tienen influencia sobre las concentraciones de polen locales, y en consecuencia, sobre las variaciones de los niveles de polen a lo largo del año e incluso del día, siendo esencial su análisis para una mejor interpretación de los resultado (Fernández-Rodríguez et al., 2014). De esta forma, con la obtención de un análisis más completo, es posible alertar de forma más certera a la



población sensibilizada de los aumentos en las concentraciones de polen (Bruns et al., 2003).

HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) es una herramienta para determinar la emisión, transporte, dispersión y deposición de partículas. El método de cálculo se basa en un modelo híbrido que combina el enfoque lagrangiano y la metodología euleriana y está diseñado para soportar un rango amplio de simulaciones relacionadas con el transporte de partículas atmosféricas, la dispersión de contaminantes y la deposición de estos en la superficie terrestre. Su desarrollo se llevó a cabo de forma conjunta por el ARL (*Air Resources Laboratory*) de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) en Estados Unidos y el *Bureau of Meteorology of Australia*, siendo la versión inicial la desarrollada por Draxler y Taylor en 1982 (Draxler & Hess, 1997). La versión actual es la 5.3.

Es posible obtener HYSPLIT de forma gratuita desde su página oficial (NOAA, 2024) y ejecutarlo en un ordenador con entorno Windows®. Para la realización de las simulaciones, el modelo requiere la presencia de ficheros de control, ficheros de configuración y ficheros con datos meteorológicos (Draxler et al., 2023), además de la definición de determinados parámetros como: el punto de partida de las trayectorias, la dirección de la trayectoria (hacia delante o hacia atrás), el inicio de la misma (año, mes, día y hora en UTC (*Greenwich Mean Time, GMT*)), el periodo de la trayectoria (en horas), y la altura a la que se quiere observar la masa de aire. Finalmente, como resultado se obtiene un fichero binario con varias opciones de formato (González, 2009) como, por ejemplo, el gráfico de la figura 4 que muestra el recorrido de las masas de aire a tres alturas, 100 m, 500 m y 1000 m, durante las 24 h antes de su llegada a Alicante a las 02:00 y 10:00 UTC el 12 de mayo de 2010. En la figura se observa como las masas de aire, procedentes del oeste de la Península Ibérica, atravesaron el norte de Andalucía. Ese día en Alicante se registraron 398 granos de polen de *Olea*·m<sup>-3</sup>, con valores máximos de 132 granos de polen·m<sup>-3</sup> a las 02:00 UTC que van descendiendo hasta alcanzar concentraciones < 20 granos de polen·m<sup>-3</sup> a partir de las 10:00 UTC. Aunque a simple vista las retrotrayectorias de la figura 4 son muy similares, en la de las 02:00 UTC se observa que las masas de aire recorren a una altura de 1000-500 m en las horas centrales del día, cuando se registran los niveles

máximos polínicos, las provincias de Córdoba y Jaén que concentran la mayor extensión de olivares del mundo. Mientras que la masa de aire de las 10:00 UTC recorre Huelva, que presenta menor concentración de olivares en su extensión (ver Figura 5).

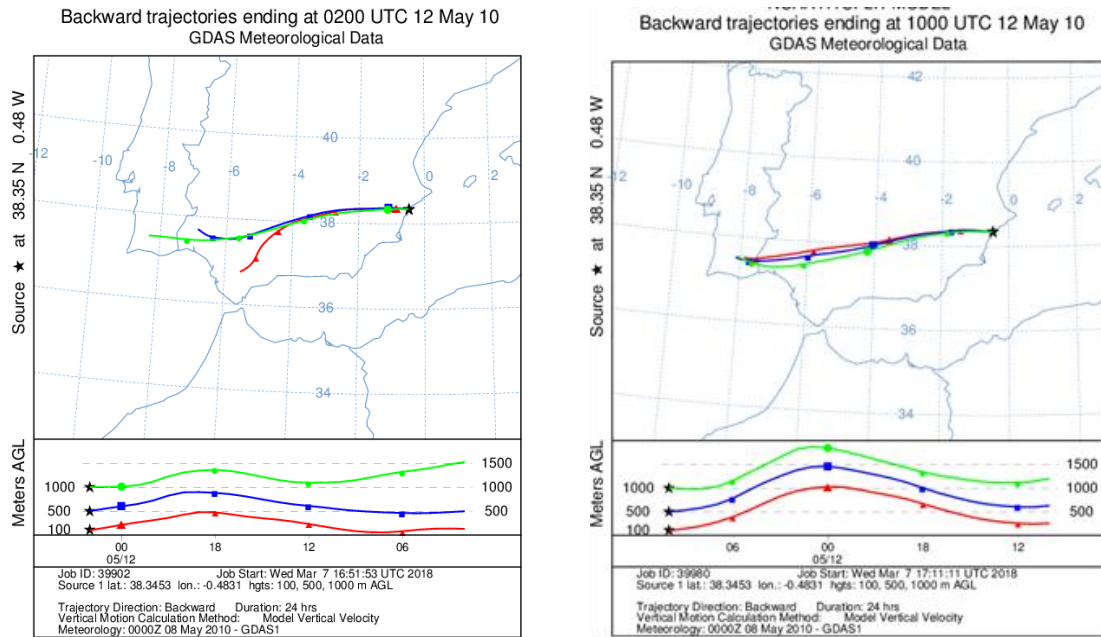


Figura 4. Retrotrayectoria a tres aturas, 100 m, 500 m y 1000 m, que llegaron a Alicante a las 02:00 y 10:00 UTC el 12 de mayo de 2010 (Draxler et al., 2023; NOAA, 2024).

En múltiples trabajos se ha empleado el modelo HYSPLIT para identificar las fuentes de emisión y las tendencias de transporte de PM contaminante en diferentes ciudades (Ma et al., 2021; Nicolás et al., 2008; Trošić Lesar & Filipčić, 2022; Vélez-Pereira et al., 2022; Yerramilli et al., 2012). En el campo de la aerobiología, este modelo ha demostrado ser una herramienta útil para estimar la dirección de las masas de aire e identificar el origen del polen transportado desde otras regiones (Izquierdo et al., 2011; Hernández-Ceballos, 2014; García-Mozo, 2017; ; Richard et al., 2023; Goyal et al., 2024;), ampliando la información que se facilita a los pacientes sensibilizados. Así, por ejemplo, se determinó que el 40 % del polen de *Betula* registrado en Cataluña provenía del transporte de larga distancia desde los Pirineos (37 %) y Francia (63 %) (Alarcón et al., 2022). Y, en Polonia se observó, también para el polen de *Betula*, que los granos registrado en su atmósfera tenían su origen en Bielorrusia y Rusia, y, en

menor medida, en las repúblicas bálticas y escandinavas (Bogawski et al., 2019). En particular, para el polen de *Olea* se ha demostrado que, por ejemplo, en Extremadura, además del de origen local o regional, el polen atmosférico procedente de regiones al oeste (Portugal) y al sureste (Andalucía) daban lugar a un aumento de las concentraciones polínicas en la noche (Fernández-Rodríguez et al., 2014) y el registro de picos de polen atmosférico fuera de la MPS pasado el mediodía (Monroy-Colín et al., 2020). En la ciudad de Alicante, durante un periodo de estudio de 5 años, se observó que durante el periodo de polinización del olivo las masas de aire procedentes del suroeste y del noroeste transportaron el 57 % del polen de olivo que se registró en la ciudad de Alicante. Dicho valor se correspondía con la suma de las concentraciones bihorarias de polen de *Olea* asociadas a las retrotrayectorias con origen en las regiones del oeste (suroeste y noroeste) que se definió como índice de polen externo (EPI). Las masas de aire del suroeste fueron las que más contribuyeron a las concentraciones de polen de la ciudad, ya que provenían de Andalucía que concentra la mayor extensión de olivar. Además, la relación lineal entre el EPI y el API, concentración anual acumulada de polen, reveló que en ausencia de aportes externos los nivel anuales máximos registrados en Alicante serían de 1300 granos de polen·m<sup>-3</sup>. Asimismo, se observó influencia del EPI sobre la duración de la MPS, las concentraciones pico anuales y la fecha en la que estas se registraron (Viney et al., 2021).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente tesis es evaluar la variación de las concentraciones polínicas de *Olea* en Alicante a lo largo del día, que complementa el estudio realizado previamente sobre los niveles anuales (Viney et al., 2021), dando una visión aerobiológica integral del polen del olivo en Alicante.

Para su consecución, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las concentraciones bihorarias de *Olea* registradas durante 2010-2015.
- Identificar los posibles perfiles diarios, mediante el análisis de clúster.
- Valorar la influencia de las variables meteorológicas sobre los perfiles diarios identificados.
- Cuantificar las contribuciones polínicas locales y las externas en los distintos perfiles diarios identificados, mediante el estudio del origen de las masas de aire.
- Identificar los momentos del día en los que la población alérgica se expone a mayores concentraciones polínicas (mayor riesgo de alergia).



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Sitio de muestreo y posibles regiones fuente de polen de *Olea*

##### 3.1.1. Características del sitio de monitoreo

El punto de muestreo se ubicó en la terraza del Hospital General Universitario Dr. Balmis (38°21'48"N; 0°29'21"W; 40 m sobre el nivel del mar), localizado en la parte norte de la ciudad de Alicante. Se trata de una población de tamaño medio (~330.000 habitantes) situada en el sureste de España. Alicante se encuentra en el mar Mediterráneo y está rodeada por una serie de colinas y elevaciones (Figura 5).

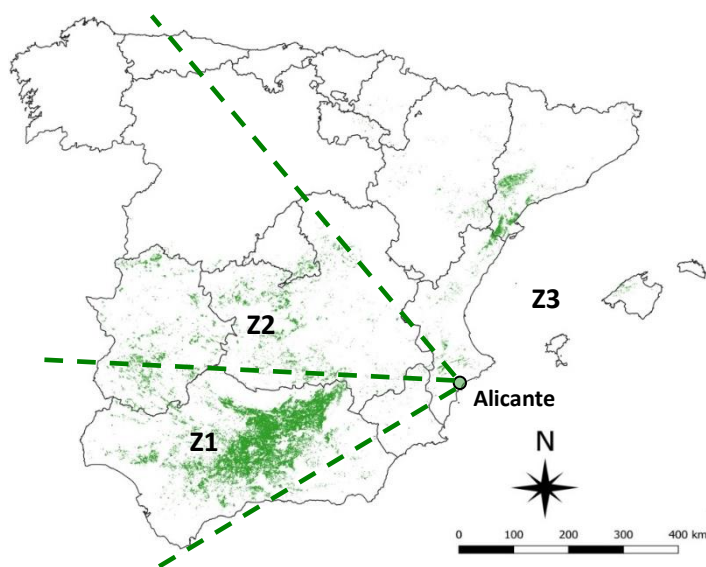


Figura 5. Ubicación del lugar de muestreo en el sureste de España. Las superficies de cultivo de *Olea* se indican en color verde (datos de 2012, obtenidos del CORINE Land Cover). Las regiones potencialmente fuente de polen de *Olea* también se muestran.

El clima en la zona de estudio, según la clasificación climática de Köppen, se define como semiárido cálido (Bsh), con suaves inviernos y veranos largos y secos. Durante la temporada de primavera (período en el que la polinización del olivo ocurre) de los años 2010-2015, los parámetros meteorológicos no presentaron importantes variaciones interanuales. La temperatura media estacional osciló entre 20,0 °C en 2013 y 22,5 °C en 2012. La variación de temperatura (Tmax-Tmin) fue constante, entre 7 y 8

°C. Las lluvias fueron escasas, con precipitaciones acumuladas inferiores a  $8 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ , excepto en las primaveras de 2010 y 2013 ( $35$  y  $47 \text{ L m}^{-2}$ , respectivamente). Debido a su ubicación costera, la humedad relativa varió poco a lo largo del año (65-70 %). La dirección predominante del viento durante la primavera y el verano provenía del mar (sureste), con un régimen típico de la brisa mediterránea; mientras que en los meses más fríos, el viento procedía del noroeste (Viney et al., 2021).

### 3.1.2. Posibles regiones fuente de polen de olivo

Los olivos cubren aproximadamente  $\sim 36.000$  ha en la provincia de Alicante (ver Figura 5), representando el 1,2 % de la superficie total cultivada de olivo en España (MAPA, 2013). Los olivares se concentran en la norte zona de la provincia, donde las temperaturas son más bajas. En la ciudad, su presencia es muy baja ya que su uso es ornamental. La figura 5 muestra la distribución geográfica del olivo en España, obtenida del CORINE *Land Cover* (CLC, 2012) y la zonificación del territorio en función de las posibles regiones fuente de polen en el área de estudio (Viney et al., 2021). El territorio se divide en tres zonas ( $Z_i$ ). La zona 1 ( $Z_1$ ) se ubica al suroeste del punto de muestreo, representa aproximadamente el 60 % del cultivo de olivo en España, ya que comprende las provincias de Jaén y Córdoba, ubicadas a unos 400-500 km del sitio de muestreo (García-Mozo, 2017; Hernández-Ceballos et al., 2011). La zona 2 ( $Z_2$ ), que comprende las provincias de Badajoz, Ciudad Real y Toledo, se encuentra en dirección noroeste e incluye  $\sim 30$  % del olivar español. Y el resto, denominado como  $Z_3$  que se consideran contribuciones poco relevantes ya que las regiones ubicadas al norte, comprenden  $\sim 4$  % del cultivo (Figura 5) y otras posibles regiones de origen como Túnez, Italia o Marruecos, representan aproximadamente el 10 % del cultivo de olivo mundial. Además, el transporte a largas distancias se produce a menudo a gran altura, no incluyendo los granos de polen (Fernández-Rodríguez et al., 2014). O bien, a altitudes más bajas sobre el mar Mediterráneo, donde los granos de polen pueden sufrir su ruptura o deposición osmótica, (absorción de agua) lo que reduce las concentraciones de polen en el aire (Bassani et al., 1994; Jato et al., 2000; Uetake et al., 2019; Vázquez et al., 2003). En consecuencia, la contribución relativa del polen de

*Olea* transportado desde  $Z_1$  y  $Z_2$  al área de estudio se espera que sea medio o alto, mientras que las contribuciones de  $Z_3$  se prevé que sean insignificantes.

### 3.2. Monitorización del polen de *Olea* y de los datos meteorológicos

El muestreo del polen presente en el aire se realizó por el personal del Área de Alergia del Hospital General Universitario Dr. Balmis de Alicante. Para ello, se empleó un captador volumétrico tipo Hirst (Burkard Manufacturing Co. Rickmansworth, Hertfordshire, Reino Unido), con un caudal de  $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , situado en la azotea del hospital (a una altura aproximada de 20 m sobre el nivel del mar) (Figura 6).

Posteriormente, las muestras fueron analizadas y cuantificadas por personal especializado de la Agencia Valenciana de Inmunología Clínica (AVAIC). El muestreo y el análisis se realizó siguiendo el protocolo estándar de la Red Española de Aerobiología (Galán et al., 2007) y las recomendaciones de la Red Europea de Aeroalérgenos (EAN) (Galán et al., 2014). Las concentraciones de polen de *Olea* bihorarias y diarias se obtienen como número medio de granos de polen por metro cúbico de aire ( $\text{granos de polen}\cdot\text{m}^{-3}$ ), de 2010 a 2015.

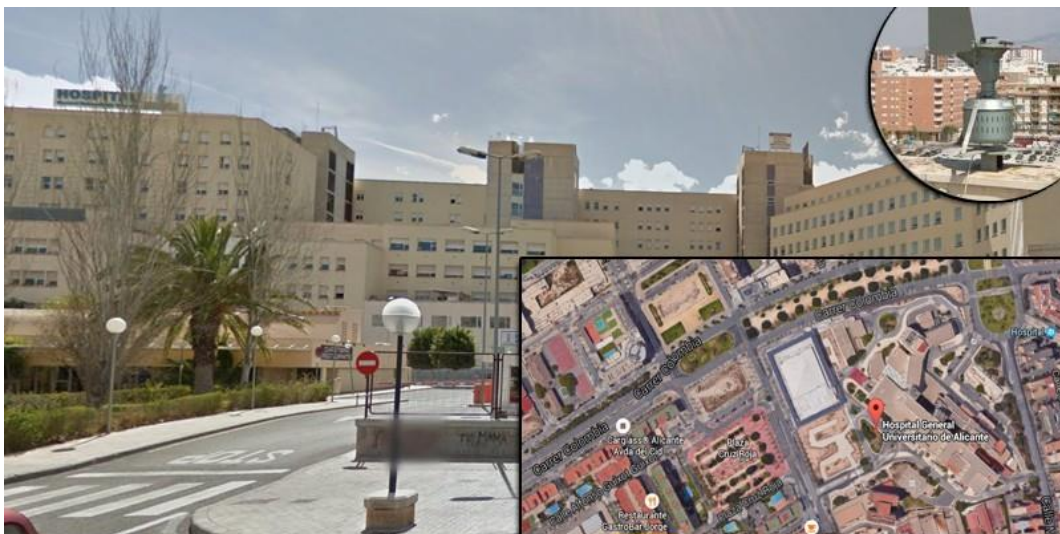


Figura 6. Localización del captador tipo Hirst (Burkard) en el Hospital General Dr. Balmis de Alicante.



El periodo principal de polinización (MPS, *Main Pollen Season*) se definió como el periodo de tiempo en el que se contabilizó el 95% del polen, descartándose las dos colas de la distribución anual (Andersen, 1991). Este periodo se caracteriza por: las fechas de inicio y fin (SPS, *Start Pollen Season* y EPS, *End Pollen Season*), la duración en días (LPS, *Length Pollen Season*), la fecha de máxima concentración de polen diaria promedio (PD, *Peak Day*), la concentración de polen promedio máxima (PC, *Peak Concentration*) y la suma de las concentraciones diarias de polen durante el periodo principal de polinización (SPI, *Season Pollen Index*).

Los datos meteorológicos horarios (temperatura, precipitación acumulada, humedad relativa y velocidad y dirección del viento) se obtuvieron de la estación meteorológica del Aeropuerto Rabasa-Alicante, ubicado a ~2 km al noroeste del sitio de monitorización y que pertenece a la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA, 2024).

### 3.3. Análisis de datos

Con el objetivo de explicar los patrones de las concentraciones diarias de polen, se llevó a cabo un estudio de la influencia del polen transportado desde las regiones occidentales  $Z_1$  y  $Z_2$  en las concentraciones bihorarias de *Olea*. Para ello, los perfiles diarios de polen se clasificaron mediante el análisis de clúster (IBM-SPSS *Statistics* versión 25) y, posteriormente, se evaluó la influencia del polen de *Olea* transportado desde otras regiones mediante modelos meteorológicos (HYSPLIT) que permitieron averiguar el origen de las masas de aire.

#### 3.3.1. Análisis de clúster

El análisis de clúster es una técnica estadística multivariante cuyo objetivo es agrupar elementos u observaciones (en este caso perfiles diarios de polen de *Olea*) en diferentes grupos o clústeres. Se trata de identificar grupos de observaciones en

conjuntos de datos, de modo que haya la máxima homogeneidad dentro de cada clúster y máxima heterogeneidad entre los clústeres.

En este trabajo, se analizaron las concentraciones de polen bihorarias utilizando el análisis de clúster. En primer lugar, se determinó el número óptimo de grupos naturales mediante el análisis de agrupamiento jerárquico. Y, en segundo lugar, se generaron los clústeres mediante el análisis de K-media. Se utilizó el método jerárquico de Ward debido a que no había conocimiento previo del número de clústeres necesarios para agrupar los datos. En este método, cada día se considera como un grupo separado que se combina secuencialmente, hasta que finalmente queda uno. Mediante este, el agrupamiento se realiza minimizando la suma de distancias entre cada objeto y el centroide del grupo al que pertenece. El análisis de K-media se consideró que era el más apropiado debido a que proporciona una aproximación más flexible y no asume ninguna distribución específica de las variables. Se generaron K grupos de días con una concentración bihoraria de polen similar.

Se obtuvieron 3 patrones típicos diarios para el polen de *Olea* en Alicante y se calculó un índice polínico de clúster (CPI, *Cluster Pollen Index*) como la suma diaria de las concentraciones de polen correspondientes a los días incluidos en cada clúster. Por otro lado, los días incluidos en cada clúster se clasificaron según los riesgos de exposición: Bajo ( $< 20 \text{ polen}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Moderado ( $21\text{--}50 \text{ polen}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Alto ( $51\text{--}100 \text{ polen}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y Muy Alto ( $> 100 \text{ polen}\cdot\text{m}^{-3}$ ), definidos en Viney et al. (2021).

La posible relación entre los perfiles diarios (frecuencia de los clústeres, expresada en número de días) y los parámetros polínicos (LPS, SPS, EPS, PC, PD y SPI) se determinó mediante la correlación de Spearman considerando estadísticamente significativo para valor  $p < 0,05$ . Mientras que, para determinar la influencia de las condiciones climáticas locales (temperatura, humedad relativa, precipitaciones y dirección del viento y velocidad) sobre los ciclos diarios, se calcularon los valores medios bihorarios de los parámetros meteorológicos correspondientes a cada clúster y se observó su comportamiento.

### 3.3.2. Origen de las masas de aire

La identificación de contribuciones externas a las concentraciones locales de polen de *Olea*, se llevó a cabo mediante el análisis de retrotrayectorias, utilizando el modelo HYSPLIT (Draxler & Hess, 1997). Los movimientos de las masas de aire, desde el punto de muestro hacia las regiones fuente (hacia atrás, es decir, retrotrayectoria), se simularon cada dos horas para cada día de estudio; durante un período de 36 h, tiempo suficiente para recorrer la distancia entre las regiones fuente y el lugar de muestro; y, a una altura final de 500 m sobre el nivel del suelo, para que la llegada de la masa de aire que transportaba el polen estuviera por debajo de la capa de mezcla (ABL).

Posteriormente, para cada clúster, el modelo HYSPLIT se utilizó para clasificar las retrayectorias según su origen y, por tanto, el posible aporte de polen de olivo transportado desde otras regiones. El modelo HYSPLIT realizó la agrupación (análisis de clúster) basándose en la variación de la varianza espacial total (TSV) entre clústeres y la varianza espacial (SPVAR) dentro de un clúster, para ir emparejando iterativamente. Finalmente, el número final de grupos se determinó considerando cambios de la TSV entre iteraciones > 40 %.

La influencia del polen de *Olea* transportado desde otras regiones sobre el perfil diario se evaluó a partir de las concentraciones de polen bihorarias asociadas a cada retrotrayectoria. Para ello, se calculó para cada clúster, la contribución del polen transportado desde otras regiones ( $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_3$ ) como la suma de las concentraciones de polen bihorarias. Además, se calcularon en periodos de quince días, como período de tiempo de referencia comúnmente utilizado en los calendarios polínicos. Se denominaron  $OPI_i$  (*Origin Pollen Index*), donde  $i$  correspondía al origen de la masa de aire (1,  $Z_1$ ; 2,  $Z_2$ ; 3,  $Z_3$ ).



## 4. DISCUSIÓN

Para cuantificar el impacto del transporte regional en las variaciones intradiarias de los niveles de polen de *Olea* en Alicante, en primer lugar, se realizó un análisis de clúster que identificó tres grupos diferentes: C1, que mostró poca variabilidad con pequeños picos a las 08:00 y 16:00 UTC; C2, con máximas concentraciones de polen durante la primera mitad del día, con un claro pico alrededor de las 04:00 UTC, seguido de un descenso gradual durante el resto del día; y, C3, que mostró bajas concentraciones durante la noche y un progresivo aumento hasta las 10:00 UTC, manteniéndose elevadas durante el resto del día. La frecuencia porcentual, el índice de polen y la concentración media de polen de *Olea* (en granos de polen·m<sup>-3</sup>) para cada grupo fueron: C1 (~91%, 8797, 26), C2 (~7%, 4641, 179) y C3 (~ 2%, 1845, 308). Estos resultados corroborarían la alta influencia de fuentes de polen externas a la ciudad y la región, que ya se observó en Viney et al (2021) y que coincidiría con lo observado en otros estudios, donde la aparición de picos de polen fuera del mediodía se atribuye, generalmente, al polen transportado desde otras regiones con mayor densidad de olivos (Fernández-Rodríguez et al., 2020; Fernández-Rodríguez, Skjøth, et al., 2014; Hernández-Ceballos et al., 2011; Maya-Manzano et al., 2016, 2021). Hecho confirmado, además, por el perfil bihorario de los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar) asociado a cada clúster. El similar comportamiento reveló la baja influencia de las condiciones meteorológicas locales, ya que las concentraciones polínicas máximas de *Olea* se asocian al momento del día con la temperatura más alta y la humedad relativa más baja, es decir, durante las horas centrales del día (Achmakh et al., 2015; Fernández-Rodríguez et al., 2020; García-Mozo et al., 2008; Moriondo et al., 2001).

El estudio más profundo de los parámetros meteorológicos reveló que el leve pico polínico alrededor de las 16:00 UTC en C1 se debía a los días con concentraciones de polen atípicamente altas para dicho clúster y, por tanto, previsiblemente de origen local. Lo que indicaría que las concentraciones máximas diarias de *Olea* registradas en Alicante no superarían los 100 granos de polen·m<sup>-3</sup>, en ausencia de aportes externos. Por otro lado, el leve pico observado a las 08:00 UTC, también en C1, se

correspondería con el cambio en la velocidad y dirección del viento típico del régimen de brisas (Gassmann et al., 2002; Negral et al., 2021; Prtenjak et al., 2012). Aunque esto precisaría de más estudios, pues el fenómeno se observó en un número reducido de días y, por lo general, la aparición de brisas marinas se asocia con una disminución en las concentraciones de polen debido al aumento de la humedad relativa que provoca la hidratación de los granos de polen y favorece su deposición y/o degradación osmótica (Bassani et al., 1994; Vázquez et al., 2003). La ruptura de los granos de polen podría provocar el aumento de la carga alérgica en el aire de Alicante, aunque las concentraciones de polen fueran bajas, y esto podría ser otra de las razones por las que la población alérgica está tan sensibilizada al polen del olivo. De nuevo, para demostrar esta observación sería necesario realizar otros estudios.

El fenómeno de recirculación, aunque también se observó en algunos días comprendidos en C2 y C3, estos no mostraron picos de polen a las 08:00 UTC. Esto, sustentaría el hecho de que las altas concentraciones de polen registradas en los días incluidos en C2 y C3 se deberían a fuentes no locales. Por otro lado, en este trabajo, tampoco se pudo asociar el descenso de las concentraciones de polen con el efecto lavado de las lluvias registradas durante la floración (Paschalidou et al., 2020; Ribeiro et al., 2006; Tormo-Molina et al., 2010), ya que los pocos días lluviosos, sólo en C1 y sólo 12 %, registraron precipitaciones muy bajas ( $< 1 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ).

El estudio de las aportaciones externas en cada clúster mostró que la contribución polínica conjunta de  $Z_1$  y  $Z_2$  al SPI fue del 39 % para C1, 78 % para C2 y 100 % para C3. Lo que evidenció la fuerte influencia de los aportes desde el suroeste ( $Z_1$ ) y, en menor medida, por los provenientes del noroeste ( $Z_2$ ) sobre C2 y C3. Como era de esperar, las concentraciones registradas durante los aportes del noroeste fueron inferiores debido a que la densidad de olivos disminuye conforme nos desplazamos hacia el norte en la Península Ibérica. Por otro lado, los bajos aportes polínicos desde  $Z_1$  y  $Z_2$  observados en C1 se deberían a que las masas de aire habrían atravesado las regiones fuente en momentos de baja concentración polínica, fuera de las horas centrales del día o fuera de la MPS; o bien, el movimiento se habría realizado en altura (Bogawski et al., 2019; Izquierdo et al., 2017).

En lo que respecta a los valores umbral del olivo, el 84 % de los días pertenecientes a C1 presentaron un riesgo de exposición moderado ( $> 20$  granos de polen $\cdot m^{-3}$ ), y más del 60 % de los días de este no suponían un riesgo de exposición para las personas sensibilizadas ( $< 20$  granos de polen $\cdot m^{-3}$ ). Por el contrario, todos los días incluidos en C2 y C3 mostraron riesgos de exposición altos ( $> 50$  granos de polen $\cdot m^{-3}$ ). C1, que representaría el perfil local, fue el patrón predominante en toda la MPS y mostró una correlación significativa entre la frecuencia de aparición de C1 y la LPS. Mientras que C2 y C3, asociados a aportes polínicos provenientes del suroeste ( $Z_1$ ) en mayo y del noroeste ( $Z_2$ ) en junio, solo estuvieron presentes en la mitad de la MPS y mostraron una alta correlación con el SPI. De los tres, C3 fue el que incluyó los días con las mayores concentraciones de polen de todo el periodo ( $> 250$  granos de polen $\cdot m^{-3}$ ). Los altos niveles de exposición se asociaron con las contribuciones polínicas del oeste ( $Z_1$  y  $Z_2$ ). Con todo ello, se puede decir que la población sensibilizada al polen de olivo en Alicante estaría expuesta a: altas concentraciones durante períodos cortos de tiempo debido a los aportes desde el sureste (Lake et al., 2017); a concentraciones de moderadas a altas durante períodos de tiempo más largos por los aportes del noroeste (Ščevková et al., 2015); y, a concentraciones de moderadas a bajas en ausencia de aportes externos.





## 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

La variación intradiurna de las concentraciones de polen de *Olea* en la ciudad de Alicante siguieron tres patrones diferentes (Ci). Estos patrones se vieron afectados principalmente por el origen de las masas de aire que llegaban al lugar de muestreo. Se estableció una relación entre Ci y las principales propiedades del MPS. Se encontró una correlación significativa entre la frecuencia de aparición de C1 (que representa el perfil local) y el LPS. La razón es que C1 fue el ciclo dominante durante todo el MPS. Por otro lado, C2 y C3, asociados a aportes externos de polen desde el oeste, se observaron a mitad del MPS y se caracterizaron por altas concentraciones de polen de *Olea* del suroeste (Andalucía y Extremadura) en mayo y del noroeste (Castilla-La Mancha) a finales de mayo y junio. Se encontró una correlación significativa entre los aportes del oeste y el alto riesgo de exposición al polen de olivoque, principalmente se dan durante las primeras horas del día y por la tarde.

La fuerte influencia de los aportes externos de *Olea* enmascaran la influencia de otros factores característicos de la zona de estudio. Así, en futuros estudios sería interesante valorar la influencia del fenómeno de recirculación sobre los niveles polínicos. Para ello, sería necesario centrar el interés en otros taxones polínicos, cuyo origen tuviera carácter local como, por ejemplo, *Amarantáceas*. Este taxón, presenta una alta sensibilidad en la población alérgica y es el taxón herbáceo más abundante de la región. En lo que respecta al taxón *Olea*, las investigaciones futuras deberían ir orientadas hacia el diseño de una metodología que permitiera predecir los aportes externos considerando las concentraciones de polen tanto en la región fuente como en la receptora. O bien, estudios orientados hacia la cuantificación de la carga alérgica real en el aire, para valorar su relación con los recuentos polínicos, la influencia de los aportes desde el oeste y, en consecuencia, discernir la/s causa/s del aumento de la sensibilización al polen del olivo. Con todo ello, se contribuiría a mejorar la calidad de vida de la población alérgica al proporcionar información más detallada para iniciar tratamientos preventivos antes de que se produzcan picos de concentración de polen.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Achmakh, L., Bouziane, H., Aboulaich, N., Trigo, M. M., Janati, A., & Kadiri, M. (2015). Airborne pollen of *Olea europaea* L. in Tetouan (NW Morocco): heat requirements and forecasts. *Aerobiologia*, 31(2), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9356-0>
- Agache, I., Akdis, A. A., Chivato, T., Hellings, P., Hoffman-Sommergruber, K., Jutel, M., Laurema, A., Papadopoulos, N., Schmid-Gredermeier, P., & Schmidt-Weber, C. (2018). European Allergy White Paper on Research, Innovation and Quality Care. *The European Academy of Allergy and Clinical Immunology*.
- Aguilera, F., Fornaciari, M., Ruiz-Valenzuela, L., Galán, C., Msallem, M., Dhiab, A. Ben, Díaz-de-la Guardia, C., Trigo, M., Bonofiglio, T., & Orlandi, F. (2015). Phenological models to predict the main flowering phases of olive (*Olea europaea* L.) along a latitudinal and longitudinal gradient across the Mediterranean region. *International Journal of Biometeorology*, 59(5), 629–641. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0876-7>
- Aguilera, F., Ruiz, L., Fornaciari, M., Romano, B., Galán, C., Oteros, J., Ben Dhiab, A., Msallem, M., & Orlandi, F. (2014). Heat accumulation period in the Mediterranean region: Phenological response of the olive in different climate areas (Spain, Italy and Tunisia). *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 867–876. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0666-7>
- Alarcón, M., Periago, C., Pino, D., Mazón, J., Casas-Castillo, M. del C., Ho-Zhang, J. J., De Linares, C., Rodríguez-Solà, R., & Belmonte, J. (2022). Potential contribution of distant sources to airborne *Betula* pollen levels in Northeastern Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151827>
- Andersen, T. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30(1), 269–275. <https://doi.org/10.1080/00173139109427810>
- Armentia, A., Baltasar, M. A., Basagaña, M., Belmonte, J., Cadahía, A., Cádaba, B., Cardona, V., Conde, M., Conde, E., Conde, J., Davila, I., Dordal, T., Eseverri, J., Fernández, S., Ferré, L., Guilarte, M., Lahoz, C., Luengo, O., Martí, E., ... Valero, L. (2002). *Polinosis. Polen y alergia*. (A. Valero & A. Cadahía (Eds.)). mra ediciones, S.L.
- Aylor, D. (2002). Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. *Journal of Aerosol Science*, 33(11),

1601–1607. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(02\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(02)00105-2)

- Bassani, M., Pacini, E., & Granchi, G. (1994). Humidity stress responses in pollen of anemophilous and entomophilous species. *Grana*, 33(3), 146–150. <https://doi.org/10.1080/00173139409428991>
- Bauchau, V., & Durham, S. R. (2004). Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe. *European Respiratory Journal*, 24(5), 758–764. <https://doi.org/10.1183/09031936.04.00013904>
- Becker, J., Steckling-Muschack, N., Mittermeier, I., Bergmann, K. C., Böse-O'Reilly, S., Buters, J., Damialis, A., Heigl, K., Heinrich, J., Kabesch, M., Mertes, H., Nowak, D., Schutzmeier, P., Walser-Reichenbach, S., Weinberger, A., Korbely, C., Herr, C., Heinze, S., & Kutzora, S. (2021). Threshold values of grass pollen (Poaceae) concentrations and increase in emergency department visits, hospital admissions, drug consumption and allergic symptoms in patients with allergic rhinitis: a systematic review. *Aerobiologia*, 37(4), 633–662. <https://doi.org/10.1007/s10453-021-09720-9>
- Belmonte, J., Alarcón, M., Avila, A., Scialabba, E., & Pino, D. (2008). Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain). *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 675–687. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0160-9>
- Berghi, N. (2014). Oleaceae pollen allergy and its cross-reactivity in the mediterranean area in the context of globalization. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, 13(4), 290–295.
- Blomme, K., Tomassen, P., Lapeere, H., Huvenne, W., Bonny, M., Acke, F., Bachert, C., & Gevaert, P. (2013). Prevalence of allergic sensitization versus allergic rhinitis symptoms in an unselected population. *International Archives of Allergy and Immunology*, 160(2), 200–207. <https://doi.org/10.1159/000339853>
- Bogawski, P., Borycka, K., Grewling, Ł., & Kasprzyk, I. (2019). Detecting distant sources of airborne pollen for Poland: Integrating back-trajectory and dispersion modelling with a satellite-based phenology. *Science of the Total Environment*, 689, 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.348>
- Bonofiglio, T., Orlandi, F., Sgromo, C., Romano, B., & Fornaciari, M. (2008). Influence of temperature and rainfall on timing of olive (*Olea europaea*) flowering in Southern Italy.

*New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 36(1), 59–69.  
<https://doi.org/10.1080/01140670809510221>

Bruns, E., Chmielewski, F., & VanVliet, A. (2003). The Global Phenological Monitoring Concept. In M. D. (eds) Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-007-0632-3\\_7](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-007-0632-3_7)

Buseck, P. R., & Schwartz, S. E. (2003). Tropospheric Aerosols. In K. K. Turekian & H. D. Holland (Eds.), *Treatise on Geochemistry* (pp. 91–142). Elsevier Science Ltd.

Cecchi, L. (2013). From pollen count to pollen potency: The molecular era of aerobiology. *European Respiratory Journal*, 42(4), 898–900.  
<https://doi.org/10.1183/09031936.00096413>

Cecchi, L., Morabito, M., Domeneghetti, M. P., Crisci, A., Onorari, M., & Orlandini, S. (2006). Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 96(1), 86–91. [https://doi.org/10.1016/s1081-1206\(10\)61045-9](https://doi.org/10.1016/s1081-1206(10)61045-9)

Charalampopoulos, A., Lazarina, M., Tsiripidis, I., & Vokou, D. (2018). Quantifying the relationship between airborne pollen and vegetation in the urban environment. *Aerobiologia*, 34(3), 285–300. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9513-y>

CLC. (2012). *Corine Land Cover*. Website: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. (Consultado el 3 de mayo 2021).

Corsico, R. (1993). El asma polínico en Europa. In *Polen atmosférico en Europa* (pp. 19–29). UCB, S.A.

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>

D'Amato, G., Liccardi, G., D'Amato, M., & Cazzola, M. (2001). The role of outdoor air pollution and climatic changes on the rising trends in respiratory allergy. *Respiratory Medicine*, 95(7), 606–611. <https://doi.org/10.1053/rmed.2001.1112>

D'Amato, G., Pawankar, R., Vitale, C., Lanza, M., Molino, A., Stanziola, A., Sanduzzi, A., Vatrella, A., & D'Amato, M. (2016). Climate change and air pollution: Effects on respiratory allergy.

*Allergy, Asthma and Immunology Research*, 8(5), 391–395.  
<https://doi.org/10.4168/air.2016.8.5.391>

De Linares, C., Nieto-Lugilde, D., Alba, F., Díaz de la Guardia, C., Galán, C., & Trigo, M. M. (2007). Detection of airborne allergen ( Ole e 1 ) in relation to *Olea europaea* pollen in Spain. *Clinical and Experimental Allergy*, 37(1), 125–132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2006.02620.x> Abstract

Díaz De La Guardia, C., Alba, F., Trigo, M. D. M., Galán, C., Ruíz, L., & Sabariego, S. (2003). Aerobiological analysis of *Olea europaea* L. pollen in different localities of southern Spain: Forecasting models. *Grana*, 42(4), 234–243. <https://doi.org/10.1080/00173130310016455>

Domínguez, E., García-Pantaleón, F. I., Galán, C., Guerra, F., & Villamanados, F. (1993). Variations in the concentrations of airborne *Olea* pollen and associated pollinosis in Córdoba (Spain): A study of the 10-year period 1982-1991. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 3(3), 121–129.

Draxler, R., & Hess, G. (1997). Description of the HYSPLIT 4 modelling system. *Air Resources Laboratory, December*.

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A., Zinn, S., Loughner, C., & Crawford, A. (2023). HYSPLIT Users's guide. *Air Resources Laboratory, November*.

Esteve, C., Montealegre, C., Marina, M. L., & García, M. C. (2012). Analysis of olive allergens. *Talanta*, 92, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.01.016>

Feo-Brito, F., Gimeno, P. M., Carnés, J., Martín, R., Fernández-Caldas, E., Lara, P., López-Fidalgo, J., & Guerra, F. (2011). *Olea europaea* pollen counts and aeroallergen levels predict clinical symptoms in patients allergic to olive pollen. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 106(2), 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2010.11.003>

Fernández-González, M., González-Fernández, E., Fernández-González, D., & Rodríguez-Rajo, F. (2020). Secondary Outcomes of the Ole e 1 Proteins Involved in Pollen Tube Development: Impact on Allergies. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00974>

Fernández-Rodríguez, S., Durán-Barroso, P., Silva-Palacios, I., Tormo-Molina, R., Maya-

- Manzano, J., & Gonzalo-Garijo, Á. (2016). Regional forecast model for the Olea pollen season in Extremadura (SW Spain). *International Journal of Biometeorology*, *60*(10), 1509–1517. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1141-z>
- Fernández-Rodríguez, S., Maya-Manzano, J., Monroy-Colín, A., Pecero-Casimiro, R., Buters, J., & Oteros, J. (2020). Understanding hourly patterns of Olea pollen concentrations as tool for the environmental impact assessment. *Science of the Total Environment*, *736*, 139363. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139363>
- Fernández-Rodríguez, S., Skjøth, C., Tormo-Molina, R., Brandao, R., Caeiro, E., Silva-Palacios, I., Gonzalo-Garijo, Á., & Smith, M. (2014). Identification of potential sources of airborne Olea pollen in the Southwest Iberian Peninsula. *International Journal of Biometeorology*, *58*(3), 337–348. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0629-4>
- Fernández-Rodríguez, S., Tormo, R., Maya, J. M., Silva, I., & Gonzalo, A. (2014). Comparative study of the effect of distance on the daily and hourly pollen counts in a city in the southwestern Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, *30*(2), 173–187. <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9316-0>
- Fernández, J., Flores, E., Varea, M., Soriano, V., & González, P. (2015). Evolution of the incidence of pollen grains sensitivity to pollen in the city of Elche ( Spain ). *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, *33*, 196–202. <https://doi.org/10.12932/AP0542.33.3.2015>
- Fernandez, J., García, F., Esteban, A., & Miralles, A. (1998). Incidencia de granos de polen y polinosis en la ciudad de Elche, 1995. *Revista Espanola de Alergologia e Inmunologia Clinica*, *13*(2), 88–91.
- Florido, J., Delgado, P., De San Pedro, B., Quiralte, J., Saavedra, J. M., Peralta, V., & Valenzuela, L. (1999). High levels of Olea europaea pollen and relation with clinical findings. *International Archives of Allergy and Immunology*, *119*(2), 133–137. <https://doi.org/10.1159/000024188>
- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier Van Der Gon, H., Facchini, M. C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J. G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., ... Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs.

*Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217–8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>

Gabaldón-Arguisuelas, A. (2016). *Estudio aerobiológico del municipio de Las Rozas de Madrid y aplicación de resultados al control del polen alergénico*. Universidad Complutense de Madrid.

Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., & Domínguez, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA): management and quality manual* (A. Velasco (Ed.)). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.

Galán, C., García-Mozo, H., Vázquez, L., Ruiz, L., Díaz, C., & Trigo, M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *International Journal of Biometeorology*, 184–188. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0223-5>

Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., & Brandao, R. (2014). Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, 30(4), 385–395. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9335-5>

Galán, C., Tormo, R., Cuevas, J., Infante, F., & Domínguez, E. (1991). Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the south-west of Spain. *Grana*, 30(1), 201–209. <https://doi.org/10.1080/00173139109427800>

Galera, M. D., Elvira-Rendueles, B., Moreno, J. M., Negral, L., Ruiz-Abellón, M. C., García-Sánchez, A., & Moreno-Grau, S. (2018). Analysis of airborne *Olea* pollen in Cartagena (Spain). *Science of the Total Environment*, 622–623, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.349>

García-Mozo, H. (2017). Poaceae pollen as the leading aeroallergen worldwide: A review. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 72(12), 1849–1858. <https://doi.org/10.1111/all.13210>

García-Mozo, H., Pérez-Badia, R., Fernández-González, F., & Galán, C. (2006). Airborne pollen sampling in Toledo, Central Spain. *Aerobiologia*, 55–66. <https://doi.org/10.1007/s10453-005-9015-6>

García-Mozo, H., Pérez-Badia, R., & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors'



- influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (Central Spain). *Aerobiologia*, 24(1), 13–18. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x>
- Gassmann, M. I., Pérez, C. F., & Gardiol, J. M. (2002). Sea-land breeze in a coastal city and its effect on pollen transport. *International Journal of Biometeorology*, 46(3), 118–125. <https://doi.org/10.1007/s00484-002-0135-1>
- Gieré, R., & Querol, X. (2010). Solid particulate matter in the atmosphere. *Elements*, 6(4), 215–222. <https://doi.org/10.2113/gselements.6.4.215>
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gioulekas, D., Papakosta, D., Damialis, A., Spieksma, F., Giouleka, P., & Patakas, D. (2004). Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *Allergy*, 9, 174–184. <https://doi.org/10.1046/j.1398-9995.2003.00312.x>
- Giourga, C., & Loumou, A. (2002). Olive groves: “The life and identity of the Mediterranean”.” *Agriculture and Human Values*, 20(1), 87–95. <https://doi.org/doi.org/10.1023/A:1022444005336>
- González, S. (2009). Paralelización de la obtención de datos de entrada del modelo de concentraciones de HYSPLIT. *Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI). Ministerios de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31978/784-09-011-7>
- Goyal, A., Khaiwal, R., & Mor, S. (2024). Role of winds and air masses in the transport of non-local *Pinus* sp. pollen at an urban location in North India: A statistical perspective. *Atmospheric Pollution Research*, 15(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.102014>
- Hernández-Ceballos. (2014). Improvement in the accuracy of back trajectories using WRF to identify pollen sources in southern Iberian Peninsula. *International Journal of Biometeorology*, 58(10), 2031–2043. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0804-x>
- Hernández-Ceballos, M. A., García-Mozo, H., Adame, J. A., Domínguez-Vilches, E., Bolívar, J. P.,

- De La Morena, B. A., Pérez-Badía, R., & Galán, C. (2011). Determination of potential sources of Quercus airborne pollen in Córdoba city (southern Spain) using back-trajectory analysis. *Aerobiologia*, 27(3), 261–276. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9195-1>
- Izquierdo, R., Alarcón, M., Mazón, J., Pino, D., De Linares, C., Aguinagalde, X., & Belmonte, J. (2017). Are the Pyrenees a barrier for the transport of birch (*Betula*) pollen from Central Europe to the Iberian Peninsula? *Science of the Total Environment*, 575, 1183–1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.192>
- Izquierdo, R., Belmonte, J., Avila, A., Alarcón, M., Cuevas, E., & Alonso-Pérez, S. (2011). Source areas and long-range transport of pollen from continental land to Tenerife (Canary Islands). *International Journal of Biometeorology*, 55(1), 67–85. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0309-1>
- Jato, M. V., Rodríguez, F. J., & Seijo, M. C. (2000). Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 43(4), 147–153. <https://doi.org/10.1007/s004840050001>
- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to PM10, NO2, and O3 and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2781–2789. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8038-6>
- Lake, I., Jones, N., Agnew, M., Goodess, C., Giorgi, F., Hamaoui-Laguel, L., Semenov, A., Solmon, F., Storkey, J., Vautard, R., & Epstein, M. (2017). Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives*, 125(3), 385–391. <https://doi.org/10.1289/EHP173>
- Liccardi, G., D'Amato, M., & D'Amato, G. (1996). Oleaceae Pollinosis: A Review. *International Archives of Allergy and Immunology*, 111, 210–217. <https://doi.org/10.1159/000237370>
- Lippmann, M. (2010). Targeting the components most responsible for airborne particulate matter health risks. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20(2), 117–118. <https://doi.org/10.1038/jes.2010.1>
- Ma, Y., Wang, M., Wang, S., Wang, Y., Feng, L., & Wu, K. (2021). Air pollutant emission characteristics and HYSPLIT model analysis during heating period in Shenyang, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s10661->

- Makris, M., Koulouris, S., Koti, I., Aggelides, X., Sideri, K., Chliva, C., Vassilatou, E., & Kalogeromitros, D. (2010). Temporal relationship of allergic rhinitis with asthma and other co-morbidities in a Mediterranean country: A retrospective study in a tertiary reference allergy clinic. *Allergologia et Immunopathologia*, *38*(5), 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2009.11.007>
- MAPA. (2013). *MAPA, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2013. Aceite de oliva, la excelencia del oro líquido.*
- Martínez-Bracero, M., Alcázar, P., Velasco-Jiménez, M. J., & Galán, C. (2019). Effect of the Mediterranean crops in the airborne pollen spectrum. *Aerobiología*, *35*(4), 647–657. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09604-z>
- Maurer, M., Ortonne, J. P., & Zuberbier, T. (2009). Chronic urticaria: An internet survey of health behaviours, symptom patterns and treatment needs in European adult patients. *British Journal of Dermatology*, *160*(3), 633–641. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2008.08920.x>
- Maurer, M., & Zuberbier, T. (2007). Undertreatment of rhinitis symptoms in Europe: Findings from a cross-sectional questionnaire survey. *Allergy*, *62*(9), 1057–1063. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01367.x>
- Maya-Manzano, J., Fernández-Rodríguez, S., Smith, M., Tormo-Molina, R., Reynolds, A., Silva-Palacios, I., Gonzalo-Garijo, Á., & Sadyś, M. (2016). Airborne Quercus pollen in SW Spain: Identifying favourable conditions for atmospheric transport and potential source areas. *Science of the Total Environment*, *571*, 1037–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.094>
- Maya-Manzano, J., Skjoth, C. A., Smith, M., Dowding, P., Sarda-Stève, R., Baisnée, D., McGilicuddy, E., Sewell, G., & O'Connor, D. J. (2021). Spatial and temporal variations in the distribution of birch trees and airborne Betula pollen in Ireland. *Agricultural and Forest Meteorology*, *298–299*(108298). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108298>
- Mazzeo, A., Palasciano, M., Gallotta, A., Camposeo, S., Pacifico, A., & Ferrara, G. (2014). Amount and quality of pollen grains in four olive (*Olea europaea* L.) cultivars as affected

- by “on” and “off” years. *Scientia Horticulturae*, 170, 89–93.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.030>
- Millán, M., Artíñano, B., Alonso, L., Navazo, M., & Castro, M. (1991). The effect of meso-scale flows on regional and long-range atmospheric transport in the western Mediterranean area. *Atmospheric Environment Part A, General Topics*, 25(5–6), 949–963.  
[https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90137-V](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90137-V)
- Millán, M., Salvador, R., Mantilla, E., & Artnano, B. (1996). Meteorology and photochemical air pollution in Southern Europe: Experimental results from EC research projects. *Atmospheric Environment*, 30(12), 1909–1924. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00220-0](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00220-0)
- Mohanty, R., Buchheim, M., Anderson, J., & Levetin, E. (2017). Molecular analysis confirms the long-distance transport of *Juniperus ashei* pollen. *PLoS ONE*, 12(3), 1–13.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173465>
- Monroy-Colín, A., Maya-Manzano, J. M., Tormo-Molina, R., Pecero-Casimiro, R., Gonzalo-Garijo, M. Á., & Fernández-Rodríguez, S. (2020). HYSPLIT as an environmental impact assessment tool to study the data discrepancies between *Olea europaea* airborne pollen records and its phenology in SW Spain. *Urban Forestry and Urban Greening*, 53, 126715.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126715>
- Moreno, S., Aira, M., Elvira-Rendueles, B., Fernández, M., Fernández, D., García, A., Martínez, M., Moreno, J., Negral, L., Vara, A., & Rodríguez, F. (2016). Assessment of the *Olea* pollen and its major allergen Ole e 1 concentrations in the bioaerosol of two biogeographical areas. *Atmospheric Environment*, 145, 264–271.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.040>
- Moriondo, M., Orlandini, S., Nuntiis, P., & Mandrioli, P. (2001). Effect of agrometeorological parameters on the phenology of pollen emission and production of olive trees (*Olea europea* L.). *Aerobiologia*, 17(3), 225–232. <https://doi.org/10.1023/A:1011893411266>
- Moriondo, M., Trombi, G., Ferrise, R., Brandani, G., Dibari, C., Ammann, C. M., Lippi, M. M., & Bindi, M. (2013). Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecology and Biogeography*, 22(7), 818–833.  
<https://doi.org/10.1111/geb.12061>

- Negral, L., Moreno-Grau, S., Galera, M. D., Elvira-Rendueles, B., Costa-Gómez, I., Aznar, F., Pérez-Badia, R., & Moreno, J. M. (2021). The effects of continentality, marine nature and the recirculation of air masses on pollen concentration: Olea in a Mediterranean coastal enclave. *Science of the Total Environment*, 790, 147999. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147999>
- Nicolás, J., Chiari, M., Crespo, J., Orellana, I. G., Lucarelli, F., Nava, S., Pastor, C., & Yubero, E. (2008). Quantification of Saharan and local dust impact in an arid Mediterranean area by the positive matrix factorization (PMF) technique. *Atmospheric Environment*, 42(39), 8872–8882. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.018>
- NOAA. (2024). *HYSPLIT. Air resources lab*. <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
- Orlandi, F., Garcia-Mozo, H., Dhiab, A. Ben, Galán, C., Msallem, M., & Fornaciari, M. (2014). Olive tree phenology and climate variations in the Mediterranean area over the last two decades. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1–2), 207–218. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0892-2>
- Paschalidou, A. K., Psistaki, K., Charalampopoulos, A., Vokou, D., Kassomenos, P., & Damialis, A. (2020). Identifying patterns of airborne pollen distribution using a synoptic climatology approach. *Science of the Total Environment*, 714, 136625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136625>
- Picornell, A., Abreu, I., & Ribeiro, H. (2023). Trends and future projections of Olea flowering in the western Mediterranean: The example of the Alentejo region (Portugal). *Agricultural and Forest Meteorology*, 339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109559>
- Prtenjak, M., Srnc, L., Peternel, R., Madžarević, V., Hrga, I., & Stjepanović, B. (2012). Atmospheric conditions during high ragweed pollen concentrations in Zagreb, Croatia. *International Journal of Biometeorology*, 56(6), 1145–1158. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0520-3>
- Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación atmosférica (RVVCCA). (2024). Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Infraestructuras y Territorio.
- Ribeiro, H., Oliveira, M., Ribeiro, N., Cruz, A., Ferreira, A., Machado, H., Reis, A., & Abreu, I. (2009). Pollen allergenic potential nature of some trees species: A multidisciplinary

- approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data. *Environmental Research*, *109*(3), 328–333. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.008>
- Ribeiro, H., Santos, L., Abreu, I., & Cunha, M. (2006). Influence of meteorological parameters on Olea flowering date and airborne pollen concentration in four regions of Portugal. *Grana*, *45*(2), 115–121. <https://doi.org/10.1080/00173130500520610>
- Richard, H., Martinetti, D., Lercier, D., Fouillat, Y., Hadi, B., Elkahky, M., Ding, J., Michel, L., Morris, C. E., Berthier, K., Maupas, F., & Soubeyrand, S. (2023). Computing Geographical Networks Generated by Air-Mass Movement. *GeoHealth*, *7*(10). <https://doi.org/10.1029/2023GH000885>
- 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*(November 2017), 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.012>
- Sánchez, J., Brandao, R., Lopes, L., & Galan, C. (2005). Correlation between pollen counts and symptoms in two different areas of the Iberian Peninsula: Cordoba (Spain) and Evora (Portugal). *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, *15*(2), 112–116.
- Ščevková, J., Dušička, J., Hrubíško, M., & Mičieta, K. (2015). Influence of airborne pollen counts and length of pollen season of selected allergenic plants on the concentration of sIgE antibodies on the population of Bratislava. *Annals of Agricultura and Environmental Medicine*, *22*(3), 451–455. <https://doi.org/10.5604/12321966.1167712>
- Skjøth, C. A., Ørby, P. V., Becker, T., Geels, C., Schlünssen, V., Sigsgaard, T., Bønløkke, J. H., Sommer, J., Søgaard, P., & Hertel, O. (2013). Identifying urban sources as cause of elevated grass pollen concentrations using GIS and remote sensing. *Biogeosciences*, *10*(1), 541–554. <https://doi.org/10.5194/bg-10-541-2013>
- Smith, M., Jäger, S., Berger, U., Šikoparija, B., Hallsdottir, M., Sauliene, I., Bergmann, K. C., Pashley, C. H., De Weger, L., Majkowska-Wojciechowska, B., Rybniček, O., Thibaudon, M., Gehrig, R., Bonini, M., Yankova, R., Damialis, A., Vokou, D., Gutiérrez Bustillo, A. M., Hoffmann-Sommergruber, K., & Van Ree, R. (2014). Geographic and temporal variations in pollen exposure across Europe. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical*

*Immunology*, 69(7), 913–923. <https://doi.org/10.1111/all.12419>

Solomon, W. R., & Jelks, M. L. (1997). Airborne Allergens. In A.P. Kaplan (Ed.), *Allergy* (2<sup>a</sup>, pp. 344–385). W.B. Saunders Company.

Subiza, J. (2004). Pólenes alergénicos en España. *Allergol et Immunopathol*, 32(3), 121–124.

Targonski, P. V., Persky, V. W., & Ramekrishnan, V. (1995). Effects of environment molds in risk for death from asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 95, 955–956. [https://doi.org/10.1016/s0091-6749\(95\)70095-1](https://doi.org/10.1016/s0091-6749(95)70095-1)

Tormo-Molina, R., Gonzalo-Garijo, M. A., Silva-Palacios, I., & Muñoz-Rodríguez, A. F. (2010). General trends in airborne pollen production and pollination periods at a Mediterranean site (Badajoz, southwest Spain). *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 20(7), 567–574.

Traidl-Hoffmann, C., Kasche, A., Menzel, A., Jakob, T., Thiel, M., Ring, J., & Behrendt, H. (2003). Impact of pollen on human health: More than allergen carriers? *International Archives of Allergy and Immunology*, 131(1), 1–13. <https://doi.org/10.1159/000070428>

Trošić Lesar, T., & Filipčić, A. (2022). Lagrangian particle dispersion (HYSPLIT) model analysis of the sea breeze case with extreme mean daily PM10 concentration in Split, Croatia. *Environmental Science Pollution Research*, 29, 73071–73084. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-022-20918-3>

Uetake, J., Tobo, Y., Uji, Y., Hill, T. C. J., DeMott, P. J., Kreidenweis, S. M., & Misumi, R. (2019). Seasonal changes of airborne bacterial communities over Tokyo and influence of local meteorology. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01572>

Ulbrich, U., Lionello, P., Belušić, D., Jacobeit, J., Knippertz, P., Kuglitsch, F. G., Leckebusch, G. C., Luterbacher, J., Maugeri, M., Maheras, P., Nissen, K. M., Pavan, V., Pinto, J. G., Saaroni, H., Seubert, S., Toreti, A., Xoplaki, E., & Ziv, B. (2012). Climate of the mediterranean: Synoptic patterns, temperature, precipitation, winds, and their extremes. In P. Lionello (Ed.), *The Climate of the Mediterranean Region* (pp. 301–346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00005-7>

Vargas, P., & Talavera, S. (2012). Olea. In *Flora Ibérica* (pp. 136–139).

Vázquez, L. M., Galán, C., & Domínguez, E. (2003). Influence of meteorological parameters on

- olea pollen concentrations in Córdoba (South-western Spain). *International Journal of Biometeorology*, 48(2), 83–90. <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0187-x>
- Vélez-Pereira, A. M., De Linares, C., & Belmonte, J. (2022). Aerobiological modelling II: a review of long-range transport models. *Science of The Total Environment*, 845, 157351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157351>
- Viney, A., Nicolás, J. F., Galindo, N., Fernández, J., Soriano-Gomis, V., & Varea, M. (2021). Assessment of the external contribution to Olea pollen levels in southeastern Spain. *Atmospheric Environment*, 257(118481). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118481>
- Waisel, Y., Mienis, Z., Kosman, E., & Geller-Bernstein, C. (2004). The partial contribution of specific airborne pollen to pollen induced allergy. *Aerobiologia*, 20(4), 197–208. <https://doi.org/10.1007/s10453-004-1183-2>
- Yerramilli, A., Bhaskar, V., Dodla, R., Challa, V. S., Myles, L., Pendergrass, W. R., Vogel, C. A., Dasari, H. P., Tuluri, F., Baham, J. M., Hughes, R. L., Patrick, C., Young, J. H., Swanier, S. J., & Hardy, M. G. (2012). An integrated WRF / HYSPLIT modeling approach for the assessment of PM 2.5 source regions over the Mississippi Gulf Coast region. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 401–412. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0132-1>
- Zhao, B., Wang, S., Dong, X., Wang, J., Duan, L., Fu, X., Hao, J., & Fu, J. (2013). Environmental effects of the recent emission changes in China: Implications for particulate matter pollution and soil acidification. *Environmental Research Letters*, 8(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024031>
- Zuberbier, T., Lötval, J., Simoens, S., Subramanian, S. V., & Church, M. K. (2014). Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: A GA(2)LEN review. *Allergy*, 69(10), 1275–1279. <https://doi.org/10.1111/all.12470>





## 7. ANEXO

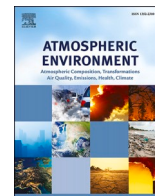
**Influence of inputs from foreign source regions on daily profiles of *Olea* pollen at an urban site in the southeast of the Iberian Peninsula**





Contents lists available at ScienceDirect

# Atmospheric Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/atmosenv](http://www.elsevier.com/locate/atmosenv)

## Influence of inputs from foreign source regions on daily profiles of *Olea* pollen at an urban site in the southeast of the Iberian Peninsula

S. Martínez-Pérez<sup>a</sup>, J.F. Nicolás<sup>a</sup>, N. Galindo<sup>a</sup>, F.J. Fernández-Sánchez<sup>b</sup>, V. Soriano-Gomis<sup>b</sup>, M. Varea<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Atmospheric Pollution Laboratory (LCA), Department of Applied Physics, Miguel Hernández University, Avenida de la Universidad S/N, 03202, Elche, Spain

<sup>b</sup> Allergy Section, Dr Balmis General University Hospital, ISABIAL-UMH, Avenida Pintor Baeza 12, 03010, Alicante, Spain

### HIGHLIGHTS

- Medium-range *Olea* pollen transport mask the influence of atmospheric events characteristic of the Mediterranean area.
- Medium-range *Olea* pollen transport was observed before sunrise and in the afternoon.
- "Hourly *Olea* pollen exposure" levels were estimated for the first time.

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

*Olea* pollen  
Cluster analysis  
Main pollen season  
Backward trajectories  
Bihourly

### ABSTRACT

The daily cycle of pollen concentrations reflects its genetic response to environmental conditions. The detailed study of these cycles was used to identify the influence of external sources on local pollen levels. In this work, three different daily profiles (Ci) of *Olea* pollen concentrations were identified in the city of Alicante (southeastern Spain) using cluster analysis. For this, 2-h data from 2010 to 2015 were used. The percentage frequency, pollen index and mean *Olea* pollen concentration (in pollen grains•m<sup>-3</sup>) for each cluster were: C1 (~91%, 8797, 26), C2 (~7%, 4641,179) and C3 (~2%, 1845, 308). C1 was the predominant pattern throughout the whole MPS, while C2 and C3 were only present in the middle of the MPS. Small variations in pollen concentrations throughout the day were observed for C1, while C2 and C3 showed the highest pollen concentration at ~04:00 UTC and 10:00 UTC, respectively. C1 represented concentration patterns due to local pollen inputs, being influenced by precipitation events, sea breezes and the recirculation of air pollutants. On the other hand, C2 and C3 were strongly influenced by external pollen inputs from southwestern regions of Spain. The results of this study indicate that external inputs from these regions were associated with exposure of the population to high pollen concentrations for short periods of time. In contrast, inputs from the northwest were associated with exposure to lower pollen concentrations for longer periods of time.

### 1. Introduction

The olive tree (*Olea europaea* L.) is one of the most characteristic crops in the Mediterranean basin, with a significant economic, social and cultural impact (Loumou and Giourga, 2003). Several research studies focused on the aerobiological characteristics of this species have been performed in the last decades. These characteristics determine the high adaptive capacity of the olive tree, making it a useful tool for studying the effects of global climate change on agroecosystems (Aguilera et al., 2014; Bonofiglio et al., 2008; Dias et al., 2022; Moriondo

et al., 2013; Orlandi et al., 2014). The western Mediterranean basin is one of the regions most likely to be affected by climate change this century (Giorgi and Lionello, 2008), since it is characterised by specific atmospheric dynamics due to complex interactions between climatic and topographic factors (Millan et al., 1991; 1996; Ulbrich et al., 2012).

Olive pollen is one of the main causes of respiratory allergic disease in the Mediterranean area (Gioulekas et al., 2004; D'Amato et al., 2007; De Linares et al., 2007; Ribeiro et al., 2013; Cebrino et al., 2017). Indeed, in recent decades, an increasing trend in the prevalence of pollinosis has been observed, which has largely been attributed to

\* Corresponding author. Laboratory of Atmospheric Pollution, Miguel Hernández University, Av. de la Universidad s/n, Edif. Alcudia, 03202, Elche, Spain.  
E-mail address: [montse.varea@umh.es](mailto:montse.varea@umh.es) (M. Varea).

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120578>

Received 24 January 2024; Received in revised form 25 April 2024; Accepted 12 May 2024

Available online 13 May 2024

1352-2310/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

climate change. The reason is that climate change can advance the flowering period and increase the amount of pollen and the length of the pollen season (Ruiz-Valenzuela and Aguilera, 2018; Martínez-Bracero et al., 2019; D'Amato et al., 2016; Picornell et al., 2023). These after-maths have been observed mainly in cultivated areas in the Mediterranean basin, which account for 60% of global crops. However, in less cultivated areas, the prevalence of pollinosis still remains high (Fernández et al., 1995, 2015).

Most pollen is deposited close to the emission sources. Comtois et al. (2000) reported higher concentrations of various pollen types at certain altitudes than at ground level, and made evident a layer of aerobiological transport at about 500 m a.g.l. Despite their large size, the behaviour of many pollen taxa in the atmosphere is similar to that of conventional atmospheric aerosols due to the low density of pollen grains (Izquierdo et al., 2011). Considering its deposition rate and its average residence time in the atmosphere, it can be inferred that about one-half of the emitted pollen mass will be transported to distances  $> 10^3$  km (Aylor, 2002). In particular, for *Olea* pollen it has been shown that certain amounts of pollen may be transported over both short and long distances (García-Mozo, et al., 2017; Hernández-Ceballos et al., 2014; Izquierdo et al., 2011).

Several studies have characterised the main properties of *Olea* pollen in different regions, revealing that pollen concentrations in the air can show significant yearly, daily, and hourly variations. These variations seem to be closely related to the physiological state of the plant and the local climatic conditions (Díaz de la Guardia et al., 2003; Aguilera et al., 2015; Fernández-Rodríguez et al., 2016; Galera et al., 2018; Charalampopoulos et al., 2018). The diurnal pattern of each taxon reflects, in addition to variations throughout the day, its own genetic response to environmental conditions. Thus, the daily profile for *Olea* shows maximum pollen concentrations during the central hours of the day, when the maximum dehiscence of the anthers occur (Domínguez et al., 1993; Galán et al., 1991), and minimum concentrations during the night until the early morning hours. In spite of this, previous research conducted in the southeast of the Iberian Peninsula revealed that the intradiurnal pattern of olive pollen shows two peaks, one before sunrise, and the other in the afternoon (Viney, et al., 2021). This profile was not associated with the prevailing meteorological conditions, but could be due to non-local pollen contributions, as reported in other works (Fernández-Rodríguez et al., 2014, 2020; Monroy-Colina et al., 2020; Pérez-Badía et al., 2010).

The study of atmospheric pollen transport is essential to identify remote source regions. Several studies have shown that backtrajectory analysis, together with detailed ground cover information, is a suitable tool to locate sources of airborne pollen (Skjoth et al., 2013; Cecchi et al., 2006; Belmonte et al., 2008; Hernández-Ceballos et al., 2011; Fernández-Rodríguez et al., 2014; Mohanty et al., 2017; Alarcón et al., 2022). On the other hand, aerobiological studies are increasingly based on more precise temporal data (Borycka and Kasprzyk, 2018; Ellis et al., 2016; Galveias et al., 2021; Lipiec et al., 2019; Monroy-Colín et al., 2020; Smith et al., 2022; Waudby et al., 2022). In addition, personal information related to the symptoms of pollen allergies is becoming more prominent (Kmenta et al., 2014).

Based on the above results, it is reasonable to consider that inputs from other regions could have some influence on pollen concentrations and, consequently, on the variations of olive pollen levels throughout the day. To provide insights into this effect, in this work, an exhaustive analysis of 2-h pollen concentrations recorded in Alicante (Spain) in the period 2010–2015 has been performed. This study complements a previous paper by Viney et al. (2021), where the influence of medium-range pollen transport on the annual pollen levels recorded in Alicante during the same study period was highlighted.

In the present study, cluster analysis was applied in order to discriminate different daily profiles and distinguish local from external contributions. Furthermore, the periods of the day when the allergic population is more likely to be exposed to high pollen concentrations

were identified. The outcomes of this study can provide a scientific basis for improving urban air quality. In addition, this work offers valuable information for research and treatment of pollen allergies, which can have a major impact on human health.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Sampling site and potential source regions of *Olea* pollen

#### 2.1.1. Characteristics of the monitoring site

The sampling point was located on the terrace of the General Hospital of Alicante (38°21'48''N; 0°29'21''W; 40 m a.s.l.), in the northern part of the city. Alicante is a medium size city (~330000 inhabitants) located in southeastern Spain. The city lies on the Mediterranean Sea and is surrounded by a number of hills and elevations (Fig. 1).

The climate in the study area according to the Köppen climate classification is defined as hot semi-arid (Bsh), with soft winters and long dry summers. During the spring season (the period when olive pollination occurs) of the years 2010–2015, meteorological parameters did not show significant interannual variations. The seasonal average temperature ranged between 20.0 °C in 2013 and 22.5 °C in 2012. The thermal oscillation ( $T_{\max}-T_{\min}$ ) was fairly constant, between 7 and 8 °C. Rainfall was scarce, with an accumulated precipitation lower than 8 L·m<sup>-2</sup>, except in the springs of 2010 and 2013 (35 and 47 L m<sup>-2</sup>, respectively). Due to its coastal location, the relative humidity varied little throughout the year (65–70%). The predominant wind direction during spring and summer is from the sea (south-east), with a typical regime of Mediterranean Sea breezes, while in the colder months the wind usually blows from the northwest (Viney et al., 2021).

#### 2.1.2. Potential source regions

Olive trees cover approximately ~36000 ha in the province of Alicante (see Fig. 1), making up 1.2% of the total olive cultivated area in Spain (MAPA, 2013). Olive groves are concentrated in the northern area of the province, where temperatures are lower. In the city, olive trees are grown for ornamental purposes. Fig. 1 shows the geographical distribution of olive groves in Spain obtained from the CORINE Land Cover database (CLC, 2012). The zonation of the territory based on the potential source regions of pollen in the study area is also shown (Viney et al., 2021).

The territory was divided into three zones ( $Z_i$ ). Zone 1 ( $Z_1$ ) is located southwest of the sampling point and accounts for ~60% of the total olive cultivated area in Spain. This region comprises the provinces of Jaén and Córdoba, located about 400–500 km from the sampling site, and is the

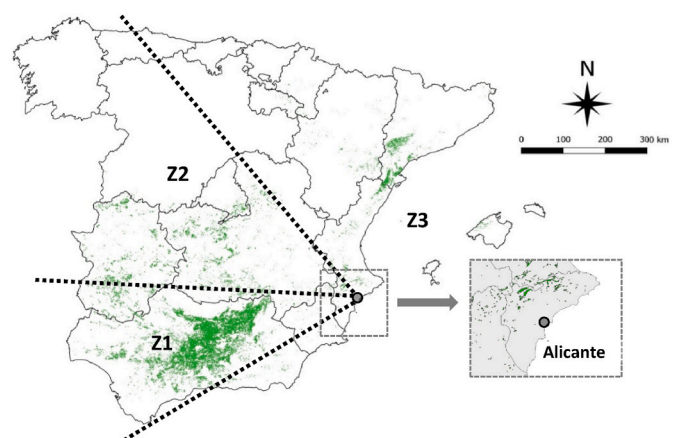


Fig. 1. Location of the sampling site in southeastern Spain. The surface of cultivated olive groves is also indicated (data from 2012, obtained from the CORINE Land Cover database). The zonation of the territory based on the potential source regions of pollen in the study area is also shown.

area with the highest density of olive trees (García-Mozo et al., 2017; Hernández-Ceballos et al., 2011). Z<sub>2</sub>, which comprises the provinces of Badajoz, Ciudad Real and Toledo, is in the north-westerly direction and includes ~30% of the olive groves in Spain. Contributions from Z<sub>3</sub> to olive pollen concentrations in the study area are not relevant. The possible source regions in Z<sub>3</sub> are located to the north, with ~4% of olive groves in Spain (Fig. 1). Other possible source regions are Tunisia, Italy or Morocco, which account for ~10% of the world olive crop. In spite of this, long-range transport often occurs at high altitudes, not reached by pollen grains (Fernández-Rodríguez et al., 2014). On the other hand, water uptake by pollen grains during transport at lower altitudes over the Mediterranean Sea can cause either their osmotic breakdown or deposition, reducing airborne pollen concentrations (Bassani et al., 1994; Jato et al., 2000; Uetake et al., 2019; Vazquez et al., 2003). Consequently, the relative contribution of *Olea* pollen transported from Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub> to the study area is expected to be medium or high, while contributions from Z<sub>3</sub> are expected to be negligible.

## 2.2. *Olea* pollen monitoring and meteorological data

Pollen concentration data during the study period were obtained from the Alicante pollen station. A Burkard Spore Trap (Burkard Manufacturing Co. Rickmansworth, Hertfordshire, U.K.) with a flow rate of 10 L·min<sup>-1</sup> was used. The trap was placed on the roof of the Specialty Centre of the Valencian Health Service located north of the city, at a height of approximately 20 m above ground level. Sampling and analysis were performed in accordance with the standard protocol drawn up by the Spanish Aerobiology Network (Galán et al., 2007), and the minimum recommendations of the European Aeroallergen Network (EAN) (Galán et al., 2014). The aerobiological data series studied in this work comprised 2-h and daily *Olea* pollen concentrations, expressed as the average daily number of pollen grains per cubic meter of air (pollen grains·m<sup>-3</sup>), from 2010 to 2015. The main pollen season (MPS) was defined as the period of time in which 95% of pollen was collected, discarding the two tails of the annual distribution (Andersen, 1991). This season is characterised by: the start and end dates of the olive pollen season (SPS and EPS), the length in days (LPS), the date of the maximum daily average pollen concentration (PD), the maximum daily average pollen concentration (PC) and the sum of daily pollen concentrations during the pollen season (SPI).

Hourly meteorological data were obtained from the Rabasa-Alicante weather station belonging to the Air Quality Surveillance Network of the Regional Government located ~2 km northwest from the monitoring site. The following meteorological data were studied: temperature, accumulated rainfall, relative humidity, and wind speed and direction.

## 2.3. Data analysis

In order to explain diurnal pollen concentration patterns, the influence of pollen transported from the western regions Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub> (see Fig. 1) on 2-h *Olea* concentrations was studied. For this purpose, pollen daily profiles were classified using cluster analysis. Subsequently, the influence of *Olea* pollen transported from other regions on each cluster was evaluated by studying air mass origins.

### 2.3.1. Cluster analysis

Cluster analysis is a multivariate statistical technique whose objective is to group elements or observations (in this case *Olea* pollen diurnal profiles) into different groups or clusters. The procedure identifies clusters of observations in data-sets, such that there is maximum homogeneity within each cluster and maximum heterogeneity between clusters. In this work, 2-h pollen concentrations were analysed using cluster analysis. First, the optimum number of natural groups was determined by hierarchical clustering analysis. Clusters were then generated by K-means conglomerate analysis. Ward's hierarchical method was used, since no previous knowledge regarding the number of

clusters required to group the data was available. In the Ward's method, each day is considered as a separate cluster, then combining clusters sequentially, reducing the number of clusters at each step until only one cluster remained. Using this method, information is quantified as the sum of squared distances of each element with respect to the centroid of the cluster to which it belongs. The K-means conglomerate method was used for cluster generation. From the various types of cluster analysis, this is deemed to be the most appropriate since it provides a more flexible approach and does not assume any specific distribution of variables. K groups of days were generated on the basis of similar 2-h pollen concentration variations. This methodology has been applied to pollen concentrations with satisfactory results in previous studies (Alcázar et al., 2019; Hernández-Ceballos, et al., 2015; Oteros et al., 2013). After applying cluster analysis, typical daily patterns for *Olea* pollen in each group were described. A cluster pollen index (CPI) was calculated as the sum of daily *Olea* concentrations on the days included in each cluster.

Additionally, the days included in each cluster were classified according to the exposure risks defined in Viney et al. (2021): Low (<20 pollen·m<sup>-3</sup>), Moderate (21–50 pollen·m<sup>-3</sup>), High (51–100 pollen·m<sup>-3</sup>) and Very High (>100 pollen·m<sup>-3</sup>). These thresholds were estimated based on statistical percentile. In this work, the 99th percentil (P99) was calculated for each 2-h period on days classified as Low, Moderate and High. The values obtained represent the 2-h average concentration below which 99% of the records observed at that time and for each type of day were found. Exposure thresholds for 2-h pollen concentrations were associated with the average P99 obtained for each category.

Spearman's correlation tests between the frequency of occurrence of the identified clusters, expressed in number of days, and the different pollen parameters (LPS, SPS, EPS, CP, DP and SPI) were used. The objective of this analysis was to determine a possible relationship between pollen parameters and the variability in 2-h pollen concentration. A p-value <0.05 was considered statistically significant.

In order to determine the influence of local weather conditions (temperature, relative humidity, rainfall and, wind direction and speed) on diurnal pollen cycles, average values of meteorological parameters associated with each cluster were calculated. Since each cluster represent a different pollen-behaviour situation, weather patterns reflect the exposure of pollen to different meteorological conditions.

### 2.3.2. Air mass origins

Backtrajectory analysis was used to identify external contributions to *Olea* pollen concentrations. In this work, the origin of air masses reaching the sampling site was determined by means of the HYSPLIT model (Draxler and Rolph, 2013), which has been widely used to identify atmospheric transport patterns (Galindo et al., 2017; Galveias et al., 2021; Izquierdo et al., 2011; Lei et al., 2023; Smith et al., 2008; Vélez-Pereira et al., 2022; Zemmer et al., 2012). GDAS meteorological files were used to compute bi-hourly kinematic backtrajectories for each study day. Air-mass movements were simulated over a 36-h period and at a final height of 500 m a.g.l. Subsequently, the HYSPLIT model was used to classify back trajectories for each identified cluster. The HYSPLIT model embeds a grouping module based on variations in the total spatial variance (TSV) between different groups, which is compared with the spatial variance (SPVAR) within each cluster. The final number of groups was determined by a change in the TSV of more than 40% as groups were iteratively paired. The identified clusters represent the main air mass origins and, therefore, the possible contribution of olive pollen transported from other regions. The detailed methodology can be found in Viney et al. (2021).

The influence of *Olea* pollen transported from other regions on daily patterns was evaluated from 2-h pollen concentrations as a function of its origin (Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> and Z<sub>3</sub>). For this purpose, the contribution of *Olea* pollen transported from other regions was calculated as the sum of pollen concentrations for backtrajectories associated with each region. These contributions were calculated on a 2-h and a fortnight basis, and were named OPI<sub>*i*</sub>, where *i* is the air mass origin (1, Z<sub>1</sub>; 2, Z<sub>2</sub>; 3, Z<sub>3</sub>, see

Fig. 1). The 15-day period was used because it is the reference time period commonly used for the pollen calendars.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. *Olea* concentration profiles identified by cluster analysis

In order to quantify the impact of the regional transport on intra-diurnal variations of *Olea* pollen levels, a cluster analysis was performed. Fig. 2 shows the diurnal pollen profiles for the three clusters identified in Alicante.

The second cluster (C2) showed the highest pollen concentrations during the first half of the day, with a clear maximum around 04:00 UTC, followed by a gradual decrease throughout the rest of the day. In contrast, C3 showed low concentrations during the night and a progressive increase until 10:00 UTC, remaining high during the rest of the day. The daily profile of C1 showed little variability, with two small peaks at 08:00 and 16:00 UTC. These results indicate that pollen concentrations did not show a unique daily pattern. At the sampling site pollen peak concentrations were observed before sunrise (C2) and in the

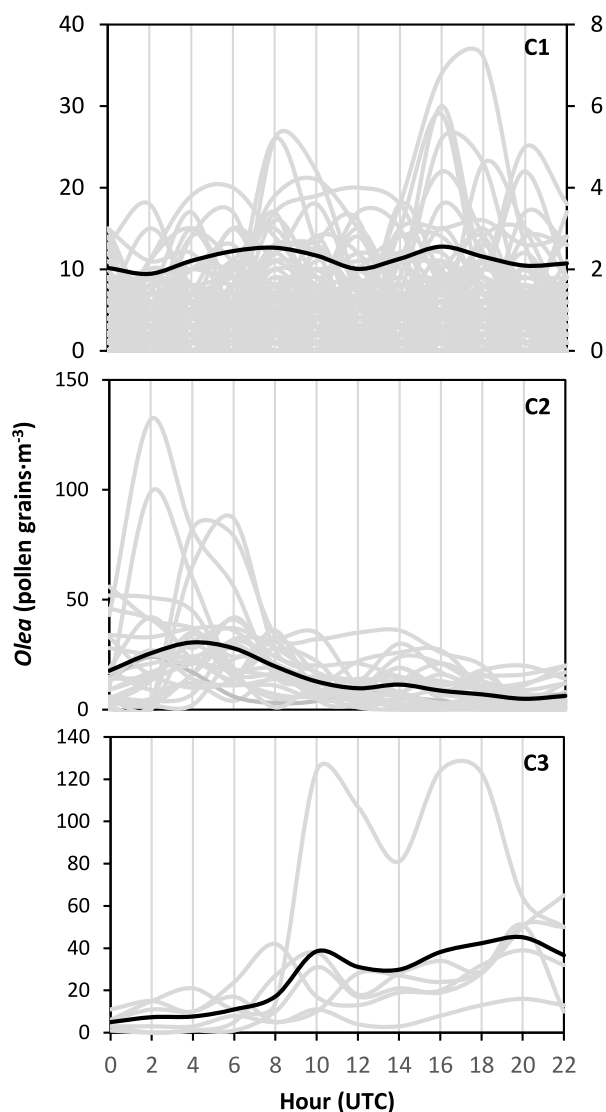


Fig. 2. Daily variability of pollen concentrations for each cluster (black line) and for the days included in each cluster (grey lines). Note the change in the scale between clusters.

afternoon (C3), differently from the findings reported in Córdoba by Galán et al. (1991). The occurrence of pollen peaks outside midday is usually attributed to pollen transported from other regions (Fernández-Rodríguez et al., 2014, 2020; Hernández-Ceballos et al., 2011; Makra et al., 2010; Maya-Manzano et al., 2016, 2021). This outcome suggests a high influence of pollen sources located west of the sampling site (see Fig. 1), not only on total pollen levels, but also on daily variations in pollen concentrations. Therefore, high pollen concentrations in the city of Alicante cannot be associated with local pollen emissions since, as already mentioned, the density of olive trees in the city is low.

The number of days in each cluster, in addition to the cluster pollen index and the average pollen concentration, is listed in Table 1. The first cluster included 91% of the days in the study period, but only accounted for 58% of the SPI during the whole period. The average daily concentration (26 pollen grains·m<sup>-3</sup>) was significantly lower than those for C2 and C3. Average bi-hourly pollen concentrations in C1 were almost constant throughout the day (~2 pollen grains·m<sup>-3</sup>, Fig. 2).

Only 7% of the days in the study period belonged to cluster 2, although it contributed 30% to the total pollen index. The reason is that days in this cluster showed high daily pollen concentrations (72–387 pollen grains·m<sup>-3</sup>), with 2-h average values of 15 pollen grains·m<sup>-3</sup>. The days included in C3 (only present in four years of the measurement period) showed 2-h average pollen concentrations of 37 pollen grains·m<sup>-3</sup> from midday onwards, with peaks of up to 124 pollen grains·m<sup>-3</sup>. This resulted in daily concentrations of up to 741 pollen grains·m<sup>-3</sup> (the highest of the entire study period) and a contribution of 40% to the cluster pollen index. When the data from this particular day were removed from the analysis, the daily profile for this cluster was similar, although pollen concentrations were lower (see Supplementary material, Fig. S1). In spite of this, this cluster still showed the highest average pollen concentration (220 pollen grains·m<sup>-3</sup>).

Table 1 also shows the number of days with daily concentrations above the threshold values of 20 pollen grains·m<sup>-3</sup> (Moderate exposure risk, M), 50 pollen grains·m<sup>-3</sup> (High exposure risk, H) and 100 pollen grains·m<sup>-3</sup> (Very High exposure risk, VH). 84% of the days belonging to C1 showed daily concentrations below 50 pollen grains·m<sup>-3</sup>, and more than 60% of the days in this cluster showed concentrations lower than 20 pollen grains·m<sup>-3</sup>. From a clinical point of view, this cluster included those days with the lowest risk for the allergic population. Only 16 days included in C1 showed daily concentrations higher than 80 pollen grains·m<sup>-3</sup> (this value was calculated as the mean concentration plus twice the standard deviation). During these days, 2-h concentrations above 10 pollen grains·m<sup>-3</sup> were recorded for at least half of the day, with maximum values of up to 36 pollen grains·m<sup>-3</sup> around 16:00 UTC. When these days were removed from the analysis, the maximum pollen concentration observed at 16:00 UTC was significantly lower (~15%, see Supplementary material, Fig. S2).

In contrast to the results for C1, all days included in C2 and C3 showed high exposure risks (>50 pollen grains·m<sup>-3</sup>). For C2, maximum 2-h pollen concentrations were reached at night, when population is less exposed. Nevertheless, C3 showed pollen peaks during daytime, when the population is most active. In this case, sensitive population groups are at greater risk and should take preventive measures. In addition,

Table 1  
Descriptive parameters of the clusters obtained in Alicante (2010–2015).

Cluster	N (day)	CPI (pollen grains·m <sup>-3</sup> )	<i>Olea</i> (pollen grains·m <sup>-3</sup> )	Exposure Risk (n° days)			
				L	M	H	VH
C1	337	8797	26	191	91	46	9
C2	26	4641	179	0	0	7	19
C3	6	1845	308	0	0	0	6

N: Number of days; CPI: cluster pollen index; *Olea* pollen: average daily concentration; Exposure Risk: number of days exceeding the risk threshold values of 20 (Moderate M), 50 (High H) and 100 pollen grains·m<sup>-3</sup> (very high VH). Values < 20 pollen grains·m<sup>-3</sup> indicate a Low (L) exposure risk.



during daytime, high concentrations of air pollutants mainly coming from traffic are also observed (Galindo et al., 2018). These species have been associated with an increase in the allergenic potential of pollen (D'Amato et al., 2010; Schiavoni et al., 2017).

Certainly, the presence of *Olea* pollen in the atmosphere represents a risk for the allergic population. The pollinic concentrations causing specific health risks depend on several factors, such as local flora (Buters et al., 2015), genetic predisposition for the development of allergen sensitisation (Bousquet et al., 2001) and/or environmental factors favouring the development of allergic reactions (Pawankar et al., 2020). Therefore, it is important to identify the periods of the day when the allergic population is more likely to be exposed to high pollen concentrations. Based on this, 2-h threshold concentrations for exposure risk to olive pollen were defined as the average 99th percentile calculated for each day category. Fig. 3 shows 99th percentiles for 2-h pollen concentrations on days classified as Low, Moderate and High exposure risk. The 2-h thresholds for the city of Alicante were: Low (<5 pollen grains·m<sup>-3</sup>), Moderate (5–10 pollen grains·m<sup>-3</sup>), High (11–21 pollen grains·m<sup>-3</sup>) and Very High (>21 pollen grains·m<sup>-3</sup>).

Fig. 3 shows the times of day at which the allergic population were exposed to higher pollen concentrations and, therefore, to a greater risk of allergy. Days with High Exposure Risk showed 2-h pollen concentrations higher than 15 pollen grains·m<sup>-3</sup> during the whole day, with peak concentrations before sunrise and at around 16 UTC. On the other hand, 2-h pollen concentrations on days with Very High Exposure Risk were above 40 pollen grains·m<sup>-3</sup> during the whole day. Exposure to these high 2-h concentrations may lead to the development or exacerbation of the allergic symptoms in the population (Scevkova et al., 2015; Lake et al., 2017). Such concentrations could be responsible for the increase in the sensitisation of the population to olive pollen (Fernández et al., 2015). Sensitisation occurs when the human immune system has synthesised antibodies against pollen and reacts when re-exposed (Burbach et al., 2009).

### 3.2. Temporal variability of the clusters and relationship with the MPS parameters

When the variability of daily pollen concentrations for any year of the study period was plotted, a temporal pattern for each cluster was found. The results for the entire study period are presented in Fig. 4. The figure shows the percentage of occurrence of each cluster in 15-day periods.

C1 was the predominant pattern throughout the whole MPS. In fact, at the beginning and end of the MPS the daily variability of pollen concentrations was that described for C1. This was due to the early start of the MPS in 2014 (early April) and the late ending of the MPS in 2011, 2012 and 2013 (until July; see Table 2). C2 and C3 were only present in the middle of the MPS. C2 was present from late April to mid-June, depending on the start of the MPS each year, with a greater presence

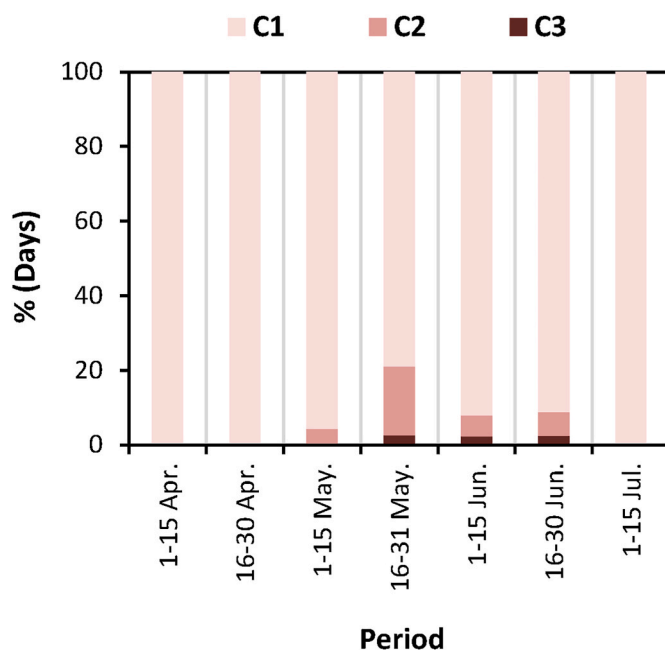


Fig. 4. Frequency of occurrence of each cluster for 15-day periods.

Table 2  
Main parameters of the *Olea* pollen season in Alicante.

Year	LPS	SPS	EPS	PD	PC	SPI
	(days)	(date)			(pollen grains·m <sup>-3</sup> )	
2010	47	05 May	20 Jun	12 May	387	2854
2011	76	20 Apr	04 Jul	07 May	170	1719
2012	73	28 Apr	09 Jul	20 May	272	2390
2013	84	20 Apr	12 Jul	11 Jun	273	3432
2014	74	13 Apr	25 Jun	13 May	222	2042
2015	50	25 Apr	13 Jun	03 May	741	2846

during the first half of May. Regarding C3, it was occasionally present in May and during the first half of June, depending on the peak concentration date (Table 2). This cluster included those days with the highest peak concentrations over the whole period (>250 pollen grains·m<sup>-3</sup>).

Table 3 presents Spearman correlation coefficients between the annual frequency of the different clusters (expressed in number of days) and different pollinic parameters. Positive and statistically significant correlations were obtained between the frequency of occurrence of C1 and the LPS and EPS. These outcomes support, as can be observed in Fig. 4, that C1 was the only cluster at the beginning and end of the MPS. However, the results may vary depending on the definition of the MPS.

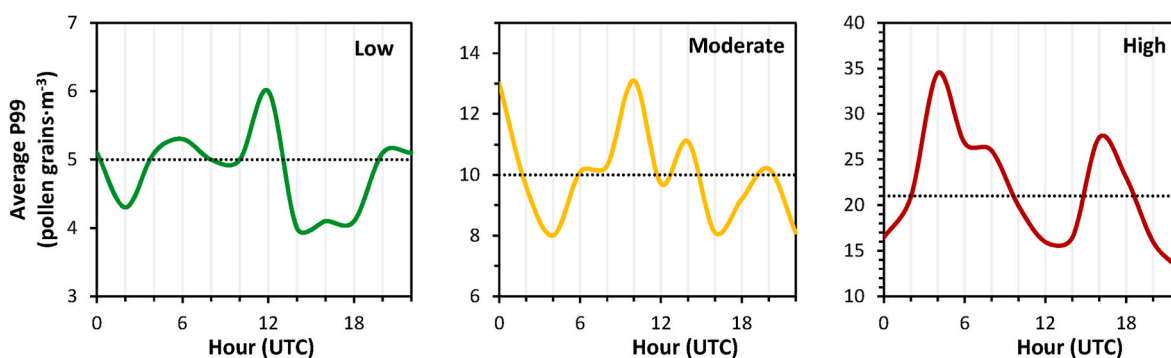


Fig. 3. Average 2-h concentrations of *Olea* pollen associated with P99 for the days classified as Low, Moderate and High, according to the measured daily concentrations.



**Table 3**

Spearman correlation coefficients ( $\rho$ ) between the annual frequency of the different clusters (expressed in number of days) and different pollinic parameters (LPS: length pollen season; SPS: start pollen season; EPS: end pollen season; PD: peak day; PC: peak concentration; SPI: season pollen index).

Pollinic parameters	C1	C2	C3	C2+C3
LPS	0.943 <sup>b</sup>	-0.765	0.000	-0.265
SPS	-0.638	0.373	0.423	0.403
EPS	0.829 <sup>a</sup>	-0.706	0.309	-0.088
PD	0.600	-0.206	0.463	0.265
PC	-0.657	0.647	0.679	0.794
SPI	-0.086	0.412	0.926 <sup>b</sup>	0.971 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Correlation significant at the 0.05 level (2-tailed).

<sup>b</sup> Correlation significant at the 0.01 level (2-tailed).

The third cluster showed a high correlation with the SPI. However, the frequency of occurrence of C3 throughout the years of the study period was uneven (the pattern described for C3 was only present in four years of the measurement period). For this reason, the joint frequency of occurrence of the second and third clusters (C2+C3) was considered in this analysis. As can be observed, the correlations between C2+C3 and the PC and SPI were stronger than those obtained separately for C2 and C3, although the correlation with the PC was not statistically significant ( $p$ -value = 0.059). This correlation was better ( $\rho = 0.883$ ,  $p$ -value < 0.01) when the second highest pollen concentration in 2015 (346 pollen grains $\cdot$ m<sup>-3</sup>) was considered instead of the PC for the same year (741 pollen grains $\cdot$ m<sup>-3</sup>).

These results point, on the one hand, to a significant influence of background pollen concentrations on the length of the MPS. Alternatively, occasional high concentrations responsible for the highest SPI values were due to non-local factors.

### 3.3. Daily weather patterns associated with the clusters

The obtained clusters represent different daily cycles of pollen concentrations and, therefore, reflect the variability of pollen concentrations under different weather conditions. In this section, the influence of meteorological variables on the variability of 2-h pollen concentration is analysed.

Except rainfall, the daily variability of meteorological parameters was similar for the three clusters (see Supplementary material, Fig. S3). Several studies have shown that the maximum pollen concentrations occurs in the central hours of the day, when the temperature is highest and the relative humidity is lowest (Moriondo et al., 2001; García-Mozo et al., 2008; Achmakh et al., 2015; Fernández-Rodríguez et al., 2020). However, in the present study the highest pollen concentrations were usually measured before sunrise (C2) and in the afternoon (C3). This result suggests that the variability of 2-h pollen concentrations was affected by other factors (e.g.: medium-range transport) that can mask the influence of temperature and RH.

On the other hand, C1 showed a small pollen peak around 16:00 UTC. This was due to days with typically high pollen concentrations, since when these days were removed from the database the peak was even smaller (see Supplementary material, Fig. S2). These results suggest that this peak has a local origin. The peak observed at 08:00 UTC could be related to a change in wind speed and direction that is typical of the sea breeze regime. The change in wind direction from northwest to southeast occurred in the morning, coinciding with the increase in wind speed. Although the breeze circulation was also observed for C2 and C3, maximum pollen concentrations for these clusters were not observed at 08:00 UTC, but earlier in the morning and in the afternoon (see Supplementary material, Fig. S3). These results support the fact that high pollen concentrations recorded on days included in C2 and C3 were due to non-local sources. On the other hand, the city of Alicante is surrounded by mountain ranges that favour the recirculation of air masses (Millan et al., 2000; Caballero et al., 2007) and can contribute to

increased pollen concentrations in the early morning. Increases in pollen concentrations due to air recirculation were previously observed (Gassmann et al., 2002; Negral et al., 2021; Prtenjak et al., 2012). In other standard palynological studies, the occurrence of sea breezes has been associated with a decrease in pollen concentrations due to an increase in relative humidity, which causes the hydration of pollen grains favouring their deposition and/or osmotic breakdown (Bassani et al., 1994; Vazquez et al., 2003). Increasing humidity also causes *anthers to close* (Taylor et al., 2002). Although pollen concentrations in Alicante are generally low, the break-up of pollen grains could lead to an increase in the real allergen load in the air. This could be one of the reasons why the allergic population in Alicante is highly sensitised to olive pollen. However, these questions are unclear and need further studies to answer them.

The effect of rainfall on the daily variability of pollen concentrations could only be assessed for C1. Rainy days represented 12% of the days in this cluster and, on more than half of these days, the accumulated precipitation was lower than 1 L $\cdot$ m<sup>-2</sup> $\cdot$ day<sup>-1</sup> and 0.4 L $\cdot$ m<sup>-2</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>. When rainy days were removed from the database a similar daily cycle of pollen concentrations was observed (Fig. S2 of the supplementary material). Generally, rainfall during flowering reduces pollen concentrations due to the washing effect of precipitation (Paschalidou et al., 2020; Ribeiro et al., 2006; Tormo-Molina et al., 2010). However, the reduction in pollen concentrations depends on the intensity of the rainfall. Bonofiglio et al. (2008) stated that decreases of up to 80% in pollen levels were observed for an accumulated precipitation of at least 0.33 L $\cdot$ m<sup>-2</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>. Alternatively, Kluska et al. (2020) reported that pollen concentrations only decreased clearly under rainfall intensities of at least 5 L $\cdot$ m<sup>-2</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>.

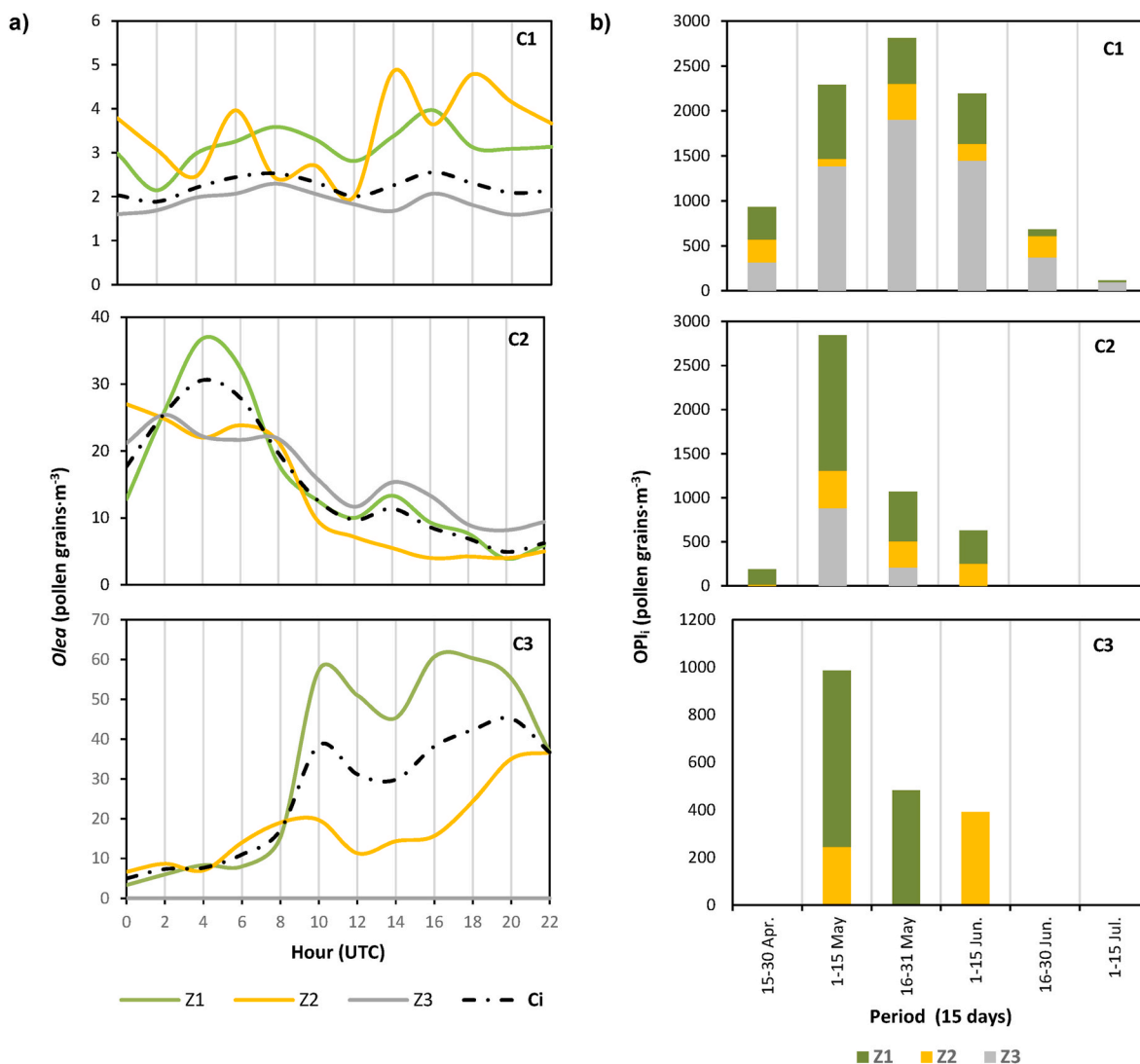
The analysis of the meteorological data showed that local climatic conditions can only partially explain the intradiurnal variability described in C1. This cluster, which encompasses the days with the lowest pollen concentrations, is probably the one that best represents the local pollen characteristics. In contrast, C2 and C3, which included the days of highest pollen concentrations, showed a strong influence of non-local factors such as medium-range transport.

### 3.4. Daily profiles associated with different air-mass origins

In this section, the influence of external inputs on daily cycles of pollen concentrations for each cluster was studied. Fig. 5a shows the daily pollen profiles associated with air masses coming from different source regions.

C2 and C3 were strongly affected by pollen inputs from Z<sub>1</sub>. Daily patterns of pollen concentrations for contributions from Z<sub>1</sub> were very similar to the average daily cycles for these clusters. The influence of Z<sub>1</sub> was greater for C3 since the PD (May 3, 2015) belongs to this cluster (see supplementary material, Fig. S1). In fact, air masses arriving at Alicante during the afternoon of May 3, 2015 had passed at midday over large areas of olive groves located ~300 km southwest of the sampling site.

The daily variability for Z<sub>2</sub> in C2 and C3 was also similar to the average daily cycle for those clusters. However, as expected, pollen concentrations when air masses came from Z<sub>2</sub> were lower than the average, since the density of olive trees decreases towards the north (see Fig. 1). Furthermore, plots corresponding to Z<sub>2</sub> and Z<sub>3</sub> in C2 showed an almost constant pollen concentration until 08:00 UTC, followed by a gradual decrease. However, this pollen peak for Z<sub>3</sub> was due to local factors since the expected pollen contribution from this region was negligible (see Fig. 1). In fact, the plot associated with Z<sub>3</sub> showed a small peak at the central hours of the day (the time of maximum *Olea* pollen concentrations). Moreover, at the start of the day calm winds were dominant, with a change in wind direction at 08:00 UTC and a gradual increase in wind speed (see supplementary material S3). Therefore, to explain these findings, days in Z<sub>3</sub> were examined in detail. We found that those days were preceded by days of very high pollen concentrations included in C3. As a result, pollen peaks observed during the first



**Fig. 5.** a) Daily profiles associated with pollen contributions from different source areas for each cluster; b) Contribution of *Olea* pollen transported from the southwest ( $Z_1$ ), northwest ( $Z_2$ ) and other regions ( $Z_3$ ) to total pollen concentrations for each cluster.

hours of the day in the plot corresponding to  $Z_3$  in C2 was most likely caused by the persistence of pollen grains of the previous day under calm wind conditions.

The daily profiles shown in the plots for  $Z_1$  and  $Z_3$  in C1 were very similar to the average daily cycle for C1. This cluster mainly includes those days with low pollen concentrations due to the low density of olive trees in the study area ( $Z_3$ ). Therefore, pollen transported from  $Z_1$  contributed to slightly increase pollen concentrations. Similarly, contributions from  $Z_2$  also increased pollen concentrations, although the profile was different from the average daily pattern for C1. It is worth mentioning that pollen inputs from a specific region depend on both the height and time of day that air masses passed over that region (Bogawski et al., 2019; Izquierdo et al., 2017). Therefore, pollen contributions are expected to be significant only when air masses cross the source region at low altitude and during the midday hours.

Fig. 5b shows pollen contributions from the southwest ( $Z_1$ ), northwest ( $Z_2$ ) and other regions ( $Z_3$ ) for each cluster. The highest pollen contributions from  $Z_1$  occurred during the first half of May, when the PD is usually observed. Pollen contributions from  $Z_2$ , which were lower than those from  $Z_1$ , occurred especially at the end of the MPS, due to adaptive biological responses of the olive tree to the environment. Olive trees at higher latitudes ( $Z_2$ ) have the greatest heat requirements for the development of their floral buds, and, therefore, the MPS starts later

(Aguilera et al., 2014).

The joint contribution from  $Z_1$  and  $Z_2$  to the SPI was 39% for C1, 78% for C2, and 100% for C3. The sum of these contributions for each cluster is equivalent to the external pollen index (EPI) defined in a previous study performed at the same sampling site (Viney et al., 2021). In this study, high exposure levels were also associated with western contributions. Based on the results obtained in the present work, it can be added that: a) external inputs of pollen from southeastern Spain were associated with exposure to high concentrations for short periods of time (Lake et al., 2017) and b) external inputs of pollen from the northwest of Spain were associated with exposure to lower pollen concentrations for longer periods of time (Scevkova et al., 2015).

#### 4. Conclusions

Intradiurnal variations in *Olea* pollen concentrations in the city of Alicante followed three different patterns (Ci). These patterns were mainly affected by the origin of air masses arriving at the sampling site. A relationship between Ci and the main properties of the MPS was established. A significant correlation between the frequency of occurrence of C1 (representing the local profile) and the LPS was found. The reason is that C1 was the dominant cycle throughout the whole MPS. On the other hand, C2 and C3, associated with external pollen inputs,

showed a high correlation with the SPI. These profiles were only observed in the middle of the MPS and were characterised by high *Olea* pollen concentrations from the southwest of Spain ( $Z_1$ ) in May and from the northwest of Spain ( $Z_2$ ) in June.

The strong influence of external pollen inputs in the study area points to the need to conduct broader studies considering pollen concentrations both in the source and receptor regions in order to predict and quantify these inputs. Additionally, other aspects such as recirculation of air masses or even soil resuspension processes should be considered. This would contribute to improve the life quality of the allergic population by providing more detailed information in order to start preventive treatments before the occurrence of pollen concentration peaks.

### CRedit authorship contribution statement

**S. Martínez-Pérez:** Writing – original draft, Methodology, Investigation. **J.F. Nicolás:** Writing – review & editing, Formal analysis. **N. Galindo:** Writing – review & editing. **F.J. Fernández-Sánchez:** Resources, Conceptualization. **V. Soriano-Gomis:** Investigation, Conceptualization. **M. Varea:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Supervision.

### Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

### Data availability

Data will be made available on request.

### Acknowledgements

We acknowledge the support from the Spanish Society of Allergy and Clinical Immunology; and, the Allergy Division of Laboratorios LETI S.L. Barcelona. We also want to thank F. Javier Suarez Perez, technician at the Valencian Association of Allergy and Clinical Immunology; and, Ignacio Melendez, Group of Environmental Soil Science (Miguel Hernandez University) for his assistance with Corine Land Cover.

### Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120578>.

### References

- Achmakh, L., Bouziane, H., Aboulaich, N., et al., 2015. Airborne pollen of *Olea europaea* L. in Tetouan (NW Morocco): heat requirements and forecasts. *Aerobiologia* 31, 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9356-0>.
- Andersen, T.B., 1991. A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana* 30, 269–275. <https://doi.org/10.1080/00173139109427810>.
- Aguilera, F., Ruiz, L., Fornaciari, M., et al., 2014. Heat accumulation period in the Mediterranean region: phenological response of the olive in different climate areas (Spain, Italy and Tunisia). *Int. J. Biometeorol.* 58, 867–876. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0666-7>.
- Aguilera, F., Ben Dhiab, A., Msalleem, M., et al., 2015. Airborne-pollen maps for olive-growing areas throughout the Mediterranean region: spatio-temporal interpretation. *Aerobiologia* 31, 421–434. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9375-5>.
- Alarcón, M., Periago, C., Pino, D., et al., 2022. Potential contribution of distant sources to airborne Betula pollen levels in Northeastern Iberian Peninsula. *Sci. Total Environ.* 818, 151827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151827>.
- Alcázar, P., Ørby, P.V., Oteros, J., Skjødth, C., Herte, O., Galán, C., 2019. Cluster analysis of variations in the diurnal pattern of grass pollen concentrations in Northern Europe (Copenhagen) and Southern Europe (Córdoba). *Aerobiologia* 35, 269–281. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09558-2>.
- Aylor, D.E., 2002. Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. *J. Aerosol Sci.* 33, 1601–1607. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(02\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(02)00105-2).

- Bassani, M., Pacini, E., Franchi, G.G., 1994. Humidity stress responses in pollen of anemophilous and entomophilous species. *Grana* 33, 146–150. <https://doi.org/10.1080/00173139409428991>.
- Belmonte, J., Alarcón, M., Avila, A., Scialabba, E., Pino, D., 2008. Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain). *Int. J. Biometeorol.* 52 (7), 675–687. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0160-9>.
- Bogawski, P., Borycka, K., Grewling, L., Kasprzyk, I., 2019. Detecting distant sources of airborne pollen from Poland: integrating back-trajectory and dispersion modelling with a satellite-based phenology. *Sci. Total Environ.* 689, 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.348>.
- Bonofiglio, T., Orlandi, F., Sgromo, C., Romano, B., Fornaciari, M., 2008. Influence of temperature and rainfall on timing of olive (*Olea europaea*) flowering in southern Italy. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 36 (1), 59–69. <https://doi.org/10.1080/01140670809510221>.
- Borycka, K., Kasprzyk, I., 2018. Hourly pattern of allergenic alder and birch pollen concentrations in the air: spatial differentiation and the effect of meteorological conditions. *Atmos. Environ.* 182, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.048>.
- Bousquet, J., Van Cauwenberge, P., Khaltaev, N., Aria Workshop Group, & World Health Organization, 2001. Allergic rhinitis and its impact on asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.* 108 (5 Suppl. 1), S147–S334. <https://doi.org/10.1067/mai.2001.118891>.
- Burbach, G.J., Heinzerling, L.M., Edenharter, G., et al., 2009. GA<sup>2</sup>LEN skin test study II: clinical relevance of inhalant allergen sensitizations in Europe. *Allergy* 64, 1507–1515. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02089.x>.
- Buters, J., Prank, M., Sofiev, M., et al., 2015. Variation of the group 5 grass pollen allergen content of airborne pollen in relation to geographic location and time in season. *J. Allergy Clin. Immunol.* 136 (1), 87–9586. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.01.049>.
- Caballero, S., Galindo, N., Pastor, C., Varea, M., Crespo, J., 2007. Estimated tropospheric ozone levels on the southeast Spanish Mediterranean coast. *Atmos. Environ.* 41 (13), 2881–2886. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.047>.
- Cebrino, J., Portero de la Cruz, S., Barasona, M.J., et al., 2017. Airborne pollen in Cordoba City (Spain) and its implications for pollen allergy. *Aerobiologia* 33, 281–291. <https://doi.org/10.1007/s10453-016-9469-8>.
- Cecchi, L., Morabito, M., Domeneghetti, M.P., Crisci, A., Onorari, M., Orlandini, S., 2006. Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 96 (1), 86–91. [https://doi.org/10.1016/s1081-1206\(10\)61045-9](https://doi.org/10.1016/s1081-1206(10)61045-9).
- CLC, 2012. Corine Land Cover. <http://www.ign.es>.
- Charalampopoulos, A., Lazarina, M., Tsiripidis, I., et al., 2018. Quantifying the relationship between airborne pollen and vegetation in the urban environment. *Aerobiologia* 34, 285–300. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9513-y>.
- Comtois, P., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M., Sánchez, J.L., Fraile, R., Rodier, S., 2000. Pollen content study of the lower atmosphere in León (Spain) by use of a tethered balloon. *Aerobiologia* 16, 187–191. <https://doi.org/10.1023/A:1007685513925>.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., et al., 2007. Allergic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 62, 976–990. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01393.x>.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M., Liccardi, G., 2010. Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.* 20 (2), 95–102.
- D'Amato, G., Vitale, C., Lanza, M., Molino, A., D'Amato, M., 2016. Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: an update. *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.* 16 (5), 434–440. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000301>.
- De Linares, C., Nieto-Lugilde, D., Alba, F., Díaz De La Guardia, C., Galán, C., Trigo, M.M., 2007. Detection of airborne allergen (*Ole e 1*) in relation to *Olea europaea* pollen in Spain. *Clin. Exp. Allergy* 37, 125–132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2006.02620.x>.
- Dias, C.S., Arias-Sibillotte, M., Tiscornia, G., et al., 2022. Low spring temperature may negatively influence olive yield. *Aust. J. Crop. Sci.* 16 (9), 1094–1100. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.09.p3602>.
- Díaz de la Guardia, C., Alba, F., Trigo, M.M., Galán, C., Ruiz, L., Sabariego, S., 2003. Aerobiological analysis of *Olea europaea* L. pollen in different localities of southern Spain. *Grana* 42, 234–243. <https://doi.org/10.1080/00173130310016455>.
- Domínguez, E., Infante, F., Galán, C., Guerra, F., Villamandos, F., 1993. Variations in the concentrations of airborne *Olea* pollen and associated pollenitis in Córdoba (Spain): a study of the 10-years period: 1982–1991. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.* 3, 121–129.
- Draxler, R.R., Rolph, G.D., 2013. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model Access via NOAA ARL READY Website. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
- Ellis, A.K., Soliman, M., Steacy, L.M., Adams, D.E., Hobbsawn, B., Walker, T.J.B., 2016. Clinical validation of controlled exposure to birch pollen in the Environmental Exposure Unit (EEU). *Allergy Asthma Clin. Immunol.* 12 (1), 53. <https://doi.org/10.1186/s13223-016-0156-7>.
- Fernández, J., García-Más, F., Esteban, A., Miralles, A., 1995. Incidencia de granos de polen y polinosis en la ciudad de Elche. *Rev. Esp. Alergol. Inmunol. Clin.* 13, 88–91.
- Fernández, J., Flores, E., Varea, M., Soriano, V., Gonzalez, P., 2015. Evolution of the incidence of pollen grains and sensitivity to pollen in the city of Elche (Spain). *Asian Pac. J. Allergy Immunol.* 33, 196–202. <https://doi.org/10.12932/AP0542.33.3.2015>.
- Fernández-Rodríguez, S., Skjødth, C.A., Tormo-Molina, R., et al., 2014. Identification of potential sources of airborne *Olea* pollen in southwest Iberian Peninsula. *Int. J. Biometeorol.* 58, 337–348. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0629-4>.



- Fernández-Rodríguez, S., Durán-Barroso, P., Silva-Palacios, I., et al., 2016. Regional forecast model for the Olea pollen season in Extremadura (SW Spain). *Int. J. Biometeorol.* 60, 1509–1517. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1141-z>.
- Fernández-Rodríguez, S., Maya-Manzano, J.M., Colín, A.M., et al., 2020. Understanding hourly patterns of Olea pollen concentrations as tool for the environmental impact assessment. *Sci. Total Environ.* 736, 139363 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139363>.
- Galán, C., Tormo, R., Cuevas, J., Infante, F., Domínguez, E., 1991. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the southwest of Spain. *Grana* 30, 201–209. <https://doi.org/10.1080/00173139109427800>.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., Domínguez, E., 2007. *Spanish Aerobiology Network (REA): Management and Quality Manual*. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., et al., 2014. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia* 30, 385–395. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9335-5>.
- Galera, M.D., Elvira-Rendueles, B., Moreno, J.M., et al., 2018. Analysis of airborne olea pollen in cartagena (Spain). *Sci. Total Environ.* 622–623, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.349>.
- Galindo, N., Yubero, E., Nicolás, J.F., Crespo, J., Varea, M., Gil-Moltó, J., 2017. Regional and long-range transport of aerosols at Mt. Aitana, Southeastern Spain. *Sci. Total Environ.* 15 (584–585), 723–730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.108>.
- Galindo, N., Yubero, E., Nicolás, J.F., Varea, M., Clemente, A., 2018. Day-night variability of PM<sub>10</sub> components at a Mediterranean urban site during winter. *Air Qual. Atmos. Health* 11, 1251–1258. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0627-8>.
- Galveias, A., Costa, A.R., Bortoli, D., et al., 2021. Cupressaceae pollen in the city of Évora, south of Portugal: disruption of the Pollen during air transport facilitates allergen exposure. *Forests* 12 (1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/f12010064>.
- García-Mozo, H., Perez-Badía, R., Galan, C., 2008. Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (Central Spain). *Aerobiologia* 24, 13–18. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x>.
- García-Mozo, H., Hernández-Ceballos, M.A., Trigo, M.M., Galán, C., 2017. Wind dynamics' influence on south Spain airborne olive-pollen during African intrusions. *Sci. Total Environ.* 609, 1340–1348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.005>.
- Gassmann, M., Perez, C., Gardiol, J., 2002. Sea-land breeze in a coastal city and its effect on pollen transport. *Int. J. Biometeorol.* 46 (3), 118–125. <https://doi.org/10.1007/s00484-002-0135-1>.
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet. Change* 63, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>.
- Gioulekas, D., Papakosta, D., Damialis, A., et al., 2004. Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *Allergy* 59, 174–184. <https://doi.org/10.1046/j.1398-9995.2003.00312.x>.
- Hernández-Ceballos, M.A., García-Mozo, H., Adame, J.A., et al., 2011. Synoptic and meteorological characterization of olive pollen transport in Córdoba province (south-western Spain). *Int. J. Biometeorol.* 55, 17–34. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0306-4>.
- Hernández-Ceballos, M.A., Soares, J., García-Mozo, H., Sofiev, M., Bolivar, J.P., Galán, C., 2014. Analysis of atmospheric dispersion of olive pollen in southern Spain using SILAM and HYSPLIT models. *Aerobiologia* 30, 239–255. <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9324-0>.
- Hernández-Ceballos, M.A., García-Mozo, H., Galán, C., 2015. Cluster analysis of intradiurnal holm oak pollen cycles at peri-urban and rural sampling sites in southwestern Spain. *Int. J. Biometeorol.* 59, 971–982. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0910-9>.
- Izquierdo, R., Belmonte, J., Ávila, A., Alarcón, M., Alonso-Pérez, S., 2011. Source areas and long-range transport of pollen from continental land to Tenerife (Canary Islands). *Int. J. Biometeorol.* 55, 67–85. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0309-1>.
- Izquierdo, R., Alarcón, M., Mazón, et al., 2017. Are the pyrenees a barrier for the transport of birch (*Betula*) pollen from central Europe to the Iberian Peninsula? *Sci. Total Environ.* 575, 1183–1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.192>.
- Jato, M.V., Rodríguez, F.J., Seijo, M.C., 2000. Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *Int. J. Biometeorol.* 43, 147–153. <https://doi.org/10.1007/s004840050001>.
- Kluska, K., Piotrowicz, K., Kasprzyk, I., 2020. The impact of rainfall on the diurnal patterns of atmospheric pollen concentrations. *Agric. For. Meteorol.* 291, 108042 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108042>.
- Kmenta, M., Bastl, K., Jäger, S., Berger, U., 2014. Development of personal pollen information—the next generation of pollen information and a step forward for hay fever sufferers. *Int. J. Biometeorol.* 58 (8), 1721–1726. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0776-2>.
- Lake, I.R., Jones, N.R., Agnew, M., et al., 2017. Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environ. Health Perspect.* 125 (3), 385–391. <https://doi.org/10.1289/EHP173>.
- Lei, Y., Miao, Y., Zhao, Y., et al., 2023. The effects of meteorological conditions on allergenic airborne pollen in arid Northwest China. *Atmos. Environ.* 299, 119647 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119647>.
- Lipiec, A., Puc, M., Kruczek, A., 2019. Exposure to pollen allergens in allergic rhinitis expressed by diurnal variation of airborne tree pollen in urban and rural area. *Otolaryngol. Pol.* 73 (1–6), 1–6. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.1532>.
- Loumou, A., Giourga, C., 2003. Olive groves: the life and identity of the Mediterranean. *Agric. Hum. Val.* 20, 87–95. <https://doi.org/10.1023/A:1022444005336>.
- Makra, L., Santa, T., Matyasovszky, I., et al., 2010. Airborne pollen in three European cities: detection of atmospheric circulation pathways by applying three-dimensional clustering of backward trajectories. *J. Geophys. Res. Atmos.* 115, D24220 <https://doi.org/10.1029/2010JD014743>.
- Martínez-Bracero, M., Alcázar, P., Velasco-Jiménez, M.J., Galán, C., 2019. Effect of the Mediterranean crops in the airborne pollen spectrum. *Aerobiologia* 35 (4), 647–657. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09604-zero>.
- Maya-Manzano, J.M., Fernández-Rodríguez, S., Smith, M., et al., 2016. Airborne Quercus pollen in SW Spain: identifying favourable conditions for atmospheric transport and potential source areas. *Sci. Total Environ.* 571, 1037–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.094>.
- Maya-Manzano, J.M., Skjøth, C.A., Smith, M., et al., 2021. Spatial and temporal variations in the distribution of birch trees and airborne *Betula* pollen in Ireland. *Agric. For. Meteorol.* 298–299, 108298 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108298>.
- Millan, M.M., Artiñano, B., Alonso, L., Navazo, M., 1991. The effect of meso-scale flows on regional and long-range atmospheric transport in the western Mediterranean area. *Atmos. Environ.* 25A, 949–963. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90137-V](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90137-V).
- Millan, M.M., Salvador, R., Mantilla, E., Artiñano, B., 1996. Meteorology and photochemical air pollution in Southern Europe: experimental results from EC research projects. *Atmos. Environ.* 30, 1909–1924. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00220-0](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00220-0).
- Millan, M.M., Mantilla, E., Salvador, R., et al., 2000. Ozone cycles in the Western Mediterranean basin: interpretation of monitoring data in complex coastal terrain. *J. Appl. Meteorol.* 39, 487–507. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<0487:OCITWM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<0487:OCITWM>2.0.CO;2).
- MAPA, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2013. Aceite de oliva, la excelencia del oro líquido. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_DYC/DYC\\_2013\\_130\\_38\\_47.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_2013_130_38_47.pdf). (Accessed 3 March 2023).
- Mohanty, R.P., Buchheim, M.A., Anderson, J., Levetin, E., 2017. Molecular analysis confirms the long-distance transport of *Juniperus ashei* pollen. *PLoS One* 12 (3), e0173465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173465>.
- Monroy-Colín, A., Maya-Manzano, J.M., Silva-Palacios, I., et al., 2020. Phenology of Cupressaceae urban infrastructure related to its pollen content and meteorological variables. *Aerobiologia* 36 (3), 459–479. <https://doi.org/10.1007/s10453-020-09645-9>.
- Monroy-Colina, A., Maya-Manzano, J.M., Tormo-Molina, R., et al., 2020. HYSPLIT as an environmental impact assessment tool to study the data discrepancies between Olea europaea airborne pollen records and its phenology in SW Spain. *Urban For. Urban Green.* 53, 126715 <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126715>.
- Moriondo, M., Orlandini, S., Nuntii, P.D., Mandrioli, P., 2001. Effect of agrometeorological parameters on the phenology of pollen emission and production of olive trees (*Olea europaea* L.). *Aerobiologia* 17, 225–232. <https://doi.org/10.1023/A:101189341266>.
- Moriondo, M., Trombi, G., Ferrise, R., et al., 2013. Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecol. Biogeogr.* 22, 818–833. <https://doi.org/10.1111/geb.12061>.
- Negrál, L., Moreno-Grau, S., Galera, M.D., et al., 2021. The effects of continentality, marine nature and the recirculation of air masses on pollen concentration: olea in a Mediterranean coastal enclave. *Sci. Total Environ.* 790, 147999 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147999>.
- Oteros, J., García-Mozo, H., Hervás-Martínez, C., Galán, C., 2013. Year clustering analysis for modelling olive flowering phenology. *Int. J. Biometeorol.* 57 (4), 545–555. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0581-3>.
- Orlandi, F., Oteros, J., Aguilera, F., et al., 2014. Design of a downscaling method to estimate continuous data from discrete pollen monitoring in Tunisia. *Environ. Sci.: Process. Impacts* 16, 1716–1725. <https://doi.org/10.1039/C4EM00153B>.
- Paschalidou, A.K., Psistaki, K., Charalampopoulos, A., Vokou, D., Kassomenos, P., Damialis, A., 2020. Identifying patterns of airborne pollen distribution using a synoptic climatology approach. *Sci. Total Environ.* 714, 136625 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136625>.
- Pawankar, R., Wang, J.Y., Wang, I.J., et al., 2020. Asia Pacific association of allergy asthma and clinical immunology white paper 2020 on climate change, air pollution, and biodiversity in Asia Pacific and impact on allergic diseases. *Asia Pac. Allergy.* <https://doi.org/10.5415/apallergy.2020.10.e11>.
- Pérez-Badía, R., Vaguero, C., Sardinero, S., Galán, C., García-Mozo, H., 2010. Intradaily variations of allergenic tree pollen in the atmosphere of Toledo (Central Spain). *Ann. Agric. Environ. Med.* 17, 37–43.
- Picornell, A., Abreu, I., Ribeiro, H., 2023. Trends and future projections of Olea flowering in the western Mediterranean: the example of the Alentejo region (Portugal). *Agric. For. Meteorol.* 339, 109559 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109559>.
- Prtenjak, M.T., Srncic, L., Peternel, R., et al., 2012. Atmospheric conditions during high ragweed pollen concentrations in Zagreb, Croatia. *Int. J. Biometeorol.* 56, 1145–1158. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0520-3>.
- Ribeiro, H., Santos, L., Abreu, I., Cunha, M., 2006. Influence of meteorological parameters on Olea flowering date and airborne pollen concentration in four regions of Portugal. *Grana* 45, 115–121. <https://doi.org/10.1080/00173130500520610>.
- Ribeiro, H., Morales, S., Salmerón, C., et al., 2013. Analysis of the pollen allergen content of twelve olive cultivars grown in Portugal. *Aerobiologia* 29, 513–521. <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9300-8>.
- Ruiz-Valenzuela, L., Aguilera, F., 2018. Trends in airborne pollen and pollen-season-related features of anemophilous species in Jaen (south Spain): a 23 years perspective. *Atmos. Environ.* 180, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.012>.
- Scevkova, J., Dusicka, J., Hrubisko, M., Micieta, K., 2015. Influence of airborne pollen counts and length of pollen season of selected allergenic plants on the concentration

- of sIgE antibodies on the population of Bratislava. Slovakia. *Ann. Agric. Environ. Med.* 22 (3), 451–455. <https://doi.org/10.5604/12321966.1167712>.
- Schiavoni, G., D'Amato, G., Afferni, C., 2017. The dangerous liaison between pollens and air pollution in respiratory allergy. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 118, 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2016.12.019>.
- Skjøth, C.A., Šikoparija, B., Jäger, S., Ean-Network, 2013. Pollen sources. *Allergenic Pollen: A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts*. 9789400748811, pp. 9–27. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4881-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4881-1_2).
- Smith, M., Skjøth, C.A., Myszkowska, D., et al., 2008. Long-range transport of Ambrosia pollen to Poland. *Agric. For. Meteorol.* 148 (10), 1402–1411. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.04.005>.
- Smith, M., Matavulj, P., Mimić, G., Panić, M., Grewling, Ł., Šikoparija, B., 2022. Why should we care about high temporal resolution monitoring of bioaerosols in ambient air? *Sci. Total Environ.* 826, 154231 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154231>.
- Taylor, P.E., Flagan, R.C., Valenta, R., Glovsky, M.M., 2002. Release of allergens as respirable aerosols: a link between grass pollen and asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.* 109 (1), 51–56. <https://doi.org/10.1067/mai.2002.120759>.
- Tormo-Molina, R., Gonzalo-Garijo, M.A., Silva-Palacios, I., Muñoz-Rodríguez, A.F., 2010. General trends in airborne pollen production and pollination periods at a Mediterranean site (Badajoz, southwest Spain). *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.* 20 (7), 567–574.
- Uetake, J., Tobo, Y., Uji, Y., et al., 2019. Seasonal changes of airborne bacterial communities over Tokyo and influence of local meteorology. *Front. Microbiol.* 10, 1572. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01572>.
- Ulbrich, U., Lionello, P., Berlusci, D., et al., 2012. Climate of the Mediterranean: synoptic patterns, temperature, precipitation, winds, and their extremes. In: Lionello, P. (Ed.), *The Climate of the Mediterranean Region, from the Past to the Future*. Elsevier, Dordrecht, pp. 301–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00005-7>.
- Vazquez, L.M., Galan, C., Dominguez-Vilches, E., 2003. Influence of meteorological parameters on olea pollen concentrations in Cordoba (South-western Spain). *Int. J. Biometeorol.* 48, 83–90. <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0187-x>.
- Vélez-Pereira, A.M., De Linares, C., Belmonte, J., 2022. Aerobiological modelling II: a review of long-range transport models. *Sci. Total Environ.* 845, 157351 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157351>.
- Viney, A., Nicolás, J.F., Galindo, N., Fernández, J., Soriano-Gomis, V., Varea, M., 2021. Assessment of the external contribution to Olea pollen levels in southeastern Spain. *Atmos. Environ.* 257, 118481 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118481>.
- Waudby, C.M., Sherwood, S.C., Osborne, N.J., et al., 2022. Combined synoptic and regional weather patterns affecting atmospheric Poaceae pollen concentrations in Sydney, Australia. *Aerobiologia* 38 (4), 533–555. <https://doi.org/10.1007/s10453-022-09764-5>.
- Zemmer, F., Karaca, F., Ozkaragoz, F., 2012. Ragweed pollen observed in Turkey: detection of sources using back trajectory models. *Sci. Total Environ.* 430, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.067>.



## 8. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis doctoral. Sin su apoyo, orientación y colaboración, este trabajo no habría sido posible.

En primer lugar, agradezco a mi directora de tesis, la Dra. Montse Varea, por su incansable dedicación, valiosa guía y paciencia a lo largo de todo el proceso. Sus conocimientos, consejos y constante motivación han sido esenciales para la culminación de este proyecto.

Agradezco también a mi codirector de tesis, el Dr. José Francisco Nicolás, por su tiempo, esfuerzo y valiosos comentarios, que han contribuido significativamente a la mejora de este trabajo.

Un reconocimiento especial a todo el Departamento de Física Aplicada de la Universidad Miguel Hernández de Elche, por proporcionarme un entorno académico y de investigación de excelencia.

A mi familia, especialmente a mis padres y a mi hermana, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante. Sus palabras de aliento me han ayudado a superar todos los desafíos que encontré en la realización de la tesis.

Finalmente, quiero agradecer a mi pareja y a todos mis amigos, por su comprensión y apoyo emocional, que me ayudaron a mantener el equilibrio y la motivación durante los momentos más difíciles.

